

AD 693538

FTD-HT-23-624-68
Vol. I of II

FOREIGN TECHNOLOGY DIVISION



MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL AT LOW TEMPERATURES

By

S. I. Gudkov



Distribution of this document is unlimited. It may be released to the Clearinghouse, Department of Commerce, for sale to the general public.

Reproduced by the
CLEARINGHOUSE
for Federal Scientific & Technical
Information Springfield Va 22151

275

**Best
Available
Copy**

EDITED TRANSLATION

MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL AT LOW TEMPERATURES

S. I. Gudkov

English pages: 1-365

SOURCE: Mekhanicheskiye Svoystva Stali Pri Nizkikh Temperaturakh (Izdatel'stvo "Metallurgiya" Moscow). 1967, pp. 1-267.

Translated by: Contract F33657-68-D-0866 P002

THIS TRANSLATION IS A RENDITION OF THE ORIGINAL FOREIGN TEXT WITHOUT ANY ANALYTICAL OR EDITORIAL COMMENT. STATEMENTS OR THEORIES ADVOCATED OR IMPLIED ARE THOSE OF THE SOURCE AND DO NOT NECESSARILY REFLECT THE POSITION OR OPINION OF THE FOREIGN TECHNOLOGY DIVISION.

PREPARED BY:

TRANSLATION DIVISION
FOREIGN TECHNOLOGY DIVISION
WP-APB, OND.

DATA HANDLING PAGE

01-ACCESSION NO. 90-DOCUMENT LOC		30-TOPIC TAGS		
TM9000903		low temperature metal, low temperature effect, solid mechanical property, steel property		
09-TITLE MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL AT LOW TEMPERATURES				
47-SUBJECT AREA				
11				
12-AUTHOR/CO-AUTHORS				10-DATE OF INFO
GUDKOV, S. I.				-----67
13-SOURCE MEKHANICHESKIYE SVOYSTVA STALI PRI NIZKIKH TEMPERATURAKH; MOSCOW, IZD-VO METALLURGIYA (RUSSIAN)				68-DOCUMENT NO.
FTD-				TT-23-624-68
				69-PROJECT NO.
				72301-78
63-SECURITY AND DOWNGRADING INFORMATION			64-CONTROL MARKINGS	97-HEADER CLASH
UNCL, O			NONE	UNCL
76-REEL FRAME NO.	77-SUPERSEDES	78-CHANGES	40-GEOGRAPHICAL AREA	NO OF PAGES
1889 0528			UR	521
CONTRACT NO.	X REF ACC. NO.	PUBLISHING DATE	TYPE PRODUCT	REVISION FREQ
F33657-68-D-0866 P002	65-AM7017230	94-00	TRANSLATION	NONE
STEP NO.			ACCESSION NO.	
02-UR/0000/67/000/000/0001/0267				

ABSTRACT

(U) This book is intended for engineering personnel of plants, design bureaus and scientific research establishments concerned with design, manufacture and exploitation of installations operating at subzero temperatures. Information about the physicommechanical properties of basic structural steels in the temperature range plus 20 to minus 253 degrees C is given and the fields of application of various steel are indicated. For every steel grade mark are given tables of physicommechanical properties at subzero temperatures, and, in many cases, the curves point out the effect of technological, structural and exploitation factors on steel strength.

TABLE OF CONTENTS

Foreword	vii
I. Ordinary-Grade Carbon Steel	
St. 2	2
St. 3	4
St. 3S	68
St. 4	70
St. 4S	76
St. 5	82
II. High-Quality Machine-Grade Carbon Steel	
08 and 08kp.	94
10 and 10kp.	100
15 and 15kp.	104
20 and 20kp.	108
25	116
35	122
40	124
45	136
50	140
III. Low-Alloy and Alloy Machine Steel	
40G	148
15GS	150
16GS (3N, 16GT).	158
09G2	164
10G2	178
14G2	184
09G2S (M), 09G2T (M), 09G2DT (M)	196
25G2S(25GS).	218
10G2SD(MK)	220
08GDNF	232
06N3	236
20Kh	254
30Kh	256
40Kh	258
40KhN.	270

12KhN2	276
12KhN2A	278
30KhN3A	288
34KhN3M	292
18Kh2N4VA (18KhNVA)	298
14KhGS	308
30KhGSA	314
10KhSND (SKhL-4)	324
15KhSND (NL-2, SKhL-1)	342
10KhGSND (MS-1)	358
25Kh2GNTA (EI519)	362

IV. High-Alloy Steel

1X13	368
2Kh13	374
3Kh13	382
4Kh13	384
Kh17	388
OKh17T (EI645)	390
1Kh17N2 (EI268)	394
Kh18N9	396
2Kh18N9	402
Kh18N9T	406
OKh18N10	422
Kh18N10T	426
OKh18N12B (EI402)	430
Kh23N18 (EI417)	434
4Kh14N14V2M (EI69)	438
2Kh13N4G9 (EI100)	442
Kh14G14N3T (EI711)	446
Kh21G7AN5 (EP222)	464
Kh17G9AN4 (EI878)	472
G13L	474

V. Mechanical Properties of Steels not Included in Product Tables

Tensile Strength of Low-Alloy and Alloy Steels: 19G, 28GS2, 12KhGN, 25N3, 13N5A, 25KhNVA, 40KhNMA, 30Kh2NMA, 30KhN2MFA, EI355, EP176	480
Impact Strength of Low-Alloy Machine Steels: 28GS2, 12KhG, 15GF, 12KhGN, 10KhNDP, 30KhG2S	486
Impact Strength of Alloy Machine Steels: 35KhGS, 25KhNVA, 40KhNMA, 30Kh2NMA, 30KhN2MFA, 13N2, 25N3, 13N5A, EI355, EP176	490
Impact Strength of New Chromium Steels with Boron: 20KhR, 30KhR, 35KhRA, 40KhR, 20KhGR, 30KhGR, 40KhGR, 20KhNR, 30KhNR, 40KhNR, 40Kh1N1R, 40Kh1NV, 28KhN2	494
Mechanical Properties of High-Alloy Steels: 1Kh12N2VMFA (EI961), 13Kh14NVFA (EI736), Kh14G14N (EP212), Kh17AG14, OKh17N5G9AB (EP55), Kh18N12M2 (EI401), 1Kh21N5T (EI811), OKh21N5T (EP53), OKh21N6M2T (EP54), Kh23N13, N36 (Invar), H42 (Platinite)	500
References	506

1 ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ОСНОВНЫХ ВЕЛИЧИН

2 Наименование величины	3 Обозначение	4 Единица измерения
5 Предел прочности при:		
7 растяжении	σ_B	6 кг/мм ²
8 сжатии	σ_C	»
9 изгибе	σ_K	»
10 кручении	τ_B	»
11 среза, скалывании	τ_C	»
12 Предел текучести при:		
13 растяжении (физический)	$\sigma_T (\sigma_s)$	»
14 растяжении (условный с деформацией на 0,2%)	$\sigma_{0,2}$	»
15 кручении (условный)	$\tau_{0,2}$	»
16 Предел упругости при растяжении	σ_e	»
17 Истинное сопротивление разрыву	S_k	»
18 Модуль нормальной упругости	E	»
19 Модуль касательной упругости (сдвига)	G	»
20 Относительное удлинение при растяжении	$\delta_b, \delta_s, \delta_{10}$	%
21 Относительное сужение поперечного сечения	ψ	%
22 Ударная вязкость	a_k	24 кг·м/см ²
23 Предел выносливости (усталости):		
25 при изгибе с симметричным циклом	σ_{-1}	6 кг/мм ²
26 то же, с концентратором напряжений	σ_{-1k}	»
27 растяжение и сжатие с симметричным циклом	σ_{-1p}	»
28 при пульсирующем цикле	σ_0	»
29 » кручении	τ_{-1}	»
26 то же, с концентратором напряжений	τ_{-1k}	»
30 то же, при пульсирующем цикле	τ_0	»
31 Число циклов до разрушения при испытании на выносливость	N	
32 Твердость по Бринеллю	HB	6 кг/мм ²
33 по Роквеллу шкала В	HRC	»
» » » С	HRC	»
34 » Виккерсу	HV	»
35 Коэффициент линейного расширения	α	36 1/град
37 теплопроводности	λ	38 вт/м·град
39 теплоемкости	C_p	40 дж/г·град

Key to page 111

- 1) Nomenclature
- 2) quantity
- 3) symbol
- 4) unit of measurement
- 5) ultimate
- 6) kg/mm^2
- 7) tensile strength
- 8) compressive strength
- 9) bending strength
- 10) torsional strength
- 11) shearing strength
- 12) yield point in
- 13) tension (physical)
- 14) tension (conventional with 0.2% deformation)
- 15) torsion (conventional)
- 16) elastic limit in tension
- 17) actual tensile strength
- 18) modulus of normal elasticity
- 19) modulus of tangential elasticity (shear modulus)
- 20) relative elongation in tension
- 21) relative constriction of cross-section
- 22) impact strength
- 23) endurance limit (fatigue)
- 24) $\text{kg}\cdot\text{m/cm}^2$
- 25) in bending with symmetric cycle
- 26) same, with stress concentration
- 27) in tension and compression with symmetric cycle
- 28) with pulsating cycle
- 29) in torsion
- 30) same, with pulsating cycle
- 31) number of cycles to failure in endurance test
- 32) Brinell hardness
- 33) Rockwell B-scale hardness
- 34) Vickers hardness
- 35) coefficient of linear expansion
- 36) degree^{-1}
- 37) thermal conductivity
- 38) $\text{W/m}\cdot\text{deg}$
- 39) heat capacity
- 40) $\text{J/g}\cdot\text{deg}$

Symbol List

Manu- script page	Symbol		English Equivalent
111	В	v	short-term
111	С	s	compressive
111	и	i	bending
111	с	s	shear
111	т	t	yield
111	н	n	notch
5	кр	kr	critical
13	мин	min	minimum
17	ср	sr	average
23	сред	sred	average
27	средн	sredn	average
65	к	k	critical
65	В	V	viscous
237	ЧМТУ/ ЦНИИЧМ	ChMTU/ TsNIICHM	Ferrous Metallurgy Technical Specifications/Central Scientific Research Institute for Ferrous Metallurgy
363	отп	otp	indentation
413	над	nad	notch

ANNOTATION

This manual presents information on the physicommechanical properties of basic structural steels from room temperature down to -253°C and indicates their range of application.

Reference tables characterizing the chemical composition and mechanical properties of the metal according to GOST [All-Union State Standards] or TU [Technical Specifications] and the low-temperature thermophysical and mechanical properties of the base metal, welded joints and bimetal are given for each steel type.

Graphic data illustrating the influence exerted by technological, structural and operational factors on the strength of steel are presented. Data derived from foreign and domestic literature are set forth in the book.

This book is intended for engineers and technicians concerned with the design, production and use of various types of equipment operating under low-temperature conditions.

FOREWORD

Major problems related to the creation of new highly-productive and economical chemical-engineering equipment for the growing chemical industry, as well as other industrial equipment operating at low temperatures, are facing the scientific-research institutes and design bureaus.

Publication of special technical literature on the properties of materials at low and cryogenic temperatures will contribute to the successful solution of these problems.

The absence of handbook literature on the properties of steel at low temperatures prompted the author to undertake the difficult task of writing a manual intended for engineers and technicians concerned with the design, production and use of various types of low-temperature equipment employed in the chemical, petrochemical and other related branches of industry.

The material set forth in this book is based chiefly on data derived from domestic studies published in periodicals. Moreover, the various manuals, type books, All-Union Standards, departmental and plant technical specifications, as well as technical-literature data reflecting contemporary achievements in the field of study of the behavior of metallic materials at low temperatures, are used extensively.

This book does not examine the theoretical foundations of the science of the mechanical properties of metals, since this aspect is covered in the works [1-20] of Soviet scientists who have codified numerous experimental facts on the failure of metals subjected to various types of loads and loading conditions. The book might serve as an informative manual for engineers and technicians concerned with the design, production and use of various types of equipment operating under low- and cryogenic-temperature conditions.

I

ORDINARY-GRADE CARBON STEEL

Ordinary-grade carbon steel is produced in accordance with the requirements of GOST 380-60 and delivered in the hot-rolled state conforming to group A with guaranteed mechanical properties or conforming to group V with specific chemical composition.

Group A steel is used in the as-delivered state; group V steel is employed for components that are subject to hot deformation or heat treatment in the manufacturing process.

The mechanical properties of ordinary-grade carbon steel are dependent upon the smelting procedure used on the steel.

The ultimate strengths of open-hearth, Bessemer and converter steels are almost the same. A particularly noticeable difference is observed in the nature of the relationship between impact strength and test temperature. With converter steel, a more rapid drop in impact strength takes place with decreasing temperature. In this case, rimmed steels exhibit a greater tendency to lose impact strength as compared with semikilled or killed steel.

Strain aging of carbon steel (particularly, rimmed converter steel) gives rise to a sharp drop in impact strength at low temperatures.

Ordinary-grade carbon steel submits well to all types of welding, and this is one reason for its widespread use in weldments, industrial structures, railroading, and shipbuilding.

1 Сталь Ст. 2

2 I. Свойства при +20°C по ГОСТ 380-60

3 Химический состав, %

4 Марка стали		C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	P	S
5 группа В	6 группа В				7 не более				

8 Мартеновская сталь

9 МСт. 2кп	¹⁰ ВСт. 2кп	0,09— 0,15	≤0,07	0,25— 0,50	0,30	0,30	0,30	0,045	0,055

11 Механические свойства

4 Марка стали		13 σ_T , кг/мм ² (не менее, по раз- рядам толщины проката)			σ_B , кг/мм ²	δ_5 , %	δ_{10} , %
12 группа А	6 группа В	1	2	3		15 не менее	
16 Ст. 2	¹⁰ —	22	20	19	34—42	26	31
17 Ст. 2кп	ВСт. 2кп						

18 Примечание. Для сортовой стали Ст. 2 второго разряда σ_T не менее 21 кг/мм².

19 Назначение — для деталей глубокой вытяжки и изготовления заклепок.

20 II. Механические свойства при низких температурах

21 Прочность при растяжении для стали Ст. 2 [21]

22 Температура, °C	¹⁴ σ_B , кг/мм ²	¹³ σ_T , кг/мм ²	δ , %	ψ , %
+20	37,1	23,3	27,5	64,5
-30	41,2	32,5	31,6	66,9
-60	46,0	34,2	31,2	62,8
-183	44,8	—	—	—

Key to page 2

- 1) Steel St. 2
- 2) I. Properties at +20°C according to GOST 380-60
- 3) chemical composition, %
- 4) steel type
- 5) group B
- 6) group V
- 7) not above
- 8) open-hearth steel
- 9) MSt. 2kp
- 10) VSt. 2kp
- 11) mechanical properties
- 12) group A
- 13) τ , kg/mm² (not below, by rolled-thickness categories)
- 14) kg/mm²
- 15) not below
- 16) St. 2
- 17) St. 2kp
- 18) Note. For St. 2 profile steel of category two, σ_t not below 21 kg/mm²
- 19) Application — for deep-drawn parts and rivetmaking
- 20) II. Mechanical properties at low temperatures
- 21) tensile strength for steel St. 2 [21]
- 22) temperature, °C

1 Ударная вязкость стали КСт. 2кп
(по данным Института нефте- и углехимического синтеза)

2 Состояние материала	3 $\sigma_{\text{н}}$, кг/см ² , при температуре, °C					4 $T_{\text{кр}}$, °C, при $\sigma_{\text{н}} \leq 4 \text{ кг/см}^2$
	+20	0	-20	-40	-60	
5 Горячекатаный	$\frac{2,4-6,4}{4,0}$	$\frac{1,3-1,6}{1,4}$	$\frac{0,8}{0,8}$	$\frac{0,3}{0,3}$	—	+20
6 Отожженный	$\frac{2,4-4,7}{3,3}$	$\frac{0,9-1,4}{1,1}$	$\frac{0,7-0,8}{0,7}$	$\frac{0,6}{0,6}$	$\frac{0,4}{0,4}$	+20
7 Нормализованный	$\frac{9,6-24}{13}$	$\frac{1,3-7,3}{3,5}$	$\frac{0,6}{0,6}$	$\frac{0,5-0,8}{0,6}$	$\frac{0,7}{0,7}$	0
8 Нормализованный отпущенный	$\frac{7,2-7,6}{7,4}$	$\frac{2,1-2,4}{2,2}$	$\frac{0,6-1,0}{0,8}$	$\frac{0,6}{0,6}$	$\frac{0,4}{0,4}$	0
9 Закаленный и отпущенный . . .	$\frac{23-27,4}{25,3}$	$\frac{28,4-31,1}{29,8}$	$\frac{28,3-29,4}{28,8}$	$\frac{2,3-28,4}{17,0}$	$\frac{0,4-1,2}{0,8}$	-40

10 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,12C; 0,44Mn; 0,04Cr; 0,018P; 0,037S.
2. Для исследований применяли квадратный прутки 140 × 150 мм.
3. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения.

11 Сталь Ст. 3

12 I. Свойства при +20°С по ГОСТ 380—60

13 Химический состав, %

14 Марка стали		C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	P	S
15 группа В	16 группа В				17 не более				

18 Мартеновская сталь

19 МСт. 3	20 ВСт. 3	0,14—0,22	0,12—0,30	0,40—0,65	0,3	0,3	0,3	0,045	0,055
21 МСт. 3кп	22 ВСт. 3кп	0,14—0,22	≤0,07	0,30—0,60	0,3	0,3	0,3	0,045	0,055

23 Бессемеровская сталь

24 БСт. 3	—	≤0,12	0,12—0,35	0,25—0,55	0,3	0,3	0,3	0,080	0,060
25 БСт. 3кп	—	≤0,12	≤0,07	0,25—0,55	0,3	0,3	0,3	0,080	0,060

Key to page 4

- 1) impact strength of steel KSt. 2kp (according to data of the Institute of Petrochemical and Coal-Tar Synthesis)
- 2) state of material
- 3) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 4) t_{kr} , °C at $a_n \leq 4$ kg·m/cm²
- 5) hot-rolled
- 6) annealed
- 7) normalized
- 8) normalized and tempered
- 9) hardened and tempered
- 10) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.12 C, 0.44 Mn, 0.04 Cr, 0.018 P; 0.037 S.
2. A 140 x 150 mm square rod was used in the study.
3. The limits are given in the numerator, and the average values in the denominator.
- 11) steel St. 3
- 12) I. Properties at +20°C according to GOST 380-60
- 13) chemical composition, %
- 14) steel type
- 15) group B
- 16) group V
- 17) not below
- 18) open-hearth steel
- 19) MSt. 3
- 20) VSt. 3
- 21) MSt. 3kp
- 22) VSt. 3kp
- 23) Bessemer steel
- 24) BSt. 3
- 25) BSt. 3kp

1 Механические свойства

2 Марка стали		3 σ_T , кг/мм ² , не менее, по разрядам толщины проката			4 σ_B , кг/мм ²	δ_{10} , %	δ_5 , %	5 ГОСТ
6 группа А	7 группа В	1	2	3		8 не менее		

9 Мартеновская и бессемеровская сталь

10 Ст. 3	11 ВСт. 3	24	23	22	38—40	23	27	380—60
					41—43	22	26	
					44—47	21	25	
12 Ст. 3кп	13 ВСт. 3кп	24	22	21	38—40	23	27	
					41—43	22	26	
					44—47	21	25	

- 14 **Примечания:** 1. Для бессемеровской стали Ст. 3 и Ст. 3кп первого разряда толщины проката предел текучести устанавливают не менее 25 кг/мм².
2. Для стали марки Ст. 3кп второго разряда толщины проката предел текучести устанавливается не менее 23 кг/мм².

- 15 **Назначение** — для изготовления обечаек, днищ, фланцев, трубных решеток, рам, каркасов, кожухов и других деталей сварной аппаратуры с рабочими температурами до —40° С; а также для изготовления малонагруженных рычагов, болтов с рабочими температурами до —20° С.

16 II. Физические свойства при низких температурах

17 Коэффициент линейного расширения для стали Ст. 3 в зависимости от температуры [24]

18 Температу- ра, °С	19 $\alpha \cdot 10^6$, 1/град	18 Температу- ра, °С	19 $\alpha \cdot 10^6$, 1/град	18 Температу- ра, °С	19 $\alpha \cdot 10^6$, 1/град
26,9	11,79	—53,1	10,51	—123,1	8,48
16,9	11,66	—63,1	10,31	—133,1	8,03
6,9	11,52	—73,1	10,09	—143,1	7,53
—3,1	11,37	—83,1	9,84	—153,1	6,97
—13,1	11,21	—93,1	9,56	—163,1	6,29
—23,1	11,05	—103,1	9,24	—173,1	5,50
—33,1	10,88	—113,1	8,88	—183,1	4,57
—43,1	10,70				

Key to page 6

- 1) mechanical properties
- 2) steel type
- 3) σ_t , kg/mm², not below, by rolled-thickness categories
- 4) σ_v , kg/mm²
- 5) GOST
- 6) group A
- 7) group V
- 8) not below
- 9) open-hearth and Bessemer steel
- 10) St. 3
- 11) VSt. 3
- 12) St. 3kp
- 13) VSt. 3kp
- 14) Note. 1. For Bessemer steel St. 3 and St. 3kp of the first rolled-thickness category, the yield point is established at not below 25 kg/mm².
2. For type-St 3kp steel of the second rolled-thickness category, the yield point is established at not below 23 kg/mm².
- 15) Application – for production of shells, cups, flanges, tube grids, frames, housings, casings and other components for welded apparatus with operating temperatures down to -40°C, as well as for production of light-duty levers and bolts with operating temperatures down to -20°C.
- 16) II. Physical properties at low temperatures
- 17) coefficient of linear expansion for steel St. 3 as function of temperature [24]
- 18) temperature, °C
- 19) deg⁻¹

1 III. Механические свойства при низких температурах

2 Прочность при растяжении стали МСт. 3 [27]

3 № пп.	4 Темпера- тура °С	5 В состоянии поставки			6 Нормализованная		
		7 σ_B кг/мм ²	8 σ_T кг/мм ²	9 δ_5 , %	7 σ_B кг/мм ²	8 σ_T кг/мм ²	9 δ_5 , %
1	+20	42,8	27,6	28,9	43,3	28,6	24,4
	-70	52,1	39,0	32,1	52,6	41,7	33,9
2	+20	44,0	28,1	30,6	44,2	25,2	31,7
	-70	55,7	42,0	33,2	51,8	35,3	30,4
3	+20	44,7	27,7	32,4	47,9	28,8	26,8
	-70	52,3	37,8	36,3	52,9	38,3	30,1

9 Примечание.

10 Химический состав сталей, %

3 № пп.	11 Марка стали	С	Мп	С	Р
1	12 МСт. 3	0,17	0,38	0,029	0,027
2	12 МСт. 3	0,20	0,53	0,057	0,045
3	12 МСт. 3	0,23	0,61	0,041	0,031

13 Механические свойства горячекатаных (числитель) и закаленных (знаменатель) листов стали Ст. 3кп [28]

14 Номер плашки	15 Толщина листа, мм	7 σ_B кг/мм ²	8 σ_T кг/мм ²	9 δ_5 , %	16 a_n , кг/см ² , при темпе- ратуре, °С			17 a_n , кг/см ² , после старения при тем- пературе, °С	
					+20	-40	-60	+20	-20
1	13	41,0	26,0	25,0	6,0	1,25	—	4,0	0,7
		48,5	37,5	18,0	8,6	6,9	6,0	7,8	4,1
	20	40,2	22,7	28,0	1,3	0,9	—	1,5	0,3
		46,7	33,2	20,0	7,0	6,6	4,4	8,2	4,5
	40	43,0	20,0	27,2	0,8	0,9	—	0,7	0,6
		46,5	30,6	24,3	8,7	6,9	5,3	9,3	5,0

Key to page 8

- 1) III. Mechanical properties at low temperatures
- 2) tensile strength of steel MSt. 3 [27]
- 3) No.
- 4) temperature, °C
- 5) in as-delivered state
- 6) normalized
- 7) σ_v , kg/mm²
- 8) σ_t , kg/mm²
- 9) Note.
- 10) chemical composition of steels, %
- 11) steel type
- 12) MSt.3
- 13) Mechanical properties of hot-rolled (numerator) and hardened (denominator) steel St. 3kp sheets [28]
- 14) melt No.
- 15) sheet thickness, mm
- 16) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 17) a_n , kg·m/cm², after aging at temperature, °C

1 Продолжение

2 Номер плавки	3 Толщина листа, мм	4	5	6 δ , %	6 $\sigma_{\text{н}}$, кг/мм ² , при темпе- ратуре, °С			7 $\sigma_{\text{н}}$, кг/мм ² , после старения при тем- пературе, °С	
		$\sigma_{\text{н}}$ кг/мм ²	$\sigma_{\text{т}}$ кг/мм ²		+20	-40	-60	+20	-20
2	12	42,2	28,2	24,2	4,1	1,65	—	4,0	0,5
		52,5	37,0	17,0	8,0	5,5	4,5	7,8	4,2
	20	42,2	29,2	24,2	3,3	1,3	—	2,5	0,4
		49,2	35,2	21,2	8,5	6,7	6,5	8,0	4,6

8 Примечания:

9 1. Химический состав стали, %

2 Номер плавки	C	Mn	Si	P	S	Сu
1	0,14	0,47	10 Следы	0,025	0,044	0,24
2	0,19	0,54		0,017	0,033	0,25

11 Механические свойства профильной горячекатаной (числитель)
и закаленной (знаменатель) стали Ст. 3кп [28]

12 Швеллер	4 $\sigma_{\text{в}}$, кг/мм ²	6 $\sigma_{\text{н}}$, кг/мм ² , при температуре, °С	
		+20	-40
№ 14	42—43 56—60	17 20—22	2,0—2,5 16,8—17,5
№ 20	40—41 56—59	17—20 21—24	2,7—0,6 18—19

8 Примечание.

13 Химический состав стали Ст. 3кп, %

12 Швеллер	C	Mn	Si	P	S
№ 14	0,19	0,44	10 Следы	0,022	0,035
№ 20	0,13	0,42		0,031	0,020

Key to page 10

- 1) continued
- 2) melt No.
- 3) sheet thickness, mm
- 4) σ_v , kg/mm²
- 5) σ_t , kg/mm²
- 6) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 7) a_n , kg·m/cm², after aging at temperature, °C
- 8) Notes.
- 9) 1. Chemical composition of steel, %
- 10) traces
- 11) mechanical properties of hot-rolled (numerator) and hardened (denominator) St. 3kp profile steel [28]
- 12) channel
- 13) chemical composition of steel St. 3kp, %

1 Ударная вязкость стали Ст. 3
(данные Института нефте- и углехимического синтеза)

2	Толщина листа, мм	3 Состояние материала	4 a_K , кг·м/см ² , при температуре, °C						5 $T_{кр}$, °C, при a_K мин
			+20	-20	-40	-60	-80	-100	
13		6 Горячекатаный	14,0— 13,8	9,1— 7,3	2,1— 1,4	0,6— 0,5	0,5— 0,5	—	-30
		7 Отожженный	14,0— 13,5	10,8— 10,8	3,2— 3,1	1,0— 0,8	0,5— 0,5	—	-40
		8 Нормализованный	14,7— 14,0	13,0— 12,6	7,9— 7,6	1,4— 0,8	1,0— 0,8	—	-50
		9 Закаленный и отпущенный	21,3— 18,5	17,0— 15,2	12,1— 12,1	10,9— 8,3	14,6— 9,5	12,0— 0,4	-100
15		6 Горячекатаный	16,0— 16,6	10,8— 10,0	7,2— 1,0	1,3— 0,5	—	—	-40
		7 Отожженный	14,6— 14,6	11,1— 0,8	5,0— 4,6	0,6— 0,5	1,0— 0,4	—	-20
		8 Нормализованный	20,2— 13,8	20,2— 7,5	13,0— 9,2	1,9— 0,8	0,5— 0,3	—	-50
		9 Закаленный и отпущенный	24,0— 14,8	14,0— 13,0	12,5— 10,8	10,3— 8,5	7,2— 7,2	10,2— 9,5	Ниже -100
18		6 Горячекатаный	16,5— 15,5	13,0— 11,2	1,5— 1,0	0,8— 0,8	—	—	-30
		7 Отожженный	17,4— 13,8	0,7— 0,7	0,5— 0,5	0,5— 0,3	—	—	-10
		8 Нормализованный	20,3— 15,5	14,0— 6,3	1,2— 0,8	6,7— 0,5	—	—	-30
		9 Закаленный и отпущенный	22,8— 16,5	21,5— 3,9	23,0— 12,0	16,6— 0,4	—	—	-20

11 Примечания: 12
1. Химический состав стали Ст. 3, %

2	Толщина листа, мм	C	Mn	Si	P	S
	13	0,14	0,44	0,17	0,032	0,033
	15	0,16	0,52	0,17	0,034	0,038
	18	0,15	0,38	0,17	0,024	0,044

13 2. В таблице приведены максимальные и минимальные значения ударной вязкости.

Key to page 12

- 1) impact strength of steel St. 3 (data of the Institute of Petrochemical and Coal Tar Synthesis)
- 2) sheet thickness, mm
- 3) material state
- 4) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 5) t_{kr} , $^{\circ}\text{C}$, at $a_{n_{\min}} \leq 4 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 6) hot-rolled
- 7) annealed
- 8) normalized
- 9) hardened and tempered
- 10) below -100
- 11) Notes.
- 12) chemical composition of steel St. 3, %
- 13) 2. The maximum and minimum impact strength values are listed in the table.

1 Ударная вязкость стали МСт. 3кп

2 Состояние материала	3 σ_H , кг·м/см ² при темпе- ратуре, °С	4 $T_{кр}$, °С, при $\sigma_H < 4$ кг·м/см ²					5 Литература
		+20	0	-20	-40	-60	

6 Балка (толщина полки 10 мм)

7 Горячекатаный . . .	10,4	—	5,7	0,6	0,5	—	[38]

8 Лист 12 мм

7 Горячекатаный	8,7	6,4	4,0	1,2	—	—20	9 По данным Ин- ститута нефте- и углехимического синтеза
10 Закаленный	7,4	6,8	5,6	4,4	4,4	Ниже —40	
12 Закаленный и от- пущенный	11,0	9,3	8,0	5,1	1,2	—50	

13 Лист 20 мм

7 Горячекатаный	7,4	4,0	1,3	1,0	—	0	
10 Закаленный	7,5	6,1	5,6	3,3	2,4	—40	
12 Закаленный и от- пущенный	9,4	9,2	6,0	4,0	1,4	—40	

14 Лист 40 мм

7 Горячекатаный	6,4	4,0	0,7	1,1	—	0	
10 Закаленный	10,7	9,5	7,5	5,2	4,1	Ниже —60	
12 Закаленный и от- пущенный	11,5	10,6	8,6	5,4	3,5	—50	

16 Примечание.

17

Химический состав стали, %

18 Изделие	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
6 Балка (толщина пол- ки 10 мм)	0,15	0,37	0,03	0,028	0,066	—	0,020	0,039
19 Лист толщиной 12 мм	0,19	0,54	Следы	0,02	0,04	0,25	0,017	0,033
21 То же, 20 и 40 мм	0,14	0,47	»	0,08	0,03	0,24	0,025	0,044

Key to page 14

- 1) impact strength of steel MSt. 3kp
- 2) material state
- 3) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$ at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 4) t_{kr} , $^{\circ}\text{C}$, at $a_n \leq 4 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 5) source
- 6) beam (10-mm web thickness)
- 7) hot-rolled
- 8) 12 mm sheet
- 9) according to data of the Institute of Petrochemical and Coal Tar Synthesis
- 10) hardened
- 11) below -40
- 12) hardened and tempered
- 13) 20 mm sheet
- 14) 40 mm sheet
- 15) below -60
- 16) Note.
- 17) chemical composition of steel, %
- 18) article
- 19) sheet 12 mm thick
- 20, 'races
- 21) same, 20 and 40 mm

1 Ударная вязкость сталей МСт. Зсп, МСт. Зкп в состоянии поставки, определенная на образцах с надрезом различных типов [43]

2	Марка стали	3	Толщина листа, мм	4	Тип надреза по ГОСТ 9454-80	5	Направление и тип выреза образцов	6 a_H , кг·м/см ² , при температуре, °С							7 $T_{кр}$, °С, при	
								+20	-10	-20	-30	-40	-50	-60	8 $a_{H, мин}$	9 $a_{H, ср}$
11	МСт. 3сп	12	I	12	Вдоль	12,5—14,1 13,2	—	8,1—9,1 8,6	6,0—8,9 7,2	1,2—7,2 5,2	2,4—6,7 5,1	0,8—5,0 3,0	—35	13 Ниже -60		
				14	Поперек	8,2—9,0 8,7	—	5,6—6,8 6,1	4,5—5,4 5,0	4,5—5,0 4,8	0,7—5,3 4,2	0,4—2,6 1,6	—47	—55		
				II	„	6,7—7,7 7,2	—	5,2—7,1 6,1	4,5—5,4 5,1	4,5—5,9 5,2	4,1—4,8 4,4	—	15 Ниже -50	15 Ниже -50		
				III	„	6,1—7,1 6,6	—	5,9—6,9 6,3	4,5—6,0 5,3	4,4—5,5 4,8	0,8—4,6 1,7	—	—45	—45		
				IV	„	6,3—7,6 7,0	3,7—4,2 4,0	3,0—3,9 3,5	—	—	—	—	16 Ниже -20	16 Ниже -20		
				30	I	12	Вдоль	11,9—13,0 12,5	—	2,0—7,5 5,9	0,7—4,9 2,3	—	0,7—1,5 1,2	—	—	—
						14	Поперек	8,3—10,8 9,0	—	3,2—5,8 4,9	0,7—4,9 2,3	0,5—1,0 0,7	0,5—1,4 1,0	—	—25	—30
						III	„	6,4—8,3 7,1	4,7—7,0 5,6	2,7—5,0 3,9	—	—	—	—	—25	—
						IV	„	5,6—7,6 6,7	1,2—4,2 2,8	0,9—3,2 1,6	—	—	—	—	0	—15
						17	МСт. 3кп	12	I	12	Вдоль	15,1—17,7 15,9	1,0—2,9 1,9	1,3—4,3 2,1	0,6—0,6 0,6	—
14	Поперек	9,1—10,2 9,7	1,2—7,0 3,5	1,3—5,4 3,1	0,6—1,0 0,8					—	—	—	—3	—25		

Key to page 16

- 1) impact strength of steels MSt. 3sp and MSt. 3kp in as-delivered state, determined on specimens with various types of notches [43]
- 2) steel type
- 3) sheet thickness, mm
- 4) notch type according to GOST 9454-60
- 5) direction of specimen notching
- 6) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 7) t_{kr} , °C, at
- 8) $a_{n_{min}}$
- 9) $a_{n_{sr}}$
- 10) ≤ 2 kg·m/cm²
- 11) MSt.3sp
- 12) lengthwise
- 13) below -60
- 14) crosswise
- 15) below -50
- 16) below -20
- 17) MSt. 3kp

1 Продолжение

2 Марка стали	3 Толщина листа, мм	4 Тип надреза по ГОСТ 94-60	5 Направление надрезки образцов	6 a_k , кг·м/см ² , при температуре, °С							7 $T_{кр}$, °С, при	
				+20	-10	-20	-30	-40	-50	-60	8 $a_{мин}$	9 $a_{ср}$
11 МСт. 3кп	12	II	12 Поперек	<u>8,6—10,2</u> 9,7	<u>1,4—1,8</u> 1,5	<u>1,0—1,4</u> 1,1	—	—	—	—	-5	-5
		III	»	<u>7,7—8,7</u> 8,5	<u>2,0—6,8</u> 3,9	<u>1,2—1,8</u> 1,5	—	—	—	—	-15	-15
		IV	»	<u>6,3—7,0</u> 6,7	<u>1,2—1,9</u> 1,6	—	—	—	—	—	-5	-5
	30	I	13 Вдоль	<u>4,1—14,3</u> 10,7	—	<u>0,8—1,0</u> 0,8	—	—	—	—	—	—
		I	12 Поперек	<u>3,1—10,4</u> 7,8	<u>0,8—1,1</u> 1,0	<u>0,6—1,0</u> 0,8	<u>0,7—0,9</u> 0,8	—	—	—	0	0
		III	»	—	<u>1,5—2,3</u> 2,0	—	—	—	—	—	-5	-10
		IV	»	<u>3,0—5,4</u> 3,8	<u>1,2—1,3</u> 1,3	—	—	—	—	—	+5	0

14 Примечания:

15 1. Химический состав сталей, %

2 Марка стали	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
16 МСт. 3сп (плавка 2176)	0,19	0,58	0,22	0,018	0,034	0,07	Нет	0,07
18 МСт. 3кп (плавка 91402)	0,16	0,33	19 Следы	0,010	0,021	17 Нет	17 Нет	0,07

20 2. Надрез:

21 тип надреза I II III IV 22 угол 2 3 5 45°

23 радиус, мм I I I 0,25 24 глубина надреза, мм 2 3 5 2

25 3. В числителе приведены пределы, а в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

Key to page 18

- 1) continued
- 2) steel type
- 3) sheet thickness, mm
- 4) notch type according to GOST 9454-60
- 5) direction of specimen notching
- 6) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 7) t_{kr} , $^{\circ}\text{C}$ at
- 8) $a_{n\min}$
- 9) $a_{n\text{sr}}$
- 10) $< 2 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 11) MSt, 3kp
- 12) crosswise
- 13) lengthwise
- 14) Notes:
- 15) 1. Chemical composition of steels, %
- 16) MSt. 3sp (melt 2176)
- 17) none
- 18) MSt. 3kp (melt 91402)
- 19) traces
- 20) 2. Notch
- 21) notch type
- 22) angle
- 23) radius, mm
- 24) notch depth, mm
- 25) 3. The limits are given in the numerator, and the average impact strength values in the denominator

1 Ударная вязкость стали КСт. 3кп
(данные Института нефте- и углехимического синтеза)

2 Вид полуфабриката	3 Состояние материала	4 σ_H , кг·м/см ² , при температуре, °С					5 $T_{кр}$, °С, при σ_H в кг·м/см ²
		+20	0	-20	-40	-60	
12 Сутунка 12 мм	6 Горячекатаный	5,1—5,4 5,3	1,3—1,8 1,5	0,5 0,5	0,4 0,4	0,2—0,4 0,3	+10
	7 Отожженный	7,3—11,3 9,3	4,2—6,1 5,1	0,7 0,7	0,6 0,6	0,3—0,5 0,3	0
	8 Нормализованный	3,2—4,5 3,8	3,3—5,7 4,5	0,4—0,5 0,4	0,4—0,7 0,5	0,3—0,5 0,4	+20
	9 Нормализованный и отпущенный	5,8 5,8	1,5—2,4 1,9	0,7—1,0 0,8	0,5 0,5	0,2—1,0 0,6	0
	10 Закаленный	9,7—27,6 18,6	4,7—5,5 5,1	1,1—19,7 6,9	1,7—2,0 1,8	1,1—1,5 1,3	-20
	11 Закаленный и отпущенный	23,5—26,5 25,0	19,5—27,0 23,0	3,5—30,0 13,2	0,6—4,7 2,6	0,3—1,2 0,8	-20
13 Прутки диаметром 18 мм	6 Горячекатаный	16,4—17,7 16,9	11,3—14,6 12,8	8,7—9,7 9,0	0,8—5,1 2,6	0,4—0,6 0,5	-40
	7 Отожженный	7,9—8,2 8,0	0,4—0,8 0,6	0,4—0,5 0,4	0,3—0,8 0,5	0,2—0,4 0,3	+10
	8 Нормализованный	11,4—12,6 11,9	3,9—8,3 6,6	0,5—1,5 1,4	0,5—0,7 0,6	0,2—0,5 0,4	0
	9 Нормализованный и отпущенный	12,4—19,2 15,8	5,1—10,5 7,6	0,5—0,7 0,6	0,3—0,8 0,5	0,5—0,5 0,5	-10
	10 Закаленный	7,7—8,7 8,3	3,6—6,0 4,8	2,6—3,9 3,3	2,2—6,0 3,9	0,8—7,3 3,0	0
	11 Закаленный и отпущенный	20,6—22,0 21,4	15,6—18,0 16,5	11,3—17,7 14,1	0,7—7,4 2,4	0,4—1,6 0,8	-40

14 Примечания: 15

1. Химический состав стали, %

16 Вид полуфабриката	C	Mn	Si	P	S
12 Сутунка 12 мм	0,22	0,47	17 Следы	0,031	0,097
13 Прутки диаметром 18 мм	0,19	0,59		0,015	0,062

18 2. В числителе приведены пределы, а в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

2 С. И. Гудков 1028

Key to page 20

- 1) impact strength of steel KSt. 3kp (data of the Institute of Petrochemical and Coal Tar Synthesis)
- 2) type of semifinished product
- 3) material state
- 4) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 5) t_{kr} , °C at $a_{nmin} \leq 4$ kg·m/cm²
- 6) hot-rolled
- 7) annealed
- 8) normalized
- 9) normalized and tempered
- 10) hardened
- 11) hardened and tempered
- 12) 12-mm sheet bar
- 13) rod 18 mm in diameter
- 14) Notes.
- 15) 1. Chemical composition of steel, %
- 16) type of semifinished product
- 17) traces
- 18) 2. The limits are given in the numerator, and the average impact strength values in the denominator.

1 Ударная вязкость стали КСт. Зсп и КСт. Зкп в состоянии поставки [43]

2 Марка стали	3 Толщина листа, мм	4 Тип надреза по ГОСТ 9454-60	5 Направление вырезки образцов	6 a_n , кг·м/см ² , при температуре, °C							7 $T_{кр}$, °C	
				+20	-10	-20	-30	-40	-50	-60	8 $a_{нмн}$	9 $a_{нср}$
											10 $a \leq 2$ кг·м/см ²	
11 КСт. Зсп	12	I	12 Вдоль	12,3—14,5	—	9,6—11,2	6,7—9,4	0,4—0,8	0,4—0,8	0,3—0,5	—33	—55
			13 Поперек	13,2	—	10,4	8,1	0,7	0,5	0,3	—33	—55
		I	12 Вдоль	10,3—11,1	—	6,6—7,8	5,4—6,3	0,7—5,7	4,4—6,4	0,3—1,8	—33	—55
			13 Поперек	15,5	—	7,2	5,8	4,4	5,4	0,6	—33	—55
		II	12 Вдоль	—	—	1,1—8,0	0,9—6,1	0,7—5,8	0,6—5,1	—	—15	—45
			13 Поперек	—	—	6,0	2,0	3,5	1,6	—	—15	—45
		III	12 Вдоль	7,8—8,8	—	6,0—6,8	1,6—6,2	5,1—5,8	1,0—6,1	—	—25	Ниже —50
			13 Поперек	8,3	—	6,3	5,4	5,7	3,9	—	—25	Ниже —50
	30	I	12 Вдоль	8,1—8,2	3,9—5,2	2,7—3,9	—	—	—	—	15	15
			13 Поперек	8,2	4,7	3,4	—	—	—	—	Ниже —20	Ниже —20
		II	12 Вдоль	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16 КСт. Зкп	12	I	12 Вдоль	12,2—12,9	—	4,1—9,5	—	—	0,3—0,7	—	—	—
			13 Поперек	12,5	—	7,8	—	—	0,5	—	—	—
		I	12 Вдоль	7,5—10,9	—	0,9—8,6	0,6—1,9	0,6—2,8	0,3—1,2	—	—10	—25
			13 Поперек	9,4	—	5,0	1,2	1,0	0,7	—	—10	—25
		III	12 Вдоль	7,7—9,7	—	—	—	—	—	—	—	—
			13 Поперек	8,7	—	—	—	—	—	—	—	—
		IV	12 Вдоль	5,8—7,7	1,2—3,3	1,0—1,5	—	—	—	—	0	—15
			13 Поперек	6,8	1,5	1,1	—	—	—	—	0	—15
	30	I	12 Вдоль	11,6—17,1	1,3—7,1	0,9—3,0	0,6—0,9	—	—	—	—5	—15
			13 Поперек	13,2	3,8	1,8	0,7	—	—	—	—5	—15
		II	12 Вдоль	7,8—9,6	1,9—8,0	1,5—4,6	0,5—0,7	—	—	—	—7	—25
16 КСт. Зкп	12	I	12 Вдоль	9,0	5,0	2,8	0,6	—	—	—	—5	—5
			13 Поперек	8,1—10,5	1,1—3,3	0,8—1,4	—	—	—	—	—5	—5
		II	12 Вдоль	9,0	1,5	1,1	—	—	—	—	—5	—5
			13 Поперек	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	30	I	12 Вдоль	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			13 Поперек	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		II	12 Вдоль	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		III	12 Вдоль	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			13 Поперек	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Key to page 22

- 1) impact strength of steel St 3kp in as-delivered state [43]
- 2) steel type
- 3) sheet thickness, mm
- 4) notch type according to GOST 9454-60
- 5) direction of specimen notching
- 6) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 7) t_{kr} , °C
- 8) a_{nmin}
- 9) a_{nsred}
- 10) < 2 kg·m/cm²
- 11) KSt. 3sp
- 12) lengthwise
- 13) crosswise
- 14) below -50
- 15) below -20
- 16) KSt. 3kp

1 Продолжение

2 Марка стали	3 Толщина листа, мм	4 Тип надреза по ГОСТ 9454-60	5 Направление вырезки образца	6 a_n , кг·м/см ² , при температуре, °С							7 $T_{кр}$, °С		10 ≤ 2 кг·м/см ²
				+20	-10	-20	-30	-40	-50	-60	8 $a_{нмн}$	9 $a_{срз}$	
11 КСт. Зкп	12	III	12 Поперек	$\frac{7,5-9,2}{8,3}$	$\frac{1,6-7,0}{4,1}$	$\frac{1,0-4,8}{2,6}$	—	—	—	—	-5	13 Ниже -20	
			IV	$\frac{4,2-7,9}{5,6}$	$\frac{1,0-1,4}{1,1}$	—	—	—	—	+5	+5		
	30	I	14 Вдоль	$\frac{3,5-18,4}{11,4}$	—	$\frac{0,6-0,9}{0,8}$	—	—	—	—	—	—	
			12 Поперек	$\frac{6,5-11,7}{9,4}$	$\frac{1,0-1,3}{1,1}$	$\frac{0,6-1,3}{0,9}$	$\frac{0,6-3,3}{1,2}$	—	—	—	0	0 15	
			III	$\frac{6,9-8,5}{7,9}$	—	—	—	—	—	—	+5	Ниже 0	
			IV	$\frac{2,4-4,1}{3,1}$	$\frac{0,8-1,7}{1,4}$	—	—	—	—	—	+5	+5	

16 Примечания:

17 1. Химический состав сталей, %

2 Марка стали	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
18 КСт. Зкп	0,17	0,51	0,24	0,026	0,041	0,05	0,02	0,05
11 КСт. Зкп	0,15	0,53	Следы	0,027	0,026	0,05	0,02	0,03

20 2. Тип надреза	I	II	III	IV	21 Глубина, мм	2	3	5	2
22 Радиус, мм	I	I	I	0,25	23 Угол	—	—	—	45°
24 3. Сталь КСт. Зкп выплавлена в конвертере с верхней продувкой кислородом.									
25 4. В числителе приведены пределы, а в знаменателе — средние значения ударной вязкости.									

Key to page 24

- 1) continued
- 2) steel type
- 3) sheet thickness, mm 4
- 4) notch type according to GOST 9454-60
- 5) direction of specimen notching
- 6) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 7) t_{kr} , $^{\circ}\text{C}$
- 8) $a_{n\min}$
- 9) a_{nsred}
- 10) $< 2 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 11) KSt. 3kp
- 12) crosswise
- 13) below -20
- 14) lengthwise
- 15) below 0
- 16) Notes.
- 17) 1. Chemical composition of steels, %
- 18) KSt. 3sp
- 19) traces
- 20) 2. Notch type
- 21) depth, mm
- 22) radius, mm
- 23) angle
- 24) 3. Steel St. 3kp is smelted in a converter with overhead oxygen blow
- 25) 4. The limits are given in the numerator, and the average impact strength values in the denominator.

1 Ударная вязкость Ст. 3 после термического упрочнения [43]

2	Марка стали	3 Толщина листа, мм	4 Направление вырезки образцов	5 a_H , кг·м/см ² , при температуре, °С						6 $T_{кр}$, °С	
				+20	-20	-40	-50	-60	-80	7	8
										$a_{H_{мин}}$	$a_{H_{средн}}$
										< 2 кг·м/см ² 9	
10	МСт. 3сп	12	11 Вдоль	$\frac{17,2-17,3}{17,3}$	—	—	$\frac{10,7-14,2}{13,0}$	—	—	—	—
		12	12 Поперек	$\frac{11,1-12,5}{11,4}$	$\frac{8,0-10,5}{9,2}$	$\frac{8,2-8,8}{8,5}$	—	$\frac{6,4-9,1}{8,1}$	$\frac{5,8-7,8}{6,5}$	13 Ниже -60	13 Ниже -60
		30	„	$\frac{13,0-15,1}{14,0}$	$\frac{7,7-11,3}{10,4}$	$\frac{8,1-9,8}{9,5}$	—	$\frac{6,6-7,5}{6,9}$	—	-60	13 Ниже -60
14	МСт. 3кп	12	12 Поперек	$\frac{8,0-11,8}{10,7}$	$\frac{3,0-7,8}{6,5}$	$\frac{1,4-5,8}{4,6}$	—	$\frac{3,1-6,9}{5,7}$	$\frac{0,8-5,7}{3,4}$	-40	13 Ниже -60
		30	„	$\frac{10,6-18,1}{15,8}$	$\frac{11,3-15,2}{13,9}$	—	—	—	—	—	—

Key to page 26

- 1) impact strength of St. 3 after thermal heardening [43]
- 2) steel type
- 3) sheet thickness, mm
- 4) direction of specimen notching
- 5) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 6) t_{kr} , PC
- 7) $a_{n\min}$
- 8) a_{nsredn}
- 9) $<2 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 10) MSt. 3sp
- 11) lengthwise
- 12) crosswise
- 13) below -60
- 14) MSt. 3kp

1 Продолжение

2 Марка стали	3 Толщина листа, мм	4 Направление вырезки образцов	5 a_H , кг·м/см ² , при температуре, °С						6 $T_{кр}$, °С	
			+20	-20	-40	-50	-60	-80	7 $a_{H_{мин}}$	8 $a_{H_{срели}}$
									9 < 2 кг·м/см ²	
10 КСт. Зсп	12	11 Вдоль	$\frac{11,8-15,1}{14,5}$	—	—	$\frac{7,7-10,4}{9,3}$	—	—	—	—
	12	12 Поперек	$\frac{9,8-12,1}{10,5}$	$\frac{7,0-8,8}{7,9}$	$\frac{4,9-7,1}{6,5}$	—	$\frac{1,7-8,6}{6,6}$	$\frac{5,0-6,5}{5,7}$	-45	Ниже -60 13
	30	„	$\frac{13,0-17,0}{15,0}$	$\frac{9,5-11,7}{10,4}$	—	$\frac{0,9-10,0}{7,5}$	$\frac{2,0-8,4}{6,5}$	—	-40	Ниже -60 13
14 КСт. Зкп	12	12 Поперек	$\frac{8,2-9,7}{8,3}$	$\frac{6,7-8,7}{7,7}$	$\frac{1,4-4,8}{2,6}$	—	$\frac{1,6-6,6}{3,5}$	$\frac{0,3-4,5}{1,4}$	-30	Ниже -50 15
	30	„	$\frac{13,1-17,3}{14,6}$	$\frac{8,8-10,5}{9,6}$	$\frac{6,9-9,4}{9,0}$	$\frac{6,5-9,0}{9,0}$	—	—	Ниже -60	Ниже -60 13

16 Примечания:

17 1. Химический состав сталей, %

2 Марка стали	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
18 МСт. Зсп	0,19	0,58	22	0,018	0,034	19 0,07	19 Нет	0,07
20 МСт. Зкп	0,15	0,33	21 Следы	0,010	0,021	Нет	„	0,07
10 КСт. Зсп	0,17	0,51	0,24	0,026	0,041	0,05	0,02	0,05
14 КСт. Зкп	0,15	0,53	21 Следы	0,027	0,026	0,05	0,02	0,05

22 2. Сталь КСт. Зсп и КСт. Зкп выплавлены в конверторе с верхним продувом кислородом.

23 3. Листы исследованы после термической обработки, которая заключалась в закалке с 890° С в воде с последующим отпуском при 550° С в течение 2 ч на образцах типа I по ГОСТ 9454-60.

24 4. В числителе приведены пределы, а в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

Key to page 28

- 1) continued
- 2) steel type
- 3) sheet thickness, mm
- 4) direction of specimen notching
- 5) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 6) t_{kr} , $^{\circ}\text{C}$
- 7) $a_{n\min}$
- 8) $a_{n\text{redn}}$
- 9) $< 2 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 10) KSt. 3sp
- 11) lengthwise
- 12) crosswise
- 13) below -60
- 14) KSt. 3kp
- 15) below -50
- 16) Notes.
- 17) 1. Chemical composition of steels, %
- 18) MSt. 3sp
- 19) none
- 20) MSt. 3kp
- 21) traces
- 22) 2. Steels KSt. 3sp and KSt. 3kp are smelted in a converter with overhead oxygen blow.
- 23) Sheets studied after heat treating, which consisted of quenching from 890°C in water with subsequent tempering at 550°C for 2 hours on type I (according to GOST 9454-60) specimens.
- 24) The limits are given in the numerator, and the average impact strength values in the denominator.

1 Влияние направления вырезки образцов
на ударную вязкость [29]

2 Марка стали	3 Направление вырезки образцов	4 a_H , кг·м/см ² , при температуре, °C					
		+20	0	-10	-20	-40	-60
5 МСт. 3	6 Вдоль	—	—	17,5	16,0	9,0	3,5
7 МСт. 3кп	6 Вдоль	14,8	13,8	—	3,3	0,7	0,5
	8 Поперек	9,5	7,1	—	5,6	0,8	0,6
9 БСт. 3	6 Вдоль	12,9	10,4	5,8	0,9	0,6	0,6
	8 Поперек	7,3	6,0	4,5	1,5	0,5	0,6

10 Примечания:

11 1. Химический состав сталей, %

2 Марка стали	C	Si	Mn	P	S	Cr	O ₂	N ₂
7 МСт. 3кп	0,15	0,25	0,53	0,014	0,053	Нет	Нет	Нет
9 БСт. 3	0,12	0,25	0,41	0,052	0,039	0,03	0,0207	0,0202

14 2. Для исследований применяли горячекатаный лист толщиной 12 мм.

15 Влияние старения на ударную вязкость [29]

2 Марка стали	3 Направление вырезки образцов	4 a_H , кг·м/см ² , при температуре, °C					
		+20	0	-10	-20	-40	-60
7 МСт. 3кп	6 Вдоль	7,0	2,8	—	0,8	0,6	—
	8 Поперек	3,9	1,6	—	0,6	0,6	—
9 БСт. 3	6 Вдоль	6,3	1,6	—	0,6	0,5	0,27
	8 Поперек	2,2	0,9	—	0,6	0,6	0,25

16 Примечания. 1. Режим старения: 10%-ная деформация растяжением и выдержка при 100° С.

2. Химический состав и толщину листа см. в предыдущей таблице.

Key to page 30

- 1) influence of direction of specimen notching on impact strength [29]
- 2) steel type
- 3) direction of specimen notching
- 4) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 5) MSt. 3
- 6) lengthwise
- 7) MSt. 3kp
- 8) crosswise
- 9) BSt. 3
- 10) Notes.
- 11) 1. Chemical composition of steels, %
- 12) traces
- 13) none
- 14) 2. A hot-rolled sheet 12 mm thick was used for the studies.
- 15) influence of aging on impact strength [29]
- 16) Notes. 1. Aging procedure: 10% deformation by elongation and holding at 100°C. 2. The chemical compositions and sheet thicknesses are listed in the previous table.

1 Влияние закалки и последующего термического старения на ударную вязкость сталей Ст. 3кп и Ст. 3кпАз [47]

1 Марка стали 2	3 Состояние материала	4 a_k , кг·м/см ² , при температуре, °С				5 $T_{кр}$, °С, при $a_k < 3$ кг·м/см ²
		+20	0	-20	-40	
8 Ст. 3кп	6 Горячекатаный	$\frac{6,7-17,4}{10,1}$	$\frac{4,6-13,5}{7,5}$	$\frac{0,5-9,9}{5,0}$	$\frac{0,4-5,5}{1,2}$	$\frac{0+ -20}{-16}$
	7 Закаленный с 680—700° С в воде	$\frac{7,0-16,4}{11,2}$	$\frac{3,7-12,5}{7,0}$	$\frac{0,9-10,1}{4,7}$	$\frac{0,5-3,3}{0,9}$	$\frac{0+ -20}{-5}$
	9 Закаленный с 680—700° С в воде и состаренный в течение 4 ч при 60—70° С	$\frac{1,6-12,5}{9,1}$	$\frac{1,1-10,7}{4,9}$	$\frac{0,6-3,1}{1,3}$	$\frac{0,5-1,0}{0,7}$	$\frac{0+ -40}{+10}$
10 Ст. 3кпАз	5 Горячекатаный	$\frac{6,4-13,1}{9,6}$	$\frac{7,0-10,9}{9,0}$	$\frac{5,0-8,4}{6,4}$	$\frac{0,6-6,9}{3,7}$	$\frac{-20+ -40}{-35}$
	6 Закаленный с 680—700° С в воде	$\frac{7,4-17,6}{11,1}$	$\frac{6,4-12,4}{8,7}$	$\frac{0,7-11,3}{6,3}$	$\frac{0,4-6,1}{1,8}$	$\frac{0+ -20}{-10}$
	9 Закаленный с 680—700° С в воде и состаренный в течение 4 ч при 60—70° С	$\frac{3,9-11,4}{7,5}$	$\frac{0,6-6,9}{3,4}$	$\frac{0,5-2,1}{1,1}$	$\frac{0,5-6,7}{1,1}$	$\frac{+20+ +10}{+15}$

11 Примечания: 1. Для исследований применяли лист толщиной 12 мм.
2. В числителе даны пределы, а в знаменателе средние значения.

Key to page 32

- 1) influence of quenching and subsequent thermal aging on impact strength of steels St. 3kp and St. 3kpAs [47]
- 2) steel type
- 3) material state
- 4) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 5) t_{kr} , °C, at $a_n < 3$ kg·m/cm²
- 6) hot-rolled
- 7) quenched from 680-700°C in water
- 8) St. 3kp
- 9) quenched from 680-700°C in water and artificially aged for 4 hours at 60-70°C
- 10) St. 3kpAs
- 11) Notes. 1. A sheet 12 mm thick was used for the studies. 2. The limits are given in the numerator, and the average values in the denominator.

1 Влияние термического упрочнения на ударную вязкость стали Ст. 3кп [55]

2 Изделие	3 Вид обработки	4 a_n , кг·м/см ² , при температуре, °C			
		+20	-20	-40	-60
5 Уголок 80×80× ×10 мм	6 Прокатка в горячем состоянии	$\frac{11,8-16,3}{14,7}$	$\frac{0,8-2,4}{1,8}$	$\frac{0,2-0,8}{0,6}$	$\frac{0,1-0,5}{0,3}$
	7 Закалка с 870° С, выдержка 25 мин, охлаждение в воде	$\frac{12,1-16,2}{14,4}$	$\frac{10,2-14,2}{13,7}$	$\frac{10,1-12,4}{11,7}$	5,5
9 Прутки диаметром 33 мм	8 Прокатка в горячем состоянии (до упрочнения)	$\frac{12,3-15,8}{14,1}$	—	0,4	—
	10 Закалка с 870° С, выдержка 50 мин, охлаждение в воде	$\frac{11,0-14,3}{12,4}$	—	11,1	—

11 Влияние термической обработки и деформационного старения на ударную вязкость стали Ст. 3кп [57]

12 Состояние стали	4 a_n , кг·м/см ² , при температуре, °C					
	13 до старения				14 после деформационного старения	
	+20	-20	-40	-60	+20	-20
15 Горячекатаный	8,8—12,5	0,25—1,2	0,25	—	0,2—0,5	0,7
16 Закаленный с 930° С в холодной воде	$\frac{15,7-17,5}{17,5}$	9,5—11,2	$\frac{10,0-11,4}{11,4}$	6,7—8,5	$\frac{12,5-13,2}{13,2}$	6,7—7,0
17 Закаленный с 930° С в холодной воде и отпущенный при 600° С в течение 8 ч	$\frac{15,2-17,5}{17,5}$	6,2—11,4	$\frac{10,6-11,2}{11,2}$	4,5—5,7	$\frac{11,2-12,0}{12,0}$	0,7—7,0

- 18 Примечания: 1. Химический состав стали Ст. 3кп, %: 0,19 С; 0,54 Мп; следы Si; 0,017 Р; 0,033 S.
2. Для исследований применяли лист толщиной 40 мм.
3. Приведены минимальные и максимальные значения a_n , определенные на поперечных образцах.

Key to page 34

- 1) influence of thermal hardening on impact strength of steel St. 3kp [55]
- 2) article
- 3) type of treatment
- 4) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 5) 80 × 80 × 10 mm angle
- 6) hot rolling
- 7) quenching from 870°C, holding for 25 minutes and cooling in water
- 8) hot rolling (before hardening)
- 9) rod 33 mm in diameter
- 10) quenching from 870°C, holding for 50 minutes and cooling in water
- 11) influence exerted by heat treatment and strain aging on impact strength of steel St. 3kp [57]
- 12) state of steel
- 13) before aging
- 14) after strain aging
- 15) hot-rolled
- 16) quenched from 930°C in cold water
- 17) quenched from 930°C in cold water and tempered at 600°C for 8 hours
- 18) Notes. 1. Chemical composition of steel St. 3kp, %; 0.19 C, 0.54 Mn, traces of Si, 0.017 P, 0.033 S. 2. A sheet thickness of 40 mm was used for the studies. 3. Maximum and minimum values of a_n as determined on transverse specimens are presented.

1 Влияние отпуска и механического старения термически упрочненной стали Ст. 3кп на ударную вязкость [56]

2 Режим термической обработки	3 σ_H , кг·м/см ² , при температуре, °C										4 $T_{кр}$, °C ($\sigma_H < 3 \text{ кг·м/см}^2$)
	+20	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100	

5 До наклепа

6 Закалка с 900°С в воде без отпуска	14,0	—	9,0	—	6,3	8,6	7,4	5,5	4,5	3,4	—107
7 То же, с последующим отпуском в течение 2 ч при различных температурах, °C:											
200	15,2	—	12,4	—	7,7	7,2	7,0	6,5	0,75	1,0	—
300	14,8	—	12,7	—	9,0	8,1	7,1	6,3	5,1	0,6	—90
400	16,3	—	13,3	—	9,2	8,7	7,7	5,7	4,2	4,6	—108
500	15,1	—	10,5	—	8,2	7,4	7,2	6,3	4,3	5,0	—120
600	17,3	—	12,2	—	7,6	7,4	6,9	1,7	1,2	0,5	—74
670	15,0	—	9,8	—	7,6	1,2	0,6	0,3	0,2	0,2	—57

8 После 10%-ного наклепа

6 Закалка с 900°С в воде без отпуска	8,3	6,3	5,3	5,5	4,8	4,6	3,6	—	—	—	—77
7 То же, с последующим отпуском в течение 2 ч при различных температурах, °C:											
200	10,1	6,3	5,3	5,1	4,7	4,1	3,2	—	—	—	—
300	9,0	6,2	5,8	5,0	3,7	3,3	1,0	—	—	—	—65
400	8,9	5,9	5,2	4,8	4,1	3,7	3,5	—	—	—	—
500	10,1	6,7	5,7	6,2	5,4	4,7	4,2	—	—	—	—90
600	10,1	7,1	5,8	5,7	5,0	4,6	2,0	—	—	—	—63
670	11,5	7,0	5,5	2,0	1,1	0,8	0,5	—	—	—	—35

Key to page 36

- 1) Influence of tempering and strain aging of heat-hardened steel St. 3kp on impact strength [56]
- 2) heat treatment
- 3) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 4) t_{kr} , °C ($a_n < 3$ kg·m/cm²)
- 5) before work hardening
- 6) quenching from 900°C in water without tempering
- 7) same, with subsequent tempering for 2 hours at various temperatures, °C
- 8) after 10% work hardening

1 Продолжение

2 Режим термической обработки	3 σ_n , кг·м/см ² , при температуре, °C										$\frac{1}{2} T_{кр}$, °C ($\sigma_n < 3 \text{ кг·м/см}^2$)
	+20	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100	

5 После 30%-ного наклепа

6 Закалка с 900°С в воде без отпуска	4,0	4,0	3,6	3,8	2,6	1,8	1,9	—	—	—	—51
7 То же, с отпуском в течение 2 ч при различных температурах, °C:											
200	5,6	4,0	3,7	3,5	3,2	2,7	1,7	—	—	—	—
300	5,1	4,0	3,6	3,5	3,2	2,7	1,8	—	—	—	—52
400	6,5	4,7	4,0	4,3	3,7	3,2	3,1	—	—	—	—
500	4,6	4,0	3,2	3,5	3,2	2,2	1,7	—	—	—	—49
600	5,8	4,6	4,5	3,6	2,5	2,3	2,1	—	—	—	—43
670	5,5	3,7	2,3	2,0	0,8	0,5	0,2	—	—	—	—25

8 После 40%-ного наклепа

6 Закалка с 900°С в воде без отпуска	5,4	4,0	3,6	3,5	3,3	2,3	1,9	—	—	—	—49
7 То же, с отпуском в течение 2 ч при различных температурах, °C:											
200	4,7	3,5	3,3	3,5	2,5	2,1	1,3	—	—	—	—
300	5,8	4,2	3,4	4,0	3,2	2,8	1,4	—	—	—	—51
400	5,0	4,0	3,5	3,7	2,9	1,8	1,7	—	—	—	—
500	5,0	4,1	3,8	3,5	2,5	1,6	1,5	—	—	—	—46
600	5,2	4,6	4,1	3,6	2,3	2,3	2,5	—	—	—	—41
670	6,3	3,5	2,5	2,0	1,1	0,25	0,2	—	—	—	—24

9 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,18 С; 0,38 Мп; 0,07 Si; 0,022 S; 0,018 Р; 0,043 Al.
2. Для исследований применяли лист толщиной 18 мм (образцы поперечные).

Key to page 38

- 1) continued
- 2) heat treatment
- 3) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 4) t_{kr} , °C ($a_n < 3$ kg·m/cm²)
- 5) after 30% work hardening
- 6) quenching from 900°C in water without tempering
- 7) same, with tempering for 2 hours at various temperatures, °C
- 8) after 40% work hardening
- 9) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.18 C, 0.38 Mn, 0.07 Si, 0.022 S, 0.018 P, 0.043 Al. 2. An 18-mm sheet thickness (transverse specimens) was used for the studies.

1 Ударная вязкость Ст. 3, подвергнутой старению [43]

2 Марка стали	3 Толщина листа, мм	4 Вид обработки до старения	5 a_u , кг·м/см ² , при температуре, °C			6 $T_{кр}$, °C	
			+20	-20	-40	7 $a_{мин} < 2$ кг·м/см ²	8 $a_{ср.д} < 2$ кг·м/см ²
9 МСт. 3сп	12	10 Прокатка в горячем состоянии	$\frac{5,5-7,0}{6,0}$	$\frac{1,6-2,1}{1,8}$	—	-10	-10
	12	11 Закалка с 890°С в воде, с последующим отпуском в течение 2 ч при 550°С	$\frac{11,0-13,7}{12,3}$	$\frac{8,0-11,5}{10,2}$	$\frac{5,0-10,5}{7,2}$	12 Ниже -40	12 Ниже -40
3 МСт. 3кп	12	10 Прокатка в горячем состоянии	$\frac{0,8-1,9}{1,1}$	—	—	14 Выше +20	14 Выше +20
	20	10 Прокатка в горячем состоянии	$\frac{0,6-0,6}{0,6}$	—	—	14 Выше +20	14 Выше +20
	20	11 Закалка с 890°С в воде с последующим отпуском в течение 2 ч при 550°С	$\frac{8,1-8,6}{8,3}$	—	—	—	—
15 КСт. 3сп	12	10 Прокатка в горячем состоянии	$\frac{4,9-6,0}{5,5}$	$\frac{1,8-2,2}{2,0}$	—	-10	-10
	12	16 Закалка с 890°С в воде в течение 2 ч при 550°С	$\frac{5,9-7,6}{6,6}$	$\frac{5,9-6,9}{6,4}$	$\frac{0,5-5,6}{2,6}$	-30	12 Ниже -40

Key to page 40

- 1) impact strength of St. 3 subjected to aging [43]
- 2) steel type
- 3) sheet thickness, mm
- 4) type of treatment prior to aging
- 5) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 6) t_{kr} , $^{\circ}\text{C}$
- 7) $a_{n\min}$, $< 2 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 8) a_{nsred} , $< 2 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 9) MSt. 3sp
- 10) hot rolling
- 11) quenching from 890°C in water with subsequent tempering for 2 hours at 550°C
- 12) below -40
- 13) MSt. 3kp
- 14) above $+20$
- 15) KSt. 3sp
- 16) quenching from 890°C in water for 2 hours at 550°C [sic]

1 Продолжение

2	Марка стали	3 Толщина листа, мм	4 Вид обработки до старения	5 σ_u , кг·м/см ² , при температуре, °C			6 $T_{кр}$, °C	
				+20	-20	-40	7 $\sigma_{u мин} < 2$ кг·м/см ²	8 $\sigma_{u сред} < 2$ кг·м/см ²
9	КСт. Зкп	12	10 ⁰ Прокатка в горячем состоянии	$\frac{0,7-1,3}{0,9}$	—	—	+35	+35
		12	11 Закалка с 890°С в воде с последующим отпуском в течение 2 ч при 550°С	$\frac{7,9-11,3}{9,5}$	$\frac{1,6-8,0}{2,8}$	—	—	-25

12 Примечания:

13 1. Химический состав сталей, %

2 Марка стали	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
14 КСт. Зсп	0,19	0,58	22	0,018	0,034	18	18 Нет	0,07
15 КСт. Зкп	0,15	0,33	17 Следы	0,010	0,021		18 Нет	0,07
16 КСт. Зсп	0,17	0,51	0,24	0,026	0,041		18 0,02	0,06
9 КСт. Зкп	0,15	0,53	17 Следы	0,027	0,026		18 0,02	0,05

- 19 2. Применяли образцы типа I по ГОСТ 9454-60.
3. Старение заключалось в растяжении на 10% и нагревании в течение часа при 250°С.
4. Сталь КСт. Зсп и КСт. Зкп выплавлены в конвертере с верхним продувом кислородом.
5. В числителе приведены пределы, а в знаменателе средние значения ударной вязкости.

Key to page 42

- 1) continued
- 2) steel type
- 3) sheet thickness, mm
- 4) type of treatment prior to aging
- 5) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 6) t_{kr} , °C
- 7) a_{nmin} , < 2 kg·m/cm²
- 8) a_{nsred} , < 2 kg·m/cm²
- 9) KSt. 3kp
- 10) hot rolling
- 11) quenching from 890°C in water with subsequent tempering for 2 hours at 550°C
- 12) Notes.
- 13) 1. Chemical composition of steels, %
- 14) MSt. 3sp
- 15) MSt. 3kp
- 16) KSt. 3sp
- 17) traces
- 18) none
- 19) 2. Type I (according to GOST 9454-60) specimens were used.
3. Aging consisted of 10% elongation and heating at 250°C for 1 hour. 4. Steels KSt. 3sp and KSt. 3kp are smelted in a converter with overhead oxygen blow. 5. The limits are given in the numerator, and the average impact strength values in the denominator.

1 Ударная вязкость мышьяковистой стали МСт. 3кп [40]

2 Вид полуфабриката	3 Пластина	4 Направление вырезки образцов	5 a_H , кг·м/см ² , при температуре, °С				
			+20	0	-20	-40	-60
6 Шпеллер № 30 (стойка)	1	7 Продольное	14,0	10,8	8,6	3,7	0,30
		8 Поперечное	8,4	6,7	5,4	3,0	0,32
	2	7 Продольное	12,3	9,4	5,8	0,8	0,3
		8 Поперечное	7,6	4,9	3,6	0,68	0,28

9 Примечание. 10 Химический состав стали, %

3 Плавка	C	Si	Mn	S	P	As
1	0,19—0,16	Следы	0,46—0,40	0,037—0,031	0,040—0,019	0,13—0,13
2	0,20—0,16		0,45—0,40	0,054—0,050	0,017—0,013	—

12 IV. Свойства сварных соединений

13 Механические свойства сварного соединения стали БСт. 3кп (сварка электродом ОММ5) [30]

14 Металл	15 Температура, °С	16 σ_B , кг/мм ²	17 σ_T , кг/мм ²	18 a_H , кг·м/см ²
Основной 19	+20	43,9	32,2	13,6
	-183	79,4	73,7	0,74
Наплавленный 20	+20	41,8	—	14,0
	-183	45,4	—	0,47

21 Примечание. Химический состав стали, %: 0,15 C; 0,088 Si; 0,51 Mn; 0,061 P; 0,018 S.

22 Ударная вязкость сварного соединения стали МСт. 3 и БСт. 3 (сварка электродом УОНИ-13/55) [29]

24 Температура испытания, °С	23 Ударная вязкость a_H , кг·м/см ²		
	25 МСт. 3	26 БСт. 3 (лист толщиной 12 мм)	
	27 надрез по оси шва	27 надрез по оси шва	28 надрез по основному металлу поперек шва
0	18	$\frac{2,7-13,8}{10}$	$\frac{2,9-4,2}{3,4}$
-10	16	$\frac{7,5-15,7}{11,4}$	$\frac{1,8-4,8}{3,8}$

Key to page 44

- 1) impact strength of arsenic steel MSt. 3kp [40]
- 2) type of semifinished product
- 3) melt
- 4) direction of specimen notching
- 5) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 6) No. 30 channel (column)
- 7) lengthwise
- 8) crosswise
- 9) Note.
- 10) chemical composition of steel, %
- 11) traces
- 12) IV. Properties of welded joints
- 13) mechanical properties of joint welded in steel BSt. 3kp
(welding with OMM5 electrode) [30]
- 14) metal
- 15) temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 16) σ_v , kg/mm^2
- 17) σ_t , kg/mm^2
- 18) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 19) base
- 20) weld-on
- 21) Note. Chemical composition of steel, %: 0.15 C, 0.088 Si,
0.51 Mn, 0.061 P, 0.018 S.
- 22) impact strength of joint welded in steel MSt. 3 and BSt. 3
(welding with UONI-13/55 electrode) [29]
- 23) impact strength, a_p , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 24) test temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 25) MSt. 3
- 26) BSt. 3 (12-mm sheet thickness)
- 27) notch along weld axis
- 28) notch in base metal across weld

1 Продолжение

2 Температура испытания, °С	3 Ударная вязкость a_K , кг·м/см ²		
	4 МСт. 3	5 БСт. 3 (лист толщиной 12 мм)	
	6 надрез по оси шва	6 надрез по оси шва	7 надрез по основному металлу поперек шва
-20	14,5	$\frac{0,8-14,9}{7,7}$	$\frac{1,0-3,0}{1,6}$
-30	13,0	$\frac{0,8-11,3}{8,7}$	—
-40	8,0	$\frac{1,8-15,7}{9,1}$	$\frac{0,6-1,0}{0,7}$
-50	6,5	$\frac{0,8-12,5}{4,1}$	—
-60	5,5	$\frac{0,6-9,7}{2,8}$	$\frac{0,5-0,7}{0,6}$

8 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,12 С; 0,25 Si; 0,41 Mn; 0,03 Cr; 0,052 P; 0,039 S; 0,0207 O; 0,0202 N.
2. В числителе даны пределы, а в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

9 Ударная вязкость сварного шва стали МСт. 3,
полученного ручной электросваркой порошковой проволокой ПП-АНЗ [25]

11 Толщина листа, мм	10 a_K , кг·м/см ² , при температуре, °С				
	+20	-20	-40	-60	+20 (после искусственного старения) 12
16	$\frac{13,9-18,6}{17,8}$	$\frac{16,0-18,7}{17,0}$	$\frac{7,6-13,6}{11,0}$	$\frac{0,6-8,0}{6,8}$	$\frac{12,9-18,6}{13,5}$
18	$\frac{16,4-19,6}{18,2}$	—	$\frac{10,8-15,3}{13,1}$	$\frac{8,9-11,4}{9,5}$	$\frac{10,2-15,3}{12,7}$

13 Примечания:

14

1. Химический состав сталей, %

10 Толщина листа, мм	C	Mn	Si	S	P
16	0,17	0,44	0,22	0,019	0,021
18	0,16	0,45	0,17	0,035	0,020

15 2. Режим старения заключался в 10%-ной деформации растяжением с последующим отпуском при 250° С в течение 3 ч.
3. Образцы нарезаны по центру шва.

Key to page 46

- 1) continued
- 2) test temperature, °C
- 3) impact strength, a_n , kg·m/cm²
- 4) MSt. 3
- 5) BSt. 3 (sheet 12 mm thick)
- 6) notch along weld axis
- 7) notch in base metal across weld
- 8) Note. 1. Chemical composition of steel, %: 0.12 C, 0.25 Si, 0.41 Mn, 0.03 Cr, 0.052 P, 0.039 S, 0.0207 O₂, 0.0202 N₂. 2. The limits are given in the numerator and the average impact strength values in the denominator.
- 9) impact strength of steel MSt. 3 weld obtained by manual electric welding with PP-ANZ powdered wire [25]
- 10) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 11) sheet thickness, mm
- 12) (after artificial aging)
- 13) Notes.
- 14) 1. Chemical composition of steels, %
- 15) 2. The aging procedure consisted of 10% deformation by elongation with subsequent tempering at 250°C for 2 hours. The specimens are notched along the center of the weld.

1 Механические свойства сварного шва,
полученного полуавтоматической сваркой
проволокой ЭП317 (20ГСИУТСе) [31]

2 Марка стали	3 σ_B , кг/мм ²	4 σ_T , кг/мм ²	5 δ_5 , %	6 ψ , %
5 Ст. 3	$\frac{52,3-56,5}{55,1}$	$\frac{36,0-40,3}{38,9}$	$\frac{14,6-23,6}{17,8}$	$\frac{24,9-36,0}{30,1}$
6 Ст. 3пс	$\frac{50,2-61,5}{54,2}$	$\frac{30,0-46,1}{37,8}$	$\frac{14,7-21,9}{17,4}$	$\frac{30,6-41,2}{38,4}$
7 Ст. 3кп	$\frac{51,3-55,8}{53,3}$	$\frac{35,4-40,7}{37,8}$	$\frac{15,2-21,0}{18,9}$	$\frac{30,6-36,0}{33,2}$

8 Продолжение

2 Марка стали	9 α_n , кг·м/см ² , при температуре, °C		
	+20	-20	-40
5 Ст. 3	$\frac{5,2-7,25}{6,5}$	$\frac{2,1-3,5}{2,7}$	$\frac{1,75-3,5}{2,5}$
6 Ст. 3пс	$\frac{4,9-10,6}{6,5}$	$\frac{1,0-3,5}{2,3}$	$\frac{1,7-2,75}{2,1}$
7 Ст. 3кп	$\frac{3,75-6,6}{5,0}$	$\frac{1,75-3,4}{2,5}$	$\frac{1,25-2,25}{1,3}$

10 Примечания:

11 1. Химический состав сталей, %

2 Марка стали	C	Si	Mn	Al	Ti	Ce	S	P
5 Ст. 3	0,17	0,20	0,65	—	—	—	0,036	0,021
6 Ст. 3пс	0,22	0,13	0,54	—	—	—	0,028	0,022
7 Ст. 3кп	0,15	Следы	0,38	—	—	—	0,024	0,021
12 Лист толщиной 12 мм		13						
14 Проволока ЭП317	0,20	0,80	1,12	0,45	0,17	0,105	0,008	0,012

15 2. В числителе даны пределы, а в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

Key to page 48

- 1) mechanical properties of weld obtained by semiautomatic welding with EP317 (20GYuTSe) wire [31]
- 2) steel type
- 3) σ_v , kg/mm²
- 4) σ_t , kg/mm²
- 5) St. 3
- 6) St. 3ps
- 7) ST. 3kp
- 8) continued
- 9) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 10) Notes.
- 11) 1. Chemical composition of steels, %
- 12) 12-mm sheet thickness
- 13) traces
- 14) EP317 wire
- 15) 2. The limits are given in the numerator, and the average impact strength values in the denominator.

1 Ударная вязкость швов стали Ст. 3, полученных автоматической сваркой под флюсом АН-348А проволокой Св-08 [44]

2 Марка стали	3 a_K , кг·м/см ² , при температуре, °С					4 $T_{кр}$, °С, при $a_{мин} < 2$ кг·м/см ²	
	+20	0	-20	-40	-60	5 металл шва	6 основной металл
7 МСт. 3сп	11,8—12,9 12,5	7,3—13,2 9,7	5,0—8,1 6,7	2,8—8,5 4,6	1,0—4,2 2,2	-50	-50
8 МСт. 3кп	13,0—14,8 14,1	10,9—13,8 12,4	4,0—10,5 8,9	1,2—6,4 3,6	0,6—2,2 1,4	-40	-10
9 КСт. 3сп	7,2—9,2 8,0	6,0—7,2 6,5	5,1—8,8 6,6	1,6—5,9 4,0	0,6—1,2 0,8	-40	-30
10 КСт. 3кп	11,0—13,2 12,0	9,2—12,5 11,0	1,5—7,1 5,1	0,9—5,3 3,9	1,0—3,1 1,7	-20	-10

11 Примечания:

1. Химический состав сталей, %

2 Марка стали	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
7 МСт. 3сп	0,19	0,58	0,22	0,018	0,034	0,07	Нет	0,07
8 МСт. 3кп	0,15	0,33	следы	0,010	0,021	—	—	0,07
9 КСт. 3сп	0,17	0,51	0,24	0,026	0,041	0,05	0,02	0,06
10 КСт. 3кп	0,15	0,53	следы	0,027	0,026	0,05	0,02	0,05

15 2. Стали КСт. 3сп и КСт. 3кп выплавлены в конвертере с верхним продувом кислородом.
3. Для исследований применяли лист толщиной 12 мм; надрез в центре шва.
4. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости шва.

16 Ударная вязкость шва, полученного автоматической сваркой под флюсом Л-5 проволокой Св-08 [26]

17 Состояние поверхности свариваемых кромок	3 a_K , кг·м/см ² , при температуре, °С		
	+20	-20	-40
18 Чистые	14,2—15,8 14,6	8,0—18,7 11,4	7,7—11,2 9,0
19 Покрты ржавчиной (1 г на 100 мм шва)	10,9—12,5 11,8	11,1—20,7 13,6	7,7—8,7 8,3

11 Примечания:

1. Химический состав стали, %

20 Металл	C	Si	Mn	Ti	P	S
21 Основной	0,06	0,59	1,17	0,31	0,041	0,021
22 Шва с чистой кро-	0,08	0,48	1,10	0,31	0,043	0,044
23 Шва, покрытый ржав-	0,1	0,24	0,50	—	0,022	0,037
24 Проволоки Св-08	0,1	0,07	0,36	—	0,010	0,033

25 2. Для исследований применяли лист толщиной 14 мм (надрез в центре шва).
3. В числителе даны пределы, а в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

Key to page 50

- 1) impact strength of steel St. 3 welds obtained by automatic welding under AN-348A flux with Sv-08 wire [44]
- 2) steel type
- 3) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 4) t_{kr} , °C, at $a_{nmin} \leq 2$ kg·m/cm²
- 5) weld metal
- 6) base metal
- 7) MSt. 3sp
- 8) MSt. 3kp
- 9) KSt. 3sp
- 10) KSt. 3kp
- 11) Notes.
- 12) 1. Chemical composition of steels, %
- 13) traces
- 14) none
- 15) 2. Steels KSt. 3sp and KSt. 3kp melted in a converter with overhead oxygen blow. 3. A sheet 12 mm thick was used for the studies; notch in center of weld. 4. The limits are given in the numerator, and the average impact strength values of the weld in the denominator.
- 16) impact strength of weld obtained by automatic welding under L-5 flux with Sv-08 wire [26]
- 17) condition of weld toes
- 18) clean
- 19) rust-covered (1 g per 100 mm of weld)
- 20) metal
- 21) base
- 22) weld with clean toe
- 23) rust-covered weld
- 24) Sv-08 wire
- 25) 2. A sheet 14 mm thick (notched in the center of the weld) was used for the studies. 3. The limits are given in the numerator, and the average impact strength values in the denominator.

1 Влияние сварки на морозе на ударную вязкость шва стали Ст. 3кп, полученного автоматической сваркой [32]

2 Температура пласти до сварки, °С	3 Состояние образцов	4 α_H , кг·м/см ² , при температуре испытания, °С					
		+15	0	-20	-30	-50	-65
+15	5 После сварки	$\frac{9,5-11,3}{10,4}$	$\frac{8,6-11,0}{9,9}$	$\frac{7,1-9,9}{8,6}$	$\frac{6,2-8,6}{7,1}$	$\frac{2,2-7,2}{5,6}$	$\frac{1,5-4,3}{2,95}$
	6 После естественного старения в течение трех лет при температуре +20°С	$\frac{6,5-8,9}{7,7}$	$\frac{5,9-6,2}{6,0}$	$\frac{5,3-7,4}{6,6}$	$\frac{4,7-5,3}{5,1}$	$\frac{2,2-4,4}{3,0}$	—
-40	5 После сварки	$\frac{7,7-8,3}{8,0}$	$\frac{6,6-8,7}{7,6}$	$\frac{6,2-6,6}{6,5}$	$\frac{3,2-6,6}{5,2}$	$\frac{1,2-2,2}{1,8}$	$\frac{1,9-2,5}{2,2}$
	6 После естественного старения в течение трех лет при температуре +20°С	$\frac{7,4-8,0}{7,6}$	$\frac{6,6-7,4}{7,0}$	$\frac{6,2-7,4}{6,9}$	$\frac{2,8-5,3}{3,5}$	$\frac{5,3-5,6}{5,4}$	—
+15	5 После сварки	$\frac{12,1-17,7}{15,5}$	$\frac{9,8-11,6}{10,8}$	$\frac{3,8-11,1}{7,6}$ 7 (при -15°С)	$\frac{1,8-2,5}{2,2}$	—	—
	8 После механического старения	$\frac{3,5-6,0}{4,9}$	$\frac{5,0-6,0}{5,4}$	$\frac{1,5-5,6}{3,5}$	$\frac{1,9-2,9}{2,5}$	—	—
-50	5 После сварки	$\frac{9,3-12,6}{11,1}$	$\frac{11,1-12,4}{11,7}$	$\frac{8,6-9,7}{8,9}$ 7 (при -15°С)	$\frac{8,0-8,6}{8,4}$	$\frac{2,2-4,4}{3,3}$ 9 (при -45°С)	—

3 С. И. Гудков 1028

Key to page 52

- 1) influence of welding in the cold on impact strength of steel St. 3kp weld obtained by automatic welding [32]
- 2) plate temperature before welding, °C
- 3) specimen condition
- 4) a_n , kg·m/cm², at test temperature, °C
- 5) after welding
- 6) after natural aging for three years at temperature of +20°C
- 7) (at -50°C)
- 8) after strain aging
- 9) (at -45°C)

1 Продолжение

2 Температура пласти до сварки.	3 Состояние образцов	4 α_H , кг·м/см ² , при температуре испытания, °C					
		+15	0	-20	-30	-50	-65
5 -50	После механи- ческого старения	$\frac{6,5-7,5}{7,2}$	$\frac{4,4-4,8}{4,7}$	$\frac{4,7-6,0}{5,6}$	$\frac{2,2-5,0}{3,8}$	—	—

6 Примечания:

7 1. Химический состав сталей, %

8 Марка стали	C	Si	Mn	P	S
9 Ст. 3кп	0,14	0,01	0,39	0,017	0,037
10 Электродная проволока А1	0,07	0,02	0,35	0,021	0,035

11 2. Односторонний шов под флюсом АН-348 получен в результате сварки листов тол-
щиной 16 мм.
3. В числителе даны пределы, а в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

12 Ударная вязкость швов из стали Ст. 3 (М18) и Ст. 3кп (М18кп),
сваренных в среде углекислого газа [52]

8 Марка стали	13 Марка проволоки	14 α_H , кг·м/см ² , при температуре, °C			15 Ударная вяз- кость шва после меха- нического старения при +20° C, кг·м/см ²
		+20	-20	-40	
16 Ст. 3 (М18)	17 Св-08ГСА	$\frac{10-12}{11}$	$\frac{5-7}{6}$	$\frac{4-6}{5}$	$\frac{5-7}{6,5}$
	18 Св-08Г2СА	$\frac{12-14}{13}$	$\frac{8-10}{9}$	$\frac{5-6}{5,5}$	$\frac{6-7}{6,5}$
19 Ст. 3кп (М18кп)	17 Св-08ГСА	$\frac{11-13}{12}$	$\frac{9-11}{10}$	$\frac{6-8}{7}$	$\frac{4-7}{6}$
	18 Св-08Г2СА	$\frac{11-13}{12}$	$\frac{6-12}{8}$	$\frac{4-8}{6}$	$\frac{4-6}{5}$

20 Примечания: 1. Механическое старение заключалось в растяжении на 10% и
нагревании при 250° C в течение часа.
2. В числителе даны пределы, а в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

Key to page 54

- 1) continued
- 2) plate temperature before welding, °C
- 3) specimen condition
- 4) a_n , kg·m/cm², at test temperature, °C
- 5) after strain aging
- 6) Notes.
- 7) 1. Chemical composition of steels, %
- 8) steel type
- 9) St. 3kp
- 10) Al electrode wire
- 11) 2. One-sided weld obtained by welding sheets 16 mm thick under AN-348 flux. 3. The limits are given in the numerator, and the average impact strength values in the denominator.
- 12) impact strength of steel St. 3 (M18) and St. 3kp (M18kp) welds formed under carbon dioxide shield [52]
- 13) wire type
- 14) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 15) weld impact strength after strain aging at +20°C, kg·m/cm²
- 16) St. 3 (M18)
- 17) Sv-08GSA
- 18) Sv-08G2SA
- 19) St. 3kp (M18kp)
- 20) Notes. 1. Strain aging consisted of 10% elongation and heating at 250°C for an hour. 2. The limits are given in the numerator, and the average impact strength values in the denominator.

1 Ударная вязкость сварных соединений стали Ст. 3кп, полученных сваркой листов толщиной 20 мм в среде углекислого газа [53]

2 Способ сварки	3 Марка проволоки или электрода	4 α_H , кг·м/см ² , при температуре, °С				
		+20	0	-20	-40	-60

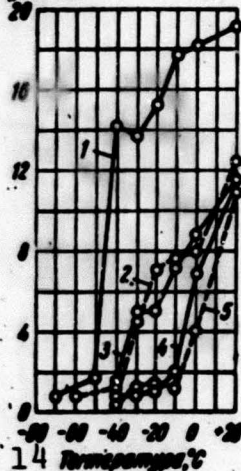
5 Надрез посередине шва

6 Полуавтоматическая	7 Св-10ГС	10,2	7,7	6,8	3,8	2,6
	8 Св-08Г2С	12,0	9,3	7,5	5,5	2,5
9 Ручная	10 ЦМ-7	10,4	8,8	7,2	5,5	1,0
	11 УОНИ-13/45	14,7	10,0	6,9	6,5	1,0

12 Надрез образца по зоне термического влияния

6 Полуавтоматическая	7 Св-10ГС	11,3	8,8	7,5	6,7	2,7
	8 Св-08Г2С	12,0	9,0	8,2	6,5	2,8
9 Ручная	10 ЦМ-7	13,5	8,0	7,3	6,9	1,25
	11 УОНИ-13/45	14,7	13,9	9,5	6,7	1,50

13 α_H , кг/см²



15

Рис. 1. Изменение ударной вязкости стали Ст. 3 в зависимости от способа выплавки и чистоты [27]

16 Марка стали	17 Способ выплавки	18 Номер пробы	19 Содержание элементов, %					
			C	Mn	S	P	N ₂	O ₂
20 МСт. 3	21 Мартеновский	1	0,17	0,38	0,029	0,027	0,005	0,0060
		2	0,20	0,53	0,057	0,045	0,005	0,0070
		3	0,23	0,61	0,041	0,031	0,005	0,0082
22 ВСт. 3	23 Бессемеровский	4	0,08	0,30	0,044	0,058	0,014	0,0245
		5	0,11	0,33	0,082	0,084	0,014	0,0103

14 Температура, °С

Key to page 56

- 1) impact strength of welded steel St. 3kp joints obtained by welding sheets 20 mm thick under carbon dioxide shield [53]
- 2) welding method
- 3) type of wire or electrode
- 4) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 5) notch in middle of weld
- 6) semiautomatic
- 7) Sv-10GS
- 8) Sv-08G2S
- 9) manual
- 10) TsM-7
- 11) UONI-13/45
- 12) specimens notched along weld-metal zone
- 13) a_n , kg·m/cm²
- 14) temperature, °C
- 15) Fig. 1. Change in impact strength of steel St. 3 as function of method of melting and purity [27]
- 16) steel type
- 17) method of melting
- 18) curve number
- 19) element content, %
- 20) MSt. 3
- 21) open-hearth
- 22) BSt. 3
- 23) Bessemer

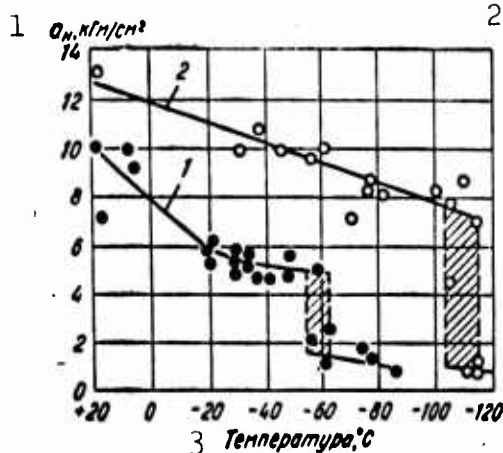


Рис. 2. Ударная вязкость стали МСт. 3кп (0,18% С; 0,42% Мп; Si — следы; 0,034% Si; 0,035% Р) в зависимости от термической обработки и температуры испытания:
1 — состояние поставки (горячекатаная); 2 — закалена с 900° С и отпущена при 600° С. Из прутка диаметром 12 мм вырезаны круглые надрезанные образцы: $D = 10$ мм; $d_H = 6$ мм; $r_H = 1$ мм; $l = 54$ мм [46]

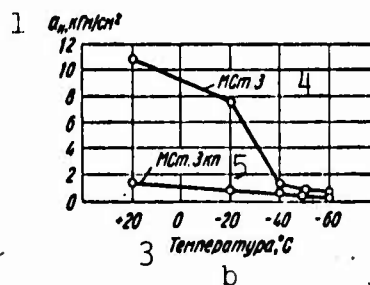
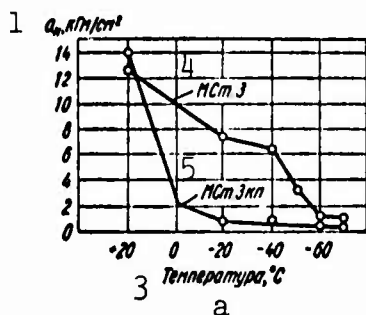


Рис. 3. Изменение ударной вязкости листов толщиной 12 мм из спокойной МСт. 3 и кипящей МСт. 3кп сталей:
а — в отожженном состоянии; б — после механического старения [45]. Механическое старение заключалось в растяжении на 10% и старении при 250° С.

7 Химический состав стали, %:

8	Сталь	С	Si	Мп	S	Р
4	МСт. 3	0,15	0,18	0,40	0,040	0,022
5	МСт. 3кп	0,16	Следы	0,42	0,040	0,024

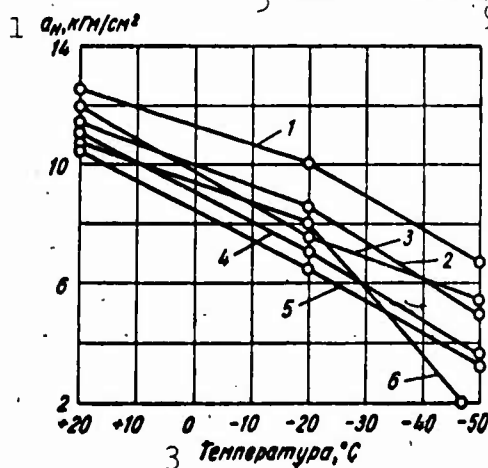
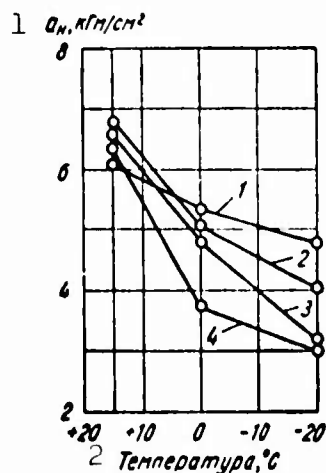


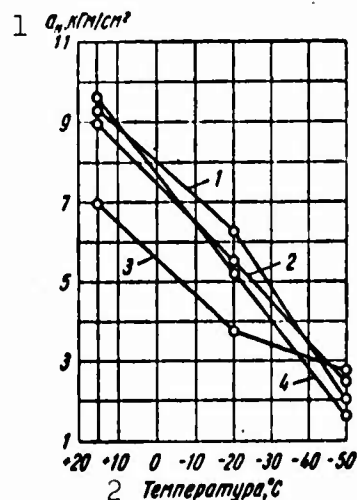
Рис. 4. Влияние тока и технологии автоматической сварки на ударную вязкость швов стали МСт. 3 (несостаренных), выполненных при температуре -35° С:
1 — двусторонняя сварка постоянным током проволокой Св-08 под флюсом АН-348А; 2 — ток переменный, проволока Св-08, флюс КВС-19; 3 — ток постоянный, проволока Св-10Г2, флюс АН-348; 4 — ток постоянный, проволока Св-08, флюс АН-348; 5 — ток переменный, проволока Св-10Г2, флюс АН-348; 6 — ток переменный, проволока Св-08, флюс АН-348 [46]

Key to page 58

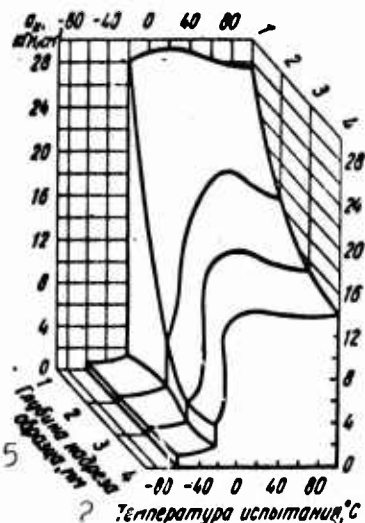
- 1) a_n , kg·m/cm²
- 2) Fig. 2. Impact strength of steel MSt. 3kp (0.18% C, 0.42% Mn, traces of Si, 0.034% Si [sic], 0.035% P) as function of heat treatment and test temperature. 1) as-delivered state (hot-rolled); 2) quenched from 900°C and tempered at 600°C. Circular notched specimens cut from rods 12 mm in diameter: $D = 10$ mm, $d_n = 6$ mm, $r_n = 1$ mm, $l = 54$ mm [46]
- 3) temperature, °C
- 4) MSt. 3
- 5) MSt. 3kp
- 6) Fig. 3. Change in impact strength of killed steel MSt. 3 and rimmed steel MSt. 3kp sheets 12 mm thick. a) in annealed state; b) after strain aging [45]. Strain aging consisted of 10% elongation and aging at 250°C.
- 7) chemical composition of steel, %
- 8) steel
- 9) traces
- 10) Fig. 4. Influence of current and automatic welding technique on impact strength of steel MSt. 3 welds (unaged) made at temperature of -35°C. 1) Duplex direct-current welding under AN-348A flux with Sv-08 wire; 2) alternating current, Sv-08 wire; KVS-19 flux; 3) direct current, Sv-10G2 wire, AN-348 flux; 4) direct current, Sv-08 wire, AN-348 flux; 5) alternating current, Sv-10G2 wire, AN-348 flux; 6) alternating current, Sv-08 wire, AN-348 flux [48].



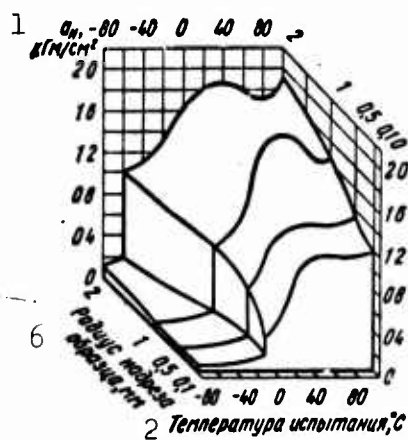
3 Рис. 5. Ударная вязкость металла автоматных швов стали МСт. 3, выполненных в один слой на подкладке постоянным током под флюсом АН-348 при температуре металла +15 и -35° С (образцы состаренные). Температура металла, °С:
1 — -35 (Св-10Г2); 2 — +15 (Св-08); 3 — -35 (Св-08); 4 — -20 (Св-08) [48]



4 Рис. 6. Ударная вязкость металла автоматных швов стали МСт. 3, выполненных с двух сторон на постоянном токе проволокой Св-08 под флюсом АН-348 (образцы состаренные). Температура металла во время сварки, °С:
1 — -20 (на стенде); 2 — -20 (на улице); 3 — -35; 4 — +10 [48]



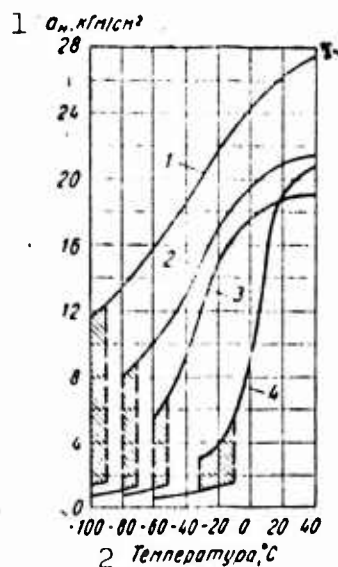
7 Рис. 7. Ударная вязкость широкополосной (20 × 440 мм) спокойной стали МСт. 3 (0,17% С; 0,57% Мп; 0,19% Si; 0,1% Cr; 0,07% Cu; 0,032 P; 0,046 S) в зависимости от температуры испытания и глубины надреза образца (радиус надреза 0,1 мм) [12]



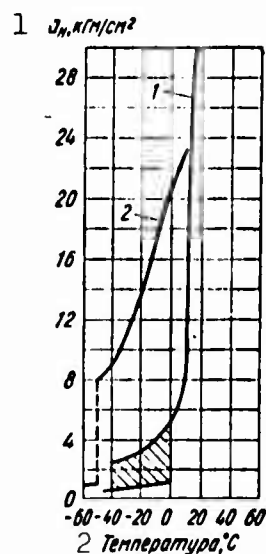
8 Рис. 8. Ударная вязкость широкополосной (12 × 470 мм) кипящей стали МСт. 3кп (0,21% С; 0,79% Мп; Si — следы; 0,045% S; 0,05% Cr; 0,11% Cu; 0,026% P) в зависимости от температуры испытания и радиуса надреза [12]

Key to page 60

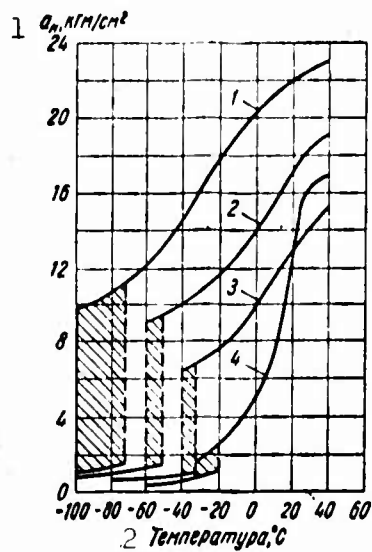
- 1) a_n , kg·m/cm²
- 2) temperature, °C
- 3) Fig. 5. Impact strength of metal in steel MSt. 3 automatic welds made in one layer on backing with direct current under AN-348 flux at metal temperatures of +15 and -35°C (artificially-aged specimens). Metal temperature, °C: 1) -35 (Sv-10G2); 2) +15 (Sv-08); 3) -35 (Sv-08); 4) -20 (Sv-08)[48].
- 4) Fig. 6. Impact strength of metal in steel MSt. 3 automatic welds made on two sides with direct current under AN-348 flux with Sv-08 wire (artificially-aged specimens). Metal temperature at time of welding, °C: 1) -20 (on stand); 2) -20 (on ground); 3) -35; 4) +10 [48].
- 5) depth of specimen notch, mm
- 6) radius of specimen, mm
- 7) Fig. 7. Impact strength of wide-strip (20 × 40 mm) killed steel MSt. 3 (0.17% C, 0.57%Mn; 0.19%Si, 0.1%Cr, 0.07%Cu, 0.032%P, 0.045%S) as function of test temperature and depth of specimen notch (notch radius of 0.1 mm) [12].
- 8) Fig. 8. Impact strength of wide-strip (12 × 470 mm) rimmed steel MSt. 3kp (0.21 C, 0.79% Mn, traces of Si, 0.045% S, 0.05% Cr, 0.11% Cu, 0.026% P) as function of test temperature and notch radius [12].



3 Рис. 9. Ударная вязкость широкополосной (20 X 440 мм) спокойной стали МСт. 3 (0,17% С; 0,57% Мп; 0,19% Si; 0,1% Cr; 0,07% Cu; 0,032% P; 0,045% S) в зависимости от температуры испытания и радиуса надреза образца. Радиус надреза: 1 — 2 мм; 2 — 1 мм; 3 — 0,5 мм; 4 — 0,1 мм [12]



4 Рис. 10. Ударная вязкость стали МСт. 3kp (0,20% С; 0,40% Мп; Si — следы; 0,03% Cr; 0,13% Cu; 0,028% P; 0,054% S) в зависимости от температуры испытания и радиуса надреза. Радиус надреза: 1 — 0,1 мм; 2 — 1 мм [12]



5 Рис. 11. Ударная вязкость широкополосной (12 X 470 мм) спокойной стали БСт. 3 (0,16% С; 0,7% Мп; 0,16% Si; 0,05% Cr; 0,13% Cu; 0,051% P; 0,040% S) в зависимости от температуры испытания и радиуса надреза. Радиус надреза: 1 — 2 мм; 2 — 1 мм; 3 — 0,5 мм; 4 — 0,1 мм [12]

Key to page 62

- 1) a_n , kg·m/cm²
- 2) temperature, °C
- 3) Fig. 9. Impact strength of wide-strip (20 × 440 mm) killed steel MSt. 3 (0.17% C, 0.57% Mn; 0.19% Si, 0.1% Cr, 0.07% Cu, 0.032% P, 0.045% S) as function of test temperature and radius of specimen notch. Notch radius: 1) 2 mm; 2) 1 mm; 3) 0.5 mm; 4) 0.1 mm [12].
- 4) Fig. 10. Impact strength of steel MSt. 3kp (0.20% C, 0.40% Mn, traces of Si, 0.03% Cr, 0.13% Cu, 0.028% P, 0.054% S) as function of test temperature and notch radius. Notch radius: 1) 0.1 mm; 2) 1 mm [12].
- 5) Fig. 11 Impact strength of wide-strip (12 × 470 mm) killed steel BSt. 3 (0.16% C, 0.7% Mn; 0.16% Si, 0.05% Cr, 0.13% Cu, 0.051% P, 0.040% S) as function of test temperature and notch radius. Notch radius: 1) 2 mm; 2) 1 mm; 3) 0.5 mm; 4) 0.1 mm [12].

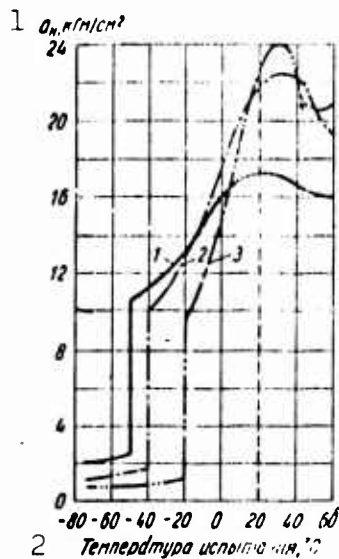


Рис. 12. Изменение ударной вязкости стали МСт. 3кп (0,17% С; 0,51% Мп; 0,039% Р; 0,022% S; 0,03% Cr; 0,07% Si; 0,18% As; Si — следы) в зависимости от температуры испытания при ширине образцов: 1 — 4 мм; 2 — 8 мм; 3 — 16 мм. Глубина надреза 2 мм, радиус надреза 1 мм [39]

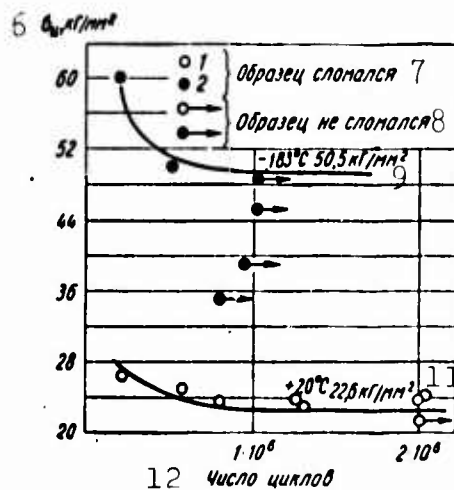


Рис. 14. Кривые усталости Ст. 3кп (0,15% С; 0,51% Мп; 0,088% Si; 0,018% S; 0,061% Р) в исходном состоянии при температурах +20 и -183°С. Образцы гладкие цилиндрические диаметром 10 мм: 1 — +20°С; 2 — -183 [33]

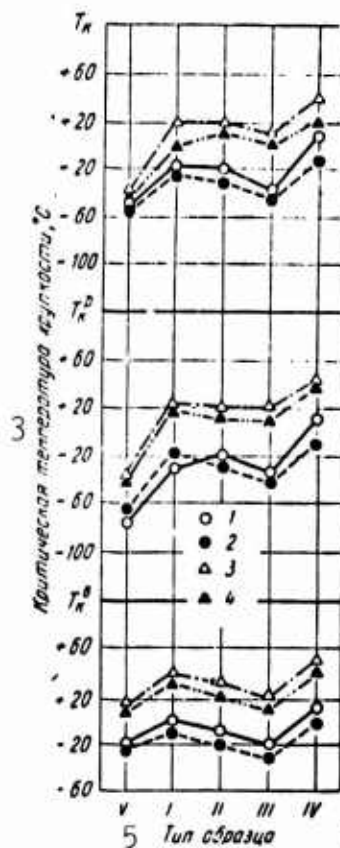


Рис. 13. Критические температуры хрупкости стали Ст. 3 в зависимости от типа образца по ГОСТ 9454-60: 1 — продольные в состоянии поставки; 2 — поперечные в состоянии поставки; 3 — продольные после старения; 4 — поперечные после старения (I, II, III, IV — тип образца по ГОСТ 9454-60: T_k — критическая температура, определенная по a_k ; T_k^D — критическая температура, определенная по пластической деформации надрезанного образца; T_k^B — критическая температура, определенная по проценту вязкой составляющей в изломе образца. Критические температуры определены по 50% от значения характеристик при +20°С [42]

Key to page 64

- 1) a_n , kg·m/cm²
- 2) test temperature, °C
- 3) critical brittleness temperature, °C
- 4) Fig. 12. Change in impact strength of steel MSt. 3kp (0.17% C, 0.51% Mn, 0.039% P, 0.022% S, 0.03% Cr, 0.07% Cu, 0.18% As, traces of Si) as function of test temperature with specimen widths of: 1) 4 mm; 2) 8 mm; 3) 16 mm. Notch depth of 2 mm, notch radius of 1 mm [39].
- 5) specimen type
- 6) σ_1 , kg/mm²
- 7) specimen failed
- 8) specimen did not fail
- 9) 50.5 kg/mm²
- 10) Fig. 13. Critical brittleness temperature of steel St. 3 as function of specimen type according to GOST 9454-60: 1) Longitudinal in as-delivered state; 2) transverse in as-delivered state; 3) longitudinal after aging; 4) transverse after aging (type I, II, III, IV specimens according to GOST 9454-60. T_k is the critical temperature determined from a_n ; T_k^D is the critical temperature determined from plastic deformation of notched specimen; T_k^V is the critical temperature determined from the percentage of viscous component in specimen fracture surface. Critical temperatures determined as 50% of the values of the characteristics at +20°C) [42].
- 11) 22.6 kg/mm²
- 12) number of cycles
- 13) Fig. 14. Fatigue curves of steel St. 3kp (0.15% C, 0.51% Mn, 0.088% Si, 0.018% S, 0.061% P) in initial state at temperatures of +20 and -183°C. Smooth cylindrical specimens 10 mm in diameter: 1) +20°C; 2) -183°C [33].

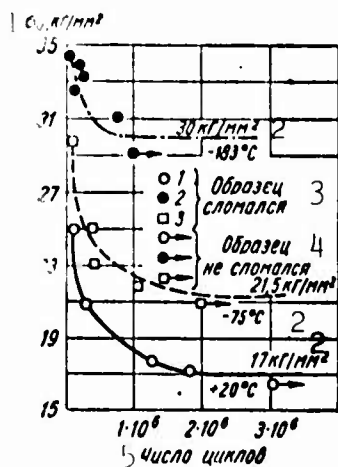


Рис. 15. Кривые усталости Ст. 3кп в исходном состоянии при температурах +20, -75, -183° С. Образцы круглые с надрезом, диаметр в надрезе 9 мм, угол надреза 20°. Состав стали см. на рис. 14:
1 — +20° С; 2 — -183; 3 — -75 [33]

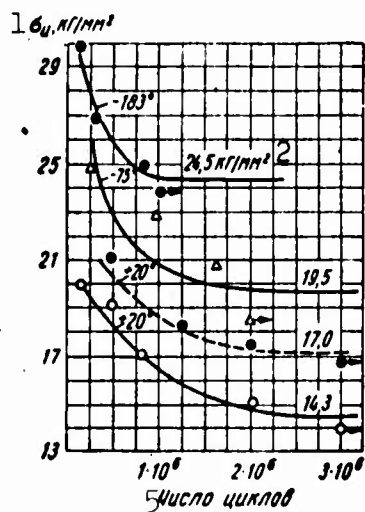


Рис. 16. Кривые усталости стали Ст. 3кп с крупным зерном, на гладких образцах диаметром 10 мм (сплошные кривые) и с выточкой (пунктирная кривая) [33]. Термическая обработка: отжиг при 1250° С в течение 3 ч, охлаждение с печью 50 ч. Состав стали см. на рис. 14

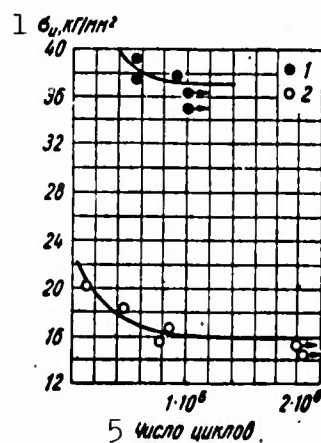


Рис. 17. Кривые усталости металла шва Ст. 3 при температурах +20 и -183° С:
1 — -183° С; 2 — +20° С [34]

Key to page 66

- 1) σ_1 , kg/mm²
- 2) kg/mm²
- 3) specimen failed
- 4) specimen did not fail
- 5) number of cycles
- 6) Fig. 15. Fatigue curves of steel St. 3kp in initial state at temperatures of +20, -75 and -183°C. Circular specimens with notch, diameter of 9 mm at notch, notch angle of 20°. See Fig. 14 for composition of steel: 1) +20°C; 2) -183°; 3) -75° [33].
- 7) Fig. 16. Fatigue curves of coarse-grained steel St. 3kp on smooth specimens 10 mm in diameter (solid curves) and on grooved specimens (broken curves) [33]. Heat treatment: annealing at 1250°C for 3 hours, slow cooling in furnace for 50 hours. See Fig. 14 for composition of steel.
- 8) Fig. 17. Fatigue curves of St. 3 weld metal at temperatures of +20 and -183°C: 1) -183°C; 2) +20°C [34].

1 Сталь Ст. 3С

2 I. Свойства при +20°С по ГОСТ 5521—50

3 Химический состав, %

4 Содержание элементов, %					
С	Mn	Si		S	P
		в кипящей	в спокойной	7 не более	
0,14—0,22	0,35—0,60	8 Следы	0,12—0,35	0,05	0,05

9 Механические свойства

10 Сталь	σ_T , кг/мм ²	σ_B , кг/мм ²	δ_{10} , %	δ_5 , %
	11	12	13 не менее	
14 Толстолистовая и широкополосная	22	38—40	23	27
		41—43	22	26
		44—47	21	25
15 Тонколистовая	—	38—47	16 при толщине 2 и 2,5 мм;	
			17 » » 3 и 3,5 »	17
			18 » » 3,75 мм	18

19 Назначение — применяют в судостроении.

20 II. Механические свойства при низких температурах

21 Ударная вязкость листов кипящей стали Ст. 3С [49]

22 Номер листа	23 a_K , кг·м/см ² , при температуре, °С					T _{KP} , °С 24
	+20	0	—10	—20	—30	
1	0,88 0,88 0,88 2,5 8,75	0,83	—	0,65		Выше +20 25
2	12,5	14,6	—	0,6	0,6 0,7 6,1	—10
3	10,8	8,3	4,3 6,7 6,8	0,5 5,4	0,5	—10
4	13,3	11,0	—	4,2 7,2	2,0	Ниже —30 26

27 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,16—0,22 С; 0,42—0,45 Мп; Si — следы.
2. Для исследований применяем лист толщиной 14 мм.

Key to page 68

- 1) steel St. 3S
- 2) I. Properties at +20°C according to GOST 5521-50
- 3) chemical composition
- 4) element content, %
- 5) in rimmed
- 6) in killed
- 7) not above
- 8) traces
- 9) mechanical properties
- 10) steel
- 11) σ_t , kg/mm²
- 12) σ_v , kg/mm²
- 13) not below
- 14) plate and wide-strip
- 15) plate
- 16) 16 for thickness and 2 and 2.5 mm
- 17) 3 and 3.5
- 18) 3.75 mm
- 19) Application - used in shipbuilding
- 20) II. Mechanical properties at low temperatures
- 21) impact strength of rimmed steel St. 3S sheets [49]
- 22) sheet number
- 23) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 24) t_{kr} , °C
- 25) above +20
- 26) below -30
- 27) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.16-0.22 C, 0.42-0.45 Mn, traces of Si. 2. A sheet 14 mm thick was used for the studies.

1 Влияние закалки и последующего термического старения на ударную вязкость листов толщиной 12 мм из стали Ст. 3С [47]

2 Состояние материала	3 a_{II} , кг·м/см ² , при температуре, °С				4 $T_{кр}$, °С при $a_{II} \leq 3$ кг·м/см ²
	+20	0	-20	-40	
5 Горячекатаные	9,5—12,9 11,0	7,4—10,1 8,4	4,5—8,1 6,3	0,5—6,3 3,2	—
6 Закаленные с 680—700° С	8,6—12,9 10,8	5,7—10,1 8,2	0,5—8,1 5,8	0,4—6,3 2,8	—20÷—50 —35°
7 Закаленные с 380—700° С и состаренные при 60—70° С в течение 4 ч	8,6—13,4 10,7	7,5—8,4 7,7	1,4—7,5 5,2	0,5—6,1 2,5	—10÷—50 —25
	7,6—13,5 10,5	4,4—9,4 7,1	0,6—7,3 4,9	0,5—4,6 1,8	—20÷—30 —30

8 Примечание. В числителе даны пределы, а в знаменателе средние значения ударной вязкости.

9 Сталь Ст. 4

10 I. Свойства при +20° С по ГОСТ 380—80

11 Химический состав, %

12 Марка стали		C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	P	S
13 Группа Б	14 Группа В				15 не более				

16 Мартеновская сталь

17 МСт. 4	18 ВСт. 3	0,18—0,27	0,12—0,30	0,40—0,70	0,3	0,3	0,3	0,045	0,055
19 МСт. 4кп	20 ВСт. 3кп	0,18—0,27	≤0,07	0,40—0,70	0,3	0,3	0,3	0,045	0,055

21 Бессемеровская сталь

22 БСт. 4	—	0,12—0,20	0,12—0,35	0,35—0,55	0,3	0,3	0,3	0,080	0,060
23 БСт. 4кп	—	0,12—0,20	≤0,07	0,35—0,55	0,3	0,3	0,3	0,080	0,060

Key to page 70

- 1) influence exerted by hardening and subsequent thermal aging on impact strength of steel St.3S sheets 12 mm thick [47]
- 2) material state
- 3) a_n , kg·m/cm², at temperature, PC
- 4) t_{kr} , °C, at $a_n \leq 3$ kg·m/cm²
- 5) hot-rolled
- 6) quenched from 680-700°C
- 7) quenched from 680-700°C and artificially aged at 60-70°C for 4 hours
- 8) Note. The limits are given in the numerator, and the average impact strength values in the denominator.
- 9) steel St. 4
- 10) I. Properties at + 20°C according to GOST 380-60
- 11) chemical composition, %
- 12) steel type
- 13) group B
- 14) group V
- 15) not above
- 16) open-hearth steel
- 17) MSt. 4
- 18) VSt. 3
- 19) MSt. 4kp
- 20) VSt. 3kp
- 21) Bessemer steel
- 22) BSt. 4
- 23) Bst. 4kp

Механические свойства

2 Марка стали		3 $\sigma_{\text{т}}$, кг/мм ² (не менее) по разрядам толщины проката			4 $\sigma_{\text{н}}$, кг/мм ²	5 δ_{10} , %	6 δ_5 , %
Группа А	Группа В	1	2	3		7 не менее	
8 Мартеновская и бессемеровская сталь							
9 Ст. 4	10 Ст. 4	26	25	24	42—44 45—48 49—52	21 20 19	25 24 23
11 Ст. 4кп	12 Ст. 4кп						

13 Назначение — для изготовления судовых паровых котлов, а также малонагруженных деталей (валов, осей и т. д.)

14 II. Механические свойства при низких температурах

15 Влияние закалки и последующего термического старения на ударную вязкость сталей Ст. 4кп и Ст. 4кпAs [47]

2 Марка стали	16 Состояние материала	17 $a_{\text{н}}$, кг·м/см ² , при температуре, °C				16 $T_{\text{кр}}$, °C, при $a_{\text{н}} \leq 3 \text{ кг·м/см}^2$
		+20	0	-20	-40	
11 Ст. 4кп	19 Горячекатаный	$\frac{6,5-10,0}{8,5}$	$\frac{5,4-11,5}{7,4}$	$\frac{0,6-8,6}{3,8}$	$\frac{0,5-4,8}{1,6}$	$\frac{0 \div -20}{-10}$
	20 Закаленный с 680—700° C в воде	$\frac{6,6-14,1}{10,1}$	$\frac{5,4-14,1}{8,4}$	$\frac{0,6-9,9}{4,3}$	$\frac{0,5-2,9}{1,3}$	$\frac{-10 \div -30}{-20}$
	21 Закаленный с 680—700° C в воде и состаренный при 60—70° C в течение 4 ч	$\frac{6,1-10,1}{8,8}$	$\frac{5,6-9,3}{7,0}$	$\frac{0,7-4,9}{1,8}$	$\frac{0,6-1,1}{0,8}$	$\frac{0 \div -10}{0}$
22 Ст. 4кпAs	19 Горячекатаный	$\frac{10,0-12,0}{10,7}$	$\frac{8,0-11,9}{9,7}$	$\frac{5,7-8,7}{7,4}$	$\frac{0,7-7,2}{4,0}$	$\frac{-20 \div -20}{-20}$
	20 Закаленный с 680—700° C в воде	$\frac{10,1-12,6}{11,4}$	$\frac{8,5-9,1}{8,8}$	$\frac{1,4-9,1}{6,8}$	$\frac{0,7-6,1}{2,1}$	$\frac{-10 \div -30}{-20}$
	21 Закаленный с 680—700° C в воде и состаренный при 60—70° C в течение 4 ч	$\frac{6,7-10,0}{8,5}$	$\frac{1,3-8,3}{5,5}$	$\frac{0,4-3,1}{1,1}$	$\frac{0,6-0,9}{0,7}$	$\frac{+20 \div +10}{+15}$

23 Примечания: 1. Для исследований применяли листы толщиной 12 мм.
2. В числителе даны пределы, а в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

Key to page 72

- 1) mechanical properties
- 2) steel type
- 3) σ_t , kg/mm² (not below) by rolled-thickness categories
- 4) σ_v , kg/mm²
- 5) group A
- 6) group V
- 7) not below
- 8) open-hearth and Bessemer steel
- 9) St. 4
- 10) VSt. 4
- 11) St. 4kp
- 12) VSt. 4kp
- 13) Application - for production of marine boilers, as well as lightly loaded parts (shafts, axles, etc.).
- 14) II. Mechanical properties at low temperatures
- 15) influence of hardening and subsequent thermal aging on impact strength of steels St. 4kp and St. 4kpAs [47]
- 16) material state
- 17) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 18) t_{kr} , °C, at $a_n \leq 3$ kg·m/cm²
- 19) hot-rolled
- 20) quenched from 680-700°C in water
- 21) quenched from 680-700°C in water and artificially aged at 60-70° for 4 hours.
- 22) St. 4kpAs
- 23) Notes. 1. Sheets 12 mm thick were employed for the studies.
2. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.

1 III. Свойства сварных соединений при низких температурах

2 Ударная вязкость сварных соединений стали Ст. 4
(опытные плавки) [50]

3 Марка стали	4 Толщина металла, мм	5 σ_H , кг·м/см ² , при температуре, °C			
		+20		-40	
		6 надрез образца в центре шва	7 надрез образца в зоне термического влияния	8 надрез образца в центре шва	9 надрез образца в зоне термического влияния

8 Ручная электросварка					
9 Ст. 4 (0,18% C)	12	11,4—18,4	14,4—16,0	1,2—10,2	7,5—11,0
		16,0	15,4	5,3	9,3
	30	15,9—19,8	10,9—16,8	0,9—13,0	10,9—16,8
		17,3	13,6	7,7	13,6
	50	16,3—21,5	7,6—12,8	2,1—16,0	7,6—10,0
		19,1	10,4	11,3	8,5

10 Автоматическая сварка					
9 Ст. 4 (0,18% C)	12	11,7—14,8	12,3—16,1	8,5—9,8	7,8—11,6
		13,2	14,5	9,1	9,2
	30	10,3—12,2	13,2—18,4	1,0—7,9	6,2—13,8
		11,4	15,5	5,8	8,8
	50	13,5—15,4	11,7—13,8	7,9—12,8	6,2—8,4
		14,3	12,9	10,8	6,8

8 Ручная электросварка					
11 Ст. 4 (0,25% C)	12	11,6—13,4	10,6—13,0	1,0—7,0	5,5—10,3
		12,6	12,1	2,5	7,1
	30	13,4—14,8	12,7—17,0	0,9—14,5	5,4—8,1
		13,9	15,6	9,0	7,1
	50	17,8—18,6	11,3—13,9	10,7—14,5	5,7—9,2
		18,2	12,8	12,6	7,3

10 Автоматическая сварка					
11 Ст. 4 (0,25% C)	12	8,4—11,2	9,9—11,2	6,0—7,7	6,4—9,6
		10,0	10,5	6,7	7,8
	30	7,5—9,4	11,3—14,0	4,6—7,3	4,8—7,8
		8,4	12,7	6,2	6,1
	50	13,6—14,8	8,0—10,6	8,4—11,5	3,7—6,2
		14,2	9,1	10,2	5,0

12 Примечания:

13 1. Химический состав стали, %

3 Марка стали	C	Si	Mn	Cr	Ni	Al	S	P
9 Ст. 4 (0,18% C)	0,18	0,25	0,46	0,08	0,25	0,14	0,020	0,03
11 Ст. 4 (0,25% C)	0,25	0,28	0,61	0,08	0,25	0,13	0,028	0,024

14 2. При ручной сварке применяли электроды марки УОНИ 13/45, при автоматической сварке — проволоку СВ-08А и флюс ОСЦ-45.

3. В числителе даны пределы, а в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

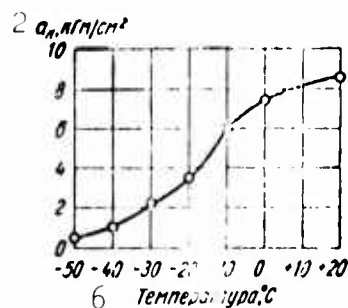
Key to page 75

- 1) III. Properties of welded joints at low temperatures
- 2) impact strength of welded joints in steel St. 4 (experimental melts) [50]
- 3) steel type
- 4) sheet thickness, mm
- 5) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 6) specimen notched in center of weld
- 7) specimen notched in weld-metal zone
- 8) manual electric welding
- 9) St. 4 (0.18% C)
- 10) automatic welding
- 11) St. 4 (0.25% C)
- 12) Notes.
- 13) 1. Chemical composition of steel, %
- 14) 2. A type UONI 13/45 electrode was used with manual welding, and an SV-08A wire and OSTs-45 flux with automatic welding.
3. The limits are given in the numerator and the average impact-strength values in the denominator.

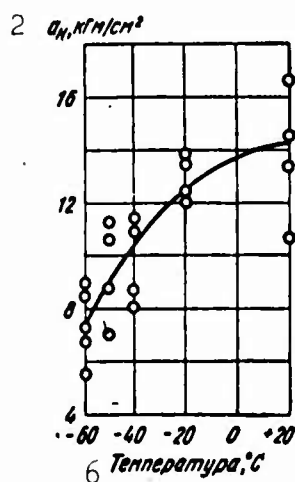
1 Ударная вязкость швов стали Ст. 4 (М21), сваренных в углекислом газе [52]

3 Марка проволоки	4 a_H , кг·м/см ² , при температуре, °C			5 Ударная вязкость шва после механического старения при 20° C, кг·м/см ²
	+20	-20	-40	
7 Св-08ГСА	$\frac{10-13}{12}$	$\frac{7-9}{8}$	$\frac{6-8}{7}$	$\frac{6-8}{7}$
8 Св-08Г2СА	$\frac{12-13}{12,5}$	$\frac{7-9}{8}$	$\frac{7,5-8,5}{8}$	$\frac{5-7}{6}$

Примечания: 1. Механическое старение включалось в растяжении на 10% и нагревании при 250° C в течение часа.
2. В числителе даны пределы, а в знаменателе — средние значения ударной вязкости.



9 Рис. 18. Ударная вязкость стали Ст. 4 в состоянии поставки. Листы толщиной 16 и 16 мм имели следующий химический состав, %: 0,24—0,26C; 0,53—0,69Mn; Si — следы; 0,030—0,043P; 0,011—0,034S [61]



10 Рис. 19. Ударная вязкость сварных швов стали Ст. 4, выполненных в среде углекислого газа проволокой Св-10ГC.

11 Химический состав стали, %

12 Металл	C	Mn	Si	S	P
Основной	0,23	0,45	0,30	0,038	0,024
Проволоки Св-10ГC	0,11	1,04	0,70	0,030	0,030

Листы толщиной 12 мм с V-образной разделкой кромок сваривали в два прохода [64]

16 Сталь Ст. 4С

17 I. Свойства при +20° C по ГОСТ 5521—50

18 Химический состав, %

C	Mn	Si		S	P
		19 в кипящей	20 в спокойной		
0,18—0,27	0,4—0,7	22 Следы	0,12—0,35	0,05	0,05

Key to page 76

- 1) impact strength of steel St. 4 (M21) welds formed in carbon dioxide gas [52]
- 2) a_n , kg·m/cm²
- 3) wire type
- 4) a_n , kg·m/cm², at temperatures, °C
- 5) impact strength of weld after strain aging at 20°C, kg m/cm²
- 6) temperature, °C
- 7) Sv-08GSA
- 8) Sv-08G2SA
- 9) Fig. 18. Impact strength of steel St. 4kp in as-delivered state. Sheets 15 and 16 mm thick had the following chemical composition, %: 0.24-0.26 C, 0.53-0.69 Mn, traces of Si, 0.039-0.043 P, 0.011-0.034 S [51].
- 10) Fig. 19. Impact strength of steel St. 4 welds formed in carbon dioxide medium with Sv-10GS wire.
- 11) chemical composition of steel, %
- 12) metal
- 13) base
- 14) Sv-10GS wire
- 15) sheets 12 mm thick with V-trimmed edges were welded in two passes [54]
- 16) Steel St. 4S
- 17) I. Properties at +20°C according to GOST 5521-50
- 18) chemical composition, %
- 19) in rimmed
- 20) in killed
- 21) not above
- 22) traces

1 Механические свойства				
2 Сортамент	3 σ_T , кг/мм ²	4 σ_B , кг/мм ²	5 δ_{10} , %	6 δ_5 , %
	5 не менее			
6 Толстолистовая и широкополосная	24	42—44	21	25
		45—48	20	24
		49—52	19	23
7 Тонколистовая	—	42—52	8 14 при толщине 2 и 2,5 мм;	
			9 15 при толщине 3 и 3,5 мм;	
			10 16 при толщине 3,75 мм	

11 Назначение — применяют в судостроении.

12 II. Механические свойства сталей при низких температурах

13 Минимальные значения ударной вязкости спокойной и кипящей стали Ст. 4С [49]

14 Марка стали	Толщина листа мм 15	16 a_K , кг·м/см ² ; при температуре, °C				17 $T_{кр}$, °C
		+20	0	—20	—40	
18 Ст. 4Ссп	13	6,2	5,6	4,8	3,5	19 Ниже —40
		6,3	6,2	5,7	5,0	» —40
		6,7	6,6	5,6	5,3	» —40
20 Ст. 4Скп	12	7,2	—	0,97	0,61	0
		7,1	—	0,87	0,5	0
		5,9	5,1	0,8	0,5	—10
		6,4	3,1	0,8	0,8	—10
		8,1	5,7	1,5	0,5	—10
		6,1	—	0,4	0,4	0

Key to page 78

- 1) mechanical properties
- 2) grade
- 3) σ_t , kg/mm²
- 4) σ_v , kg/mm²
- 5) not below
- 6) plates and wide-strip
- 7) sheets
- 8) 14 with thickness of 2 and 2.5 mm
- 9) 15 with thickness of 3 and 3.5 mm
- 10) 16 with thickness of 3.75 mm
- 11) Application - used in shipbuilding
- 12) II. Mechanical properties of steels at low temperatures
- 13) minimum impact strength values of killed and rimmed steel
St. 4S
- 14) steel type
- 15) sheet thickness, mm
- 16) a_n , kg·m/cm², at temperatures, °C
- 17) t_{kr} , °C
- 18) St. 4Ssp
- 19) below -40
- 20) St. 4Skp

1 Влияние закалки и последующего термического старения на ударную вязкость стали Ст. 4С [47]

2 Толщина листа, мм	3 Состояние материала	4 a_n , кг·м/см ² , при температуре, °С				5 $T_{кр}$, °С при a_n не менее 3 кг·м/см ²
		+20	0	-20	-40	
12	6 Исходный	$\frac{5,1-10,4}{7,4}$	$\frac{3,6-6,5}{5,3}$	$\frac{3,1-5,6}{4,2}$	$\frac{0,5-4,0}{3,5}$	$\frac{-20 \div -60}{-35}$
12	7 Закаленный с 680—700° С	$\frac{6,4-8,7}{7,4}$	$\frac{4,0-6,6}{5,4}$	$\frac{3,7-5,4}{4,8}$	$\frac{0,6-5,1}{3,9}$	$\frac{-20 \div -50}{-35}$
12	8 Закаленный с 680—700° С и состаренный при 60—70° С в течение 4 ч	$\frac{5,7-8,6}{7,6}$	$\frac{4,6-6,1}{5,4}$	$\frac{3,6-5,0}{4,3}$	$\frac{0,9-4,9}{3,7}$	$\frac{-20 \div -60}{-40}$
40	9 Закаленный с 870—880° С и отпущенный с 670° С	14,4—17,1	—	—	10,9—11,9	-20
50	10 То же	13,3—16,3	—	—	9,6—12,3	-10
40	11 Закаленный с 870—880° С и отпущенный с 690° С	14,7—15,5	—	—	9,0—10,1	-20
50	10 То же	13,9—16,1	—	—	9,9—11,5	-10

12 Примечания: 1. Химический состав стали листов толщиной 40 и 50 мм, %: 0,18 С; 0,25 Si; 0,59 Mn; 0,020 S; 0,030 P.
2. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения.

13 III. Свойства сварных соединений при низких температурах

14 Ударная вязкость швов стали Ст. 4С, полученных сваркой в среде углекислого газа проволокой марки Св-08Г2С [50]

15 Место вырезки и надреза образца	16 a_n , кг·м/см ² , при температуре, °С	
	+20	-40
17 Шов с надрезом по центру шва	$\frac{9,5-14,7}{11,2}$	$\frac{5,4-6,9}{6,3}$
18 Основной металл, надрез в зоне термического влияния	$\frac{12,2-14,2}{13,1}$	$\frac{5,3-8,4}{7,4}$

19 Примечания: 1. Сваривали листы толщиной 14 мм.
2. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

Key to page 80

- 1) influence of hardening and subsequent thermal aging on impact strength of steel St. 4S [47]
- 2) sheet thickness, mm
- 3) material state
- 4) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 5) t_{kr} , °C at a_n not below 3 kg·m/cm²
- 6) initial
- 7) quenched from 680-700°C
- 8) quenched from 680-700°C and artificially aged at 60-70°C for 4 hours
- 9) quenched from 870-880°C and tempered from 670°C
- 10) same
- 11) quenched from 870-880°C and tempered from 690°C
- 12) Notes. 1. Chemical composition of sheet steel 40 and 50 mm thick, %: 0.18 C, 0.25 Si, 0.59 Mn, 0.020 S, 0.030 P. 2. The limits are given in the numerator, and the average values in the denominator.
- 13) III. Properties of welded joints at low temperatures
- 14) impact strength of steel St. 4S welds produced by welding in carbon dioxide medium with type Sv-08G2S wire [50]
- 15) location of cut and notch of specimen
- 16) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 17) weld with notch centered along weld
- 18) base metal, notch in weld-metal zone
- 19) Notes. 1. Sheets 14 mm thick were welded. 2. The limits are given in the numerator and the average impact-strength values in the denominator.

1 Сталь Ст. 5

2 I. Свойства при $\pm 20^{\circ}\text{C}$ по ГОСТу

3 Химический состав, %

4	Марка стали	5 Содержание элементов, %							6 ГОСТ	
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	P		S
					7 не более					
8	МСт. 5	0,28—0,37	0,15—0,35	0,50—0,80	0,3	0,3	0,3	0,045	0,055	3°0—60
9	БСт. 5	0,17—0,30	0,15—0,35	0,50—0,80	0,3	0,3	0,3	0,080	0,060	Группа Б

10 Механические свойства

4	Марка стали	11 σ_T , кг/мм ² не менее по разрядам толщины проката			12 σ_B , кг/мм ²	δ_{10} , %	δ_5 , %	6 ГОСТ
		1	2	3		13 не менее		
14	Ст. 5	28	27	26	50—53	17	21	380—60 15 Группа А
					54—57	16	20	
					58—62	15	19	

16 Назначение — для изготовления деталей, не подвергающихся сварке — фланцы, трубные решетки, болты, шпильки с рабочей температурой до -30°C .

Key to page 82

- 1) Steel St. 5
- 2) I. Properties at +20°C according to GOST
- 3) chemical composition, %
- 4) steel type
- 5) element content, %
- 6) GOST
- 7) not above
- 8) MSt. 5
- 9) BSt. 5
- 10) mechanical properties
- 11) σ_t , kg/mm² not below, by rolled thickness categories
- 12) σ_v , kg/mm²
- 13) not below
- 14) St. 5
- 15) group A
- 16) Application - for production of components not subject to welding - flanges, tube grids, bolts, and threaded studs with operating temperatures down to -30°C

1 II. Механические свойства при низких температурах

2 Прочность стали Ст. 5 при растяжении [36]

3 Состояние материала	4 Температура испытания, °C	5 σ_B , кг/мм ²	6 σ_T , кг/мм ²	7 δ , %	8 ψ , %
7 Термически обработанный лист толщиной 18 мм	+20 -183	59,1 93,9	35,6 71,7	27,9 25,9	59,4 26,5

8 Примечание. Состав стали, %: 0,32C; 0,63Mn; 0,02Si; 0,037P; 0,016S.

9 Ударная вязкость в зависимости от термической обработки

10 15 Марка Сталь	11 Изделие	3 Состояние материала	12 a_K , кг·м/см ² , при температуре, °C						13 $T_{кр}$, °C, при $a_K < 4$ кг·м/см ²	14 Литература
			+20	-20	-40	-60	-80	-183		
Ст. 5	16 Лист 18 мм	17 Термически обработанный	11—15,2 12,5	—	—	—	—	1,04—1,08 1,06	—	[36]
	18 Прутки диаметром 16 мм	19 Горячекатаный	4,6—5,2 4,9	2,6—3,9 3,2	3,2 3,2	2,4—4,0 3,2	1,1 1,1	—	0	23 По данным Института нефте- и углехимического синтеза
		20 Отожженный	5,0—5,5 5,3	2,7—3,5 3,1	3,2—3,9 3,6	2,0—2,7 2,3	0,8 0,8	—	+10	
		21 Нормализованный	6,7 6,7	3,8—4,4 4,1	3,3 3,3	2,8 2,8	1,3 1,3	—	-20	
		22 Закаленный и отпущенный	10,8 10,8	10,6 10,6	9,7 9,7	7,0—7,6 7,3	5,6—6,5 6,1	5,5—6,0 5,7 (при -100° C)	Ниже -100	

Key to page 84

- 1) II. Mechanical properties at low temperatures
- 2) tensile strength of steel St. 5 [36]
- 3) material state
- 4) test temperature, °C
- 5) σ_t , kg/mm²
- 6) σ_v , kg/mm²
- 7) heat-treated sheet 18 mm thick
- 8) Note. Steel composition, %: 0.32 C, 0.83 Mn, 0.27 Si, 0.037 P, 0.016 S
- 9) impact strength as function of heat treatment
- 10) steel type
- 11) article
- 12) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 13) t_{kr} , °C, at $a_n \leq 4$ kg·m/cm²
- 14) source
- 15) St. 5
- 16) 18 mm sheet
- 17) heat-treated
- 18) rod 16 mm in diameter
- 19) hot-rolled
- 20) annealed
- 21) normalized
- 22) quenched and tempered
- 23) according to data of the Institute of Petrochemical and Coal Tar Synthesis
- 24) below -100
- 25) (at -100)

1Продолжение

2 Марка стали	3 Изделие	4 Состояние материала	5 σ_n , кг·м/см ² , при температуре, °С						6 $T_{кр}$, °С, при $\sigma_n < 4$ кг·м/см ²	7 Литература
			+20	-20	-40	-60	-80	-183		
8 КСт. 5кп	9 Арматура № 18	10 Горячекатаный	8,2—9,8 9,0	1,2—3,5 2,0	0,7—1,5 1,1	0,5 0,5	—	—	—20	16 По данным института нефте- и углехимиче- ского син- теза
		11 Отожженный	1,1—1,5 1,3	0,7 0,7	0,5 0,5	0,2—0,4 0,3	—	—	+20	
		12 Нормали- зованный	1,0—6,8 3,0	0,9—1,7 1,3	0,6 0,6	0,5—0,7 0,6	—	—	+20	
	13 Арматура № 19	14 Нормали- зованный и отпущенный Закаленный и отпущенный	10,4—12,7 11,5	0,8—5,8 2,6	0,7—2,7 1,3	0,5—0,7 0,6	—	—	0	
			13,2—20,3 16,1	7,3—16,5 10,6	0,7—4,2 2,0	0,7—1,0 0,8	—	—	—20	
		15								

17 Примечания:

18 1. Химический состав стали, %

2	Марка стали	C	Si	Mn	P	S
19	Ст. 5 (лист толщиной 18 мм)	0,32	0,27	0,63	0,037	0,016
20	Ст. 5 (пруток диаметром 16 мм)	0,32	0,17	0,52	0,040	0,040
21	КСт. 5кп (арматура № 18 и № 19)	0,32	22 Следы	0,58	0,015	0,033

23 2. В числителе даны пределы, а в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

Key to page 86

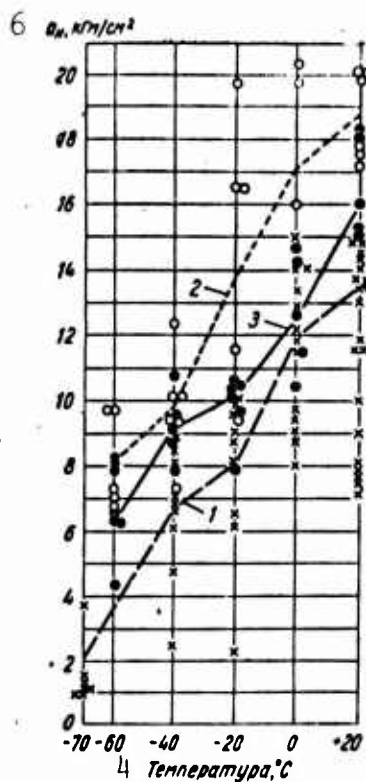
- 1) continued
- 2) steel type
- 3) article
- 4) material state
- 5) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 6) t_{kr} , $^{\circ}\text{C}$ at $a_n \leq 4 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 7) source
- 8) KSt. 5kp
- 9) No. 18 reinforcing bar
- 10) hot-rolled
- 11) annealed
- 12) normalized
- 13) No. 19 reinforcing bar
- 14) normalized and tempered
- 15) quenched and tempered
- 16) according to data of the Institute of Petrochemical and Coal Tar Synthesis
- 17) Notes.
- 18) 1. Chemical composition of steel, %
- 19) St. 5 (18-mm sheet thickness)
- 20) St. 5 (rod 16 mm in diameter)
- 21) KSt. 5kp (No. 18 and No. 19 reinforcing bars)
- 22) traces
- 23) 2. The limits are given in the numerator and the average impact-strength values in the denominator.

1 III. Свойства сварных соединений

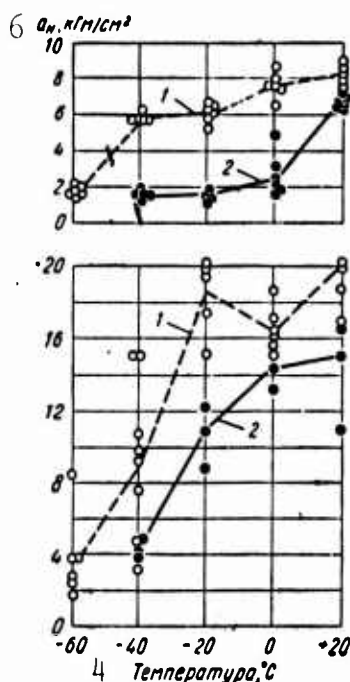
2 Механические свойства сварного соединения стали Ст. 5 [36]

3 Металл	4 Температу- ра, °C	5 $\sigma_{\text{в}}, \text{кг/мм}^2$	6 $\delta, \%$	7 $a_{\text{н}}, \text{кг}\cdot\text{м/см}^2$
7 Наплавленный	-20	40,7	12,7	7,25
	-183	51,9		1,20
8 Сварное соединение	+20	42,1	8,81	10,6
	-183	65,7	1	1,19

9 Примечания: 1. Состав стали, %: 0,32C; 0,27Si; 0,63Mn; 0,016P; 0,037S.
2. Листы толщиной 18 мм, сваривали ручной электросваркой.



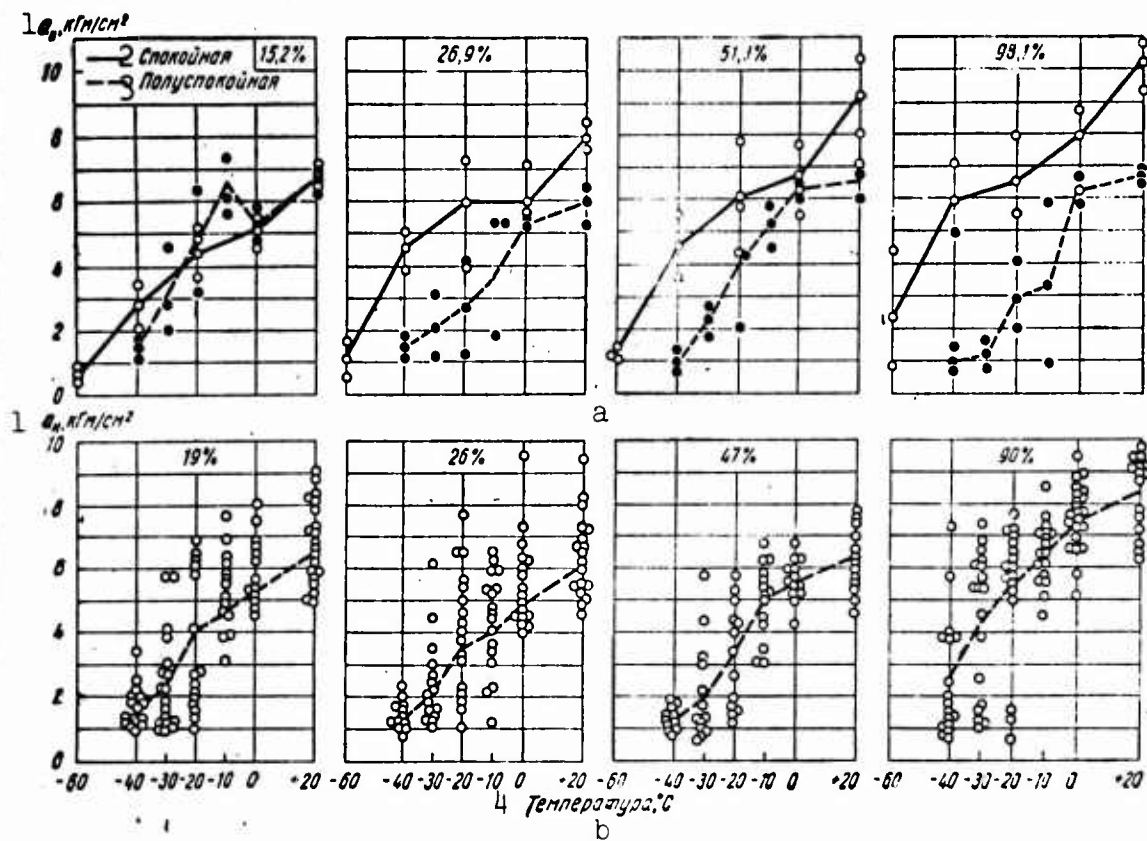
10 Рис. 20. Влияние термической обработки на ударную вязкость при низких температурах арматурной стали Ст. 5:
1 — исходное состояние; 2 — печной нагрев (закалка + отпуск); 3 — индукционный нагрев (закалка + отпуск) [106]



11 Рис. 21. Влияние наклепа на ударную вязкость арматурной стали Ст. 5:
1 — горячекатаная; 2 — после упрочнения растяжением на 5,5% [106]

Key to page 88

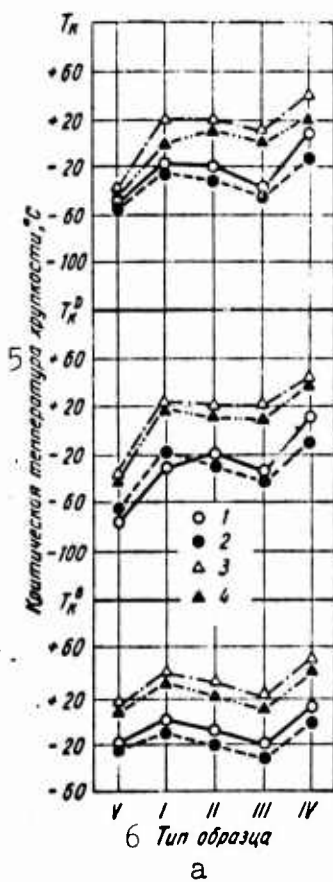
- 1) III Properties of welded joints
- 2) mechanical properties of welded steel St. 5 joint [36]
- 3) metal
- 4) temperature, °C
- 5) σ_v , kg/mm²
- 6) a_n , kg·m/cm²
- 7) weld-on
- 8) welded joint
- 9) Notes. 1. Composition of steel, %: 0.32 C, 0.27 Si, 0.63 Mn, 0.016 P, 0.037 S. 2. Sheets 18 mm thick were joined by manual electric welding.
- 10) Fig. 20. Influence of heat treating on impact strength of reinforcing steel St. 5 at low temperatures. 1) Initial state; 2) furnace heating (quenching and tempering); 3) induction heating (quenching and tempering) [106].
- 11) Fig. 21. Influence exerted by work hardening on impact strength of reinforcing steel St. 5. 1) hot-rolled; 2) after hardening by 5.5% elongation [106].



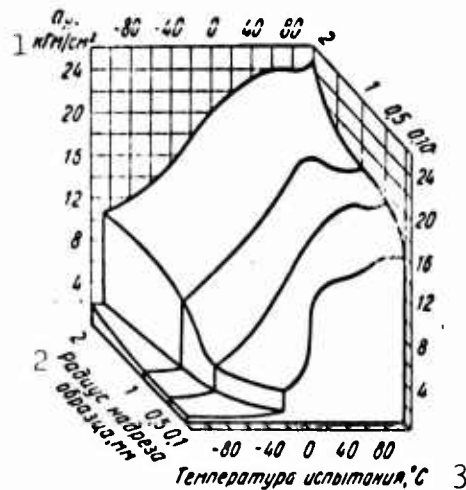
5 Рис. 22. Склонность спокойной и полуспокойной арматурной стали Ст. 5 к хрупкому разрушению:
а — мартеновского производства; б — конвертерного производства [106]

Key to page 90

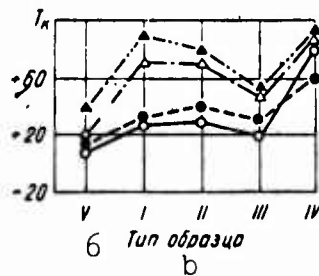
- 1) a_n , kg·m/cm²
- 2) killed
- 3) semikilled
- 4) temperature, °C
- 5) Fig. 22. Tendency of killed and semikilled reinforcing steel St. 5 to brittle fracture. a) Open-hearth production; b) converter production [106].



7 Рис. 24. Критические температуры хрупкости стали Ст. 5пс (листы толщиной: а — 12 мм; б — 40 мм) в зависимости от типа образца по ГОСТ 9454—60:
1 — продольные (в состоянии поставки); 2 — поперечные (в состоянии поставки); 3 — продольные (после старения); 4 — поперечные (после старения) (I, II, III, IV, V — типы образцов по ГОСТ 9454—60;
 T_K — критическая температура, определенная по a_K ;
 T_K^D — критическая температура, определенная по пластической деформации ударного образца;
 T_K^B — критическая температура, определенная по проценту вязкой составляющей в изломе ударного образца. Критические температуры определены по 50% от значения характеристик при +20° С [42]



4 Рис. 23. Ударная вязкость стали МСт. 5 (0,32С; 0,59Мп; 0,26Si; 0,029Р; 0,038S) после нормализации в зависимости от температуры испытания и радиуса надреза [12]



Key to page 9

- 1) a_n , kg·c/cm²
- 2) radius of specimen notch, mm
- 3) test temperature, °C
- 4) Fig. 23. Impact strength of steel MSt. 5 (0.32 C, 0.59 Mn, 0.26 Si, 0.029 P, 0.038 S) after normalizing as function of test temperature and notch radius [12].
- 5) critical brittleness temperature, °C
- 6) specimen type
- 7) Fig. 24. Critical brittleness temperature of steel St. 5ps (sheet thickness: a) 12 mm; b) 40 mm) as function of specimen type according to GOST 9454-60. T_k is the critical temperature determined from a_n ; T_k^D is the critical temperature determined from the plastic deformation of an impact specimen; T_k^V is the critical temperature determined on the basis of the percentage of the viscous component in the fracture surface of an impact specimen. The critical temperature is determined as 50% of the value of the characteristic at +20°C [42].

1 Сталь 08 и 08кп

2 1. Свойства при +20°С по ГОСТ 1050—60

3 Химический состав, %

4 Марка стали	5 Содержание элементов, %						
	C	Mn	Si	S	P	NI	Cr
				6 не более			
7 08кп	0,05—0,12	0,25—0,50	8 Не более 0,03	0,040	0,040	0,25	0,10
08	0,05—0,12	0,35—0,65	0,17—0,37	0,040	0,035	0,25	0,10

II

HIGH-QUALITY MACHINE-GRADE CARBON STEEL

High-grade carbon steels produced in accordance with GOST 1050-60 are widely used in all branches of the machine-building industry.

Light-duty (axles, shafts, fasteners, flanges) and large (rims, gears, light-duty springs, leaf springs, etc.) components are manufactured from these steels (for example, from steel 50); they are also used for shaped castings. Low-carbon steels are employed for the production of welded and drawn pipes.

High-grade carbon steels are used chiefly for products used at atmospheric temperatures. At subzero temperatures, the mechanical properties are dependent, to a large degree, upon carbon content. Ultimate strength, yield point, fatigue limit, hardness and moduli increase with increasing carbon content or decreasing operating temperature. Plastic properties (relative elongation and necking) and impact strength diminish in this case.

Key to Table on page 94

- 1) Steel 08 and 08kp
- 2) I. Properties at +20°C according to GOST 1050-60
- 3) chemical composition, %
- 4) steel type
- 5) element content, %
- 6) not above
- 7) 08kp
- 8) not above 0.03

1 Механические свойства

2	Марка стали	3 Термическая обработка	4 HV кг/мм ²	5 σ_p кг/мм ²	6 σ_T кг/мм ²	δ , %	ψ , %
			7 не более	8 не менее			
9	08кп 08	10 Нормализация „	131 —	30 33	18 20	35 33	60 60

11 Примечание. Твердость дана для горячекатаной стали.

12 Назначение — для изготовления сварных деталей и деталей сложной формы методом холодной штамповки с глубокой вытяжкой или малонагруженных деталей при помощи холодной высадки.

13 II. Физические свойства при низких температурах

14 Коэффициент линейного расширения

16 Интервал температур, °C	17 $\alpha \cdot 10^6$, 1/град	18 Литература
+20—(−183)	9,68	[58]
+16—(−196)	9,2	[59]

15 Теплопроводность [60]

19 Температура, °C	20 λ , вт/м·град
−195 −255	23,15 6,61

21 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,06C; 0,60Mn; 0,14Si; 0,031P; 0,024S.
2. Для исследований применяли сталь 08 после отжига при 680° C в течение 30 мин.

22 III. Механические свойства при низких температурах

23 Прочность при растяжении

2	25 Вид полуфабриката	24 Состояние материала	26 Температура испытания, °C	5 σ_p кг/мм ²	6 σ_T кг/мм ²	δ , %	ψ , %	18 Литература
9	08кп* 27	—	20 −50 −100	30,3 35,4 43,4	22,7 32,2 49,3	41,9 49,3 21,4	— — —	[16]
9	08кп 27	—	15 −40 −80 −183	37,8 39,1 46,2 82,2	28,1 29,4 34,5 —	38,0 30,0 34,7 2,8	70,6 74,4 75,1 0,6	[66]
	08 28	Отожженный при 800° C 29	17 −196 −253	37 82 99	— — —	38 8 0	77 6 4	[5]

Key to page 96

- 1) mechanical properties
- 2) steel type
- 3) heat treatment
- 4) kg/mm^2
- 5) σ_v , kg/mm^2
- 6) σ_t , kg/mm^2
- 7) not above
- 8) not below
- 9) 08kp
- 10) normalizing
- 11) Note. Hardness is given for the hot-rolled steel
- 12) Application - for production of welded components and components of complex shape by cold pressing with deep drawing or lightly loaded components by cold upsetting.
- 13) II. Physical properties at low temperatures
- 14) coefficient of linear expansion
- 15) thermal conductivity [60]
- 16) temperature interval, $^{\circ}\text{C}$
- 17) deg^{-1}
- 18) source
- 19) temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 20) $\text{W/m}\cdot\text{degree}$
- 21) Notes. 1. Chemical composition of steel, %; 0.06 C 0.60 Mn, 0.14 Si, 0.031 P, 0.024 S. 2. After annealing at 680°C for 30 minutes, steel 08 was used for the studies.
- 22) III. Mechanical properties at low temperatures
- 23) tensile strength
- 24) material state
- 25) type of semifinished product
- 26) test temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 27) rolled stock
- 28) rod
- 29) annealed at 800°C

1 Продолжение

2	3	4	5	6	7	8	9	10
Марка стали	Вид полуфабриката	Состояние материала	Температура испытания, °C	σ_p , кг/мм ²	σ_T , кг/мм ²	δ , %	ψ , %	Литература
08	Пруток	Отожженный при 890° C	17 -196 -253	37 73 84	23 72 —	35 1 0	75 4 0	[5]

11 Примечания:

12 1. Химический состав сталей, %

2	3	4	5	6	7	8	9
Марка стали	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr
13 08кп*	0,05	0,03	0,27	0,017	0,009	0,16	0,04
13 08кп	0,11	0,03	0,35	0,022	0,016	0,39	0,14
08	0,06	0,14	0,60	0,024	0,031	—	—

14 2. У стали 08кп* удлинение дено для δ_{10} .

15 Модуль нормальной упругости

2	Марка стали	16 Е, кг/мм ² , при температуре, °С					8	Литера- тура
		20	-40	-50	-80	-100		
13	08кп*	19 500	—	20 800	—	21 300	—	[61]
13	08кп	19 800	21 200	—	19 800	—	21 100	[67]

17 Примечания: 1. Химический состав сталей см. в примечании предыдущей таблицы.
2. Для исследований применяли горячекатаный лист для 08кп* толщиной 2,5 мм.

18 Ударная вязкость

2	Марка стали	4	19 a_H , кг·м/см ² , при температуре, °C							8	Литера- тура
			15	-40	-70	-80	-100	-183	-195		
1308кп 08		20 Горячеката- ный	15,5	2,28	—	0,45	—	0,41	—	[66]	
		21 Нормализован- ный при 950°С	24,07	9,32	1,16	—	1,01	—	0,13	[68]	

11 Примечания:

12 1. Химический состав стали, %

2	3	4	5	6	7	8	9
Марка стали	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr
13 08кп	0,11	0,03	0,35	0,022	0,016	0,39	0,14
08	0,06	0,16	—	0,03	0,02	—	—

22 2. Для исследований стали 08 применяли прутки диаметром 20 мм.

Key to page 98

- 1) continued
- 2) steel type
- 3) type of semifinished product
- 4) material state
- 5) test temperature, °C
- 6) σ_v , kg/mm²
- 7) σ_t , kg/mm²
- 8) source
- 9) rod
- 10) annealed at 890°C
- 11) Notes.
- 12) 1. Chemical composition of steels, %
- 13) 08 kp*
- 14) 2. For steel 08kp*, the elongation is given for δ_{10}
- 15) modulus of normal elasticity
- 16) E, kg/mm², at temperature, °C
- 17) Notes. 1. See the note in the preceding table for the chemical composition of the steels. 2. A hot-rolled sheet 2.5 mm thick was used to study 08kp*.
- 18) impact strength
- 19) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 20) hot-rolled
- 21) normalized at 950°C
- 22) 2. A rod 20 mm in diameter was used to study steel 08.

1 Сталь 10 и 10кп

2 I. Свойства при +20° С по ГОСТ 1050—60

3 Химический состав, %

4 Марка стали	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr
				5 не более			
10	0,07—0,11	0,35—0,65	0,17—0,37	0,040	0,035	0,25	0,15
10кп	0,07—0,14	0,25—0,50	≤0,07	0,040	0,035	0,25	0,15

7 Механические свойства

4 Марка стали	8 Термическая обработка	9 HВ, кг/мм² не более	10	11	δ, %	ψ %
			σ _в кг/мм²	σ _т кг/мм²		
			12 не менее			
10	13 Нормализация	137	34	21	31	5
10кп	»	137	32	19	33	5

14 Примечание. Твердость дана для горячекатаной стали.

15 Назначение — для изготовления деталей, требующих высокой пластичности (трубки, прокладки, шайбы, тяги), а также для цементуемых или цинкуемых деталей.

16 II. Физические свойства при низких температурах

17 Коэффициент линейного расширения

18 Теплопроводность

4 Марка стали	19 Интервал температур, °С	20 α · 10⁴, 1/град	21	22
			Температура, °С	λ, вт/м · град
10	+20—(+100)	11,1	100	75,5
	+20—(—40)	10,4	—195	23,8
	+20—(—183)	8,0	—255	6,6

23 III. Механические свойства при низких температурах

24 Ударная вязкость стали 10

(данные Института нефте- и углехимического синтеза)

25 Состояние материала	26 α _н , кг · м/см², при температуре, °С						27 T _{кр} , °С, при α _{н мин} ≤ 4 кг · м/см²
	+20	—20	—40	—60	—80	—100	
28 Горячекатаный	28,5— 28,0	24,2— 24,2	16,2— 15,0	14,6— 14,2	0,8— 0,8	1,0— 1,0	—70
29 Отожженный	25,0— 6,0	17,8— 5,0	8,5— 4,6	4,3— 1,9	0,8— 0,8	—	—50

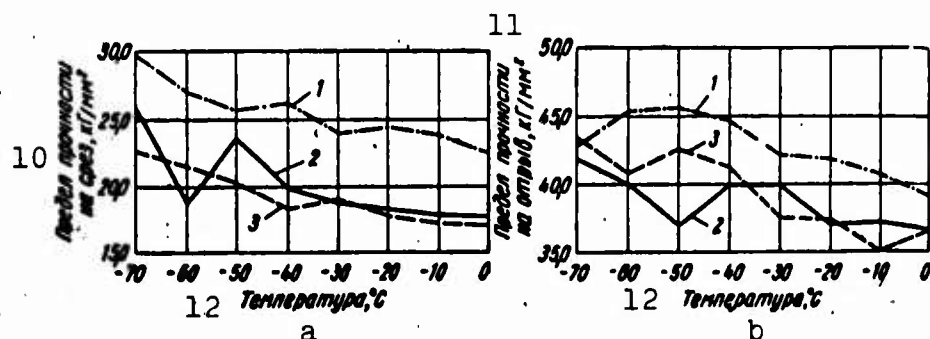
Key to page 100

- 1) Steel 10 and 10kp
- 2) I. Properties at +20°C according to GOST 1050-60
- 3) chemical composition, %
- 4) steel type
- 5) not above
- 6) 10kp
- 7) mechanical properties
- 8) heat treatment
- 9) HB, kg/mm², not above
- 10) σ_v , kg/mm²
- 11) σ_t , kg/mm²
- 12) not below
- 13) normalizing
- 14) Note. Hardness is given for the hot-rolled steel
- 15) Application - for production of components requiring high plasticity (tubing, spacers, washers, tension rods), as well as case-hardened or cyanided parts
- 16) II. Physical properties at low temperatures
- 17) coefficient of linear expansion
- 18) thermal conductivity
- 19) temperature interval, °C
- 20) deg⁻¹
- 21) temperature, °C
- 22) W/m·degree
- 23) III. Mechanical properties at low temperatures
- 24) impact strength of steel 10 (data of the Institute of Petrochemical and Coal Tar Synthesis)
- 25) material state
- 26) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 27) t_{kr} , PC, at $a_n \leq 4$ kg·m/cm²
- 28) hot-rolled
- 29) annealed

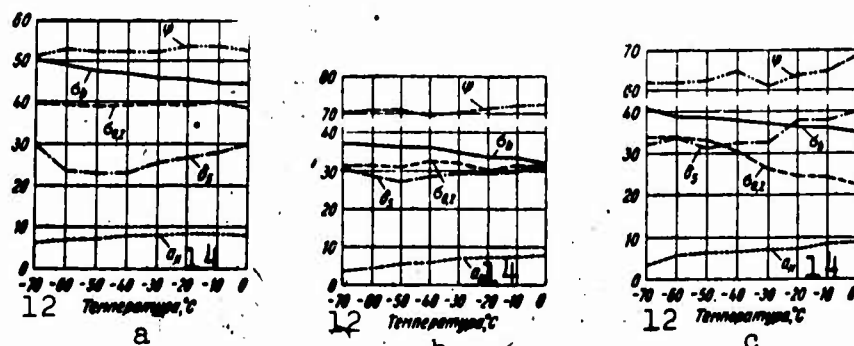
1 Продолжение

2 Состояние материала	3 $a_k, \text{кг} \cdot \text{м} / \text{см}^2, \text{ при температуре, } ^\circ\text{C}$						4 $T_{\text{кр}}, ^\circ\text{C}$ $a_{\text{кр}}, \text{кг} \cdot \text{м} / \text{см}^2$
	+20	-20	-40	-60	-80	-100	
5 Нормализованный	27,0— 7,4	22,0— 20,7	21,0— 21,0	18,3— 18,3	17,3— 16,5	1,3— 1,3	-90
6 Закаленный	24,4— 1,3	17,0— 6,1	15,4— 15,4	17,9— 1	3,6— 3,2	7,5— 7,5	-60
7 Закаленный и отпущенный	30,0— 28,8	28,0— 28,0	27,0— 18,5	22,0— 17,5	18,8— 18,8	19,0— 1	8 Ниже -100

9 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,12C; 0,27Mn; 0,14Si; 0,019P; 0,022S.
2. Для исследований применяли прутки диаметром 35 мм.
3. В таблице приведены максимальные и минимальные значения ударной вязкости.



13 Рис. 25. Изменение прочности соединения основного металла с плакирующим в биметаллах: 1 — сталь 10—МЖ2; 2 — сталь 10—Бр. ОЖ4-2; 3 — сталь 10—ЛЖ90-2 при испытании: а — на срез; б — на отрыв в интервале температур от 0 до -70°C [69]

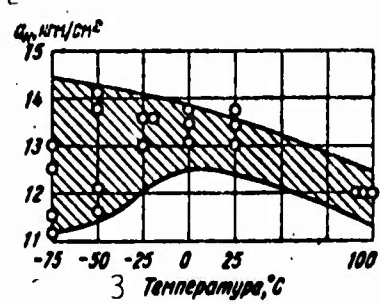


15 Рис. 26. Изменение механических свойств биметаллов сталь 10 — неметаллические сплавы в интервале температур от 0 до -70°C : а — сталь 10—МЖ2; б — сталь 10—Бр. ОЖ4-2; в — сталь 10—ЛЖ90-2 [69]

Key to page 102

- 1) continued
- 2) material state
- 3) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 4) t_{kr} , $^{\circ}\text{C}$, at $a_{n\min} \leq 4 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 5) normalized
- 6) quenched
- 7) quenched and tempered
- 8) below -100
- 9) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.12 C 0.27 Si, 0.019 P, 0.022 S. 2. Rod 35 mm in diameter was used for the studies. 3. The maximum and minimum impact-strength values are listed in the table.
- 10) ultimate shear strength, kg/mm^2
- 11) ultimate tensile strength, kg/mm^2
- 12) temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 13) Fig. 25. Change in strength of joint formed between base metal and cladding in bimetals. 1) Steel 10 - MZh2; 2) steel 10 - Br. OZh4-2; 3) steel 10 - LZh90-2 in testing for: a) shear strength; b) tensile strength in temperature interval from 0 to -70°C [69].
- 14) a_n
- 15) Fig. 26. Change in mechanical properties of steel 10 copper-alloy bimetals in temperature interval from 0 to -70°C . a) Steel 10 - MZh2; b) steel 10 - Br. OZh4-2; c) steel 10 - LZh90-2 [69].

Рис. 27 Ударная вязкость термически обработанного прутка диаметром 55 мм из стали 10



Сталь 15 и 15кп

I. Свойства при +20°С по ГОСТ 1050—60

Химический состав, %

Марка стали	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr
15	0,12—0,19	0,35—0,65	0,17—0,37	0,040	0,040	0,25	0,25
15кп	0,12—0,19	0,25—0,60	Не более 0,7	0,040	0,040	0,25	0,25

Механические свойства

Марка стали	11 HB, кг/мм² не более	12 σ _в , кг/мм²	13 σ _т , кг/мм²	δ ₅ , %	ψ, %	14 Термическая обработка
15	143	38	21	27	55	Нормализация
15кп	—	36	23	29	55	„

Примечание. Твердость дана для горячекатаной стали.

Назначение — для изготовления мелких малонагруженных деталей простой конфигурации, работающих на истирание (цементируемые и цинкируемые втулки, пальцы и детали после холодной высадки).

II. Физические свойства при низких температурах

Теплопроводность

Марка стали	16 Термическая обработка	3 Температура, °С	21 λ, Вт/м·град	22 Литература	Марка стали	16 Термическая обработка	3 Температура, °С	21 λ, Вт/м·град	22 Литература
15	Нормализация при 965°С, отпуск при 505°С	+100 0 —100 —150	51,9 52,0 49,3 46,7	[151]	15кп	Отжиг при 800°С	—243,2 —251,44 —253,88 —255,94 —258,1	30,60 24,40 20,90 18,60 15,40	[150]
15кп		—180,1 —197,0	56,80 52,34						

Key to page 104

- 1) Fig. 27. Impact strength of 55-mm diameter heat-treated steel 10 rod (0.13% C, 0.58% Mn, 0.27% Si, 0.03% S, 0.022% P, 0.07% Cr, 0.11% Ni, 0.14% Cu, 0.053% Al). Quenched from 900-930°C in 8-10% NaOH solution, tempered at 300-350°C [41].
- 2) a_n , kg·m/cm²
- 3) temperature, °C
- 4) Steel 15 and 15kp
- 5) I. Properties at +20°C according to GOST 1050-60
- 6) chemical composition, %
- 7) steel type
- 8) not above
- 9) 15kp
- 10) mechanical properties
- 11) HB, kg/mm², not above
- 12) σ_v , kg/mm²
- 13) σ_t , kg/mm²
- 14) heat treatment
- 15) not below
- 16) normalizing
- 17) Note. Hardness is given for the hot-rolled steel
- 18) Application - for production of small light-duty components of simple configuration, operating under abrasive conditions (case-hardened sleeves, pins and parts subjected to cold upsetting).
- 19) II. Physical properties at low temperatures
- 20) thermal conductivity
- 21) W/m·degree
- 22) source
- 23) normalizing at 955°C
- 24) annealing at 800°C

2 Примечание.

1 Продолжение

3 1. Химический состав сталей, %

4 Марка стали	C	Si	Mn	4 Марка стали	C	Si	Mn
15	0,15	0,15	0,55	5 15кп	0,14	0,08	0,07

6 III. Механические свойства при низких температурах

7 Прочность при растяжении [152]

8 Темпера- тура, °C	9 $\sigma_{\text{в}}$, кг/мм ²	10 $\sigma_{\text{т}}$, кг/мм ²	11 δ , %	12 ψ , %	8 Темпера- тура, °C	9 $\sigma_{\text{в}}$, кг/мм ²	10 $\sigma_{\text{т}}$, кг/мм ²	11 δ , %	12 ψ , %
+20	47,7	36,1	31,8	66,3	-120	59,3	56,3—37,4	39,4	64,0
-10	52,5	39,6	35,4	66,3	-140	62,2	65,8—44,6	64,0	64,0
-40	52,9	42,6	31,3	65,2	-161	71,8	81,2—58,7	34,8	57,8
-70	56,1	49,1—35,1	36,8	65,2	-183	77,8	91,2—68,5	6,5	4,5
-100	59,0	54,2—38,2	38,8	65,2	-195	80,3	91,6—75,0	4,0	0,5

11 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,15C; 0,25 Si; 0,48Mn; 0,029 S; 0,010P.
2. Приведены данные для немецкой стали, идентичной по химическому составу стали 15.

12 Ударная вязкость (данные Института нефте- и углехимического синтеза)

13 Вид полуфабриката	14 Состояние материала	15 $a_{\text{н}}$, кг·м/см ² , при температуре, °C						16 $T_{\text{кр}}$, °C, при $a_{\text{н}} \leq 1 \text{ кг·м/см}^2$
		+20	-20	-40	-60	-80	-100	
17 Лист толщиной 40 мм	18 Горячекатаный	11,5—7,4	8,8—7,6	2,6—1,4	1,4—1,4	0,8—0,8	0,8—0,8	-30
	19 Отожженный	8,6—8,4	5,8—5,0	3,6—1,4	0,8—0,8	0,6—0,6	0,6—0,6	-30
	20 Нормализованный	12,4—12,2	8,2—5,4	6,8—6,6	6,6—4,9	—	0,5—0,5	Ниже -60
	21 Закаленный и отпущенный	12,1—11,7	12,5—9,3	10,3—8,7	6,62—6,0	5,1—5,1	4,0—4,0	-100
22 Полоса 12x120 мм	18 Горячекатаный	15,0—14,4	16,2—9,0	1,0—0,5	0,5—0,3	—	—	-30
	19 Отожженный	19,0—10,4	0,7—0,3	0,5—0,3	0,5—0,3	—	—	0
	20 Нормализованный	17,4—15,6	15,0—7,0	1,0—0,5	0,6—0,6	—	—	-30
	21 Закаленный и отпущенный	27,0—19,8	15,2—13,8	12,3—3,0	1,8—0,3	—	—	-40

23 Примечания:

24 1. Химический состав стали, %

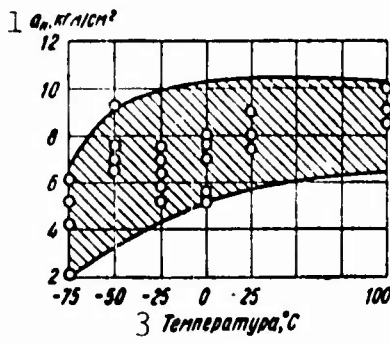
13 Вид полуфабриката	C	Mn	Si	P	S
17 Лист толщиной 40 мм	0,135	0,53	0,22	0,033	0,029
22 Полоса 12 x 120 мм	0,150	0,54	0,25	0,026	0,038

25 2. В таблице приведены максимальные и минимальные значения ударной вязкости.

Key to page 106

- 1) continued
- 2) Note.
- 3) 1. Chemical composition of steels, %
- 4) steel type
- 5) 15kp
- 6) III. Mechanical properties at low temperatures
- 7) tensile strength [152]
- 8) temperature, °C
- 9) σ_v , kg/mm²
- 10) σ_t , kg/mm²
- 11) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.15 C, 0.25 Si, 0.48 Mn, 0.029 S, 0.010 P. 2. Data are listed for a German steel identical to steel 15 with respect to chemical composition.
- 12) impact strength (data of the Institute of Petrochemical and Coal Tar Synthesis)
- 13) type of semiproduct
- 14) material state
- 15) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 16) t_{kr} , °C at $a_{nmin} \leq 4$ kg·m/cm²
- 17) sheet 40 mm thick
- 18) hot-rolled
- 19) annealed
- 20) normalized
- 21) quenched and tempered
- 22) 12 × 120 mm strip
- 23) Notes.
- 24) 1. Chemical composition of steel, %
- 25) 2. The maximum and minimum impact-strength values are listed in the table.

Рис. 28. Ударная вязкость термически обработанного прутка диаметром 55 мм из стали 15 (0,16% С; 0,62% Мп; 0,24% Si; 0,32% S; 0,026% Р; 0,10% Cr; 0,13% Ni; 0,026% Al). Закалка с 900—930° С в 8—10%-ном растворе NaOH, отпуск при 390—350° С [41]



4 Сталь 20 и 20кп

5 I. Свойства при +20° С по ГОСТ 1050—60

6 Химический состав, %

7 Марка стали	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr
				8 не более			
20	0,17—0,24	0,35—0,65	0,17—0,37	0,040	0,040	0,25	0,25
20кп	0,17—0,24	0,25—0,50	не более 0,07	0,040	0,040	0,25	0,25

10 Механические свойства (после нормализации)

7 Марка стали	11 НВ, кг/мм² не более	12 σ_B , кг/мм²	13 σ_T , кг/мм²	14 δ_5 , %	15 ψ , %
		14 не менее			
20	156	42	25	25	55
20кп		39	23	27	55

15 Примечание. Твердость дана для горячекатаной стали.

16 Назначение — для изготовления деталей сварных сосудов, аппаратов, деталей поршневых детандеров (цементированные пальцы, кулачки, распределительные валики), а также трубопроводов высокого давления [23].

17 II. Физические свойства при низких температурах

18 Коэффициент линейного расширения

19 Теплопроводность [60]

20 Интервал температур, °C	21 $\alpha \cdot 10^6$, 1/град	22 λ , вт/м·град	
		3 Температура, °C	4
+20+(+100)	11,2	+100	52,5
—173+(—193)	5	—195	26,50
—233+(—253)	0,5	—255	7,41

23 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,21C; 0,24Si; 0,71Mn; 0,032S; 0,031P. 2. Для исследований применяли сталь 20, отожженную при 860° С в течение 30 мин.

Key to page 108

- 1) a_n , kg·m/cm²
- 2) Fig. 28. Impact strength of heat-treated steel 15 rod 15 mm in diameter (0.16% C, 0.62% Mn, 0.24% Si, 0.32% S, 0.026% P, 0.10% Cr, 0.13% Ni, 0.026 Al). Quenching from 900-930°C in 8-10% NaOH solution, tempering at 300-350°C [41].
- 3) temperature, °C
- 4) Steel 20 and 20kp
- 5) I. Properties at +20°C according to GOST 1050-60
- 6) chemical composition, %
- 7) steel type
- 8) not above
- 9) 20kp
- 10) mechanical properties (after normalizing)
- 11) HB, kg/mm² not above
- 12) σ_v , kg/mm²
- 13) σ_t , kg/mm²
- 14) not below
- 15) Note. Hardness is given for the hot-rolled steel.
- 16) Application - for production of components of welded vessels and equipment, and components of piston engines (case-hardened piston pins, cams and camshafts), as well as high-pressure pipelines [23].
- 17) II. Physical properties at low temperatures
- 18) coefficient of linear expansion
- 19) thermal conductivity
- 20) temperature interval, °C
- 21) deg⁻¹
- 22) W/m·degree
- 23) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.21 C, 0.24 Si, 0.71 Mn, 0.032 S, 0.031 P. 2. Steel 20 annealed at 860°C for 30 minutes was used for the studies.

III. Механические свойства при низких температурах

2 Прочность при растяжении

3 Марка стали	4 Вид полу- фабриката	5 Состояние материала	6 Температура испытания, °C	7 σ_B , кг/мм ²	8 σ_T , кг/мм ²	9 δ , %	10 ψ , %	11 S_k , кг/мм ²	12 R_B , кг/мм ²	13 Литература
20	Прокат	—	20 —10 —40 —70 —100 —120 —140 —161 —183 —195	51,7 55,4 55,4 61,8 63,7 63,6 68,2 74,5 81,2 86,6	37,3 39,8 38,6 35,7—40,7 41,4—51,1 42,1—56,1 44,6—65,8 59,0—79,5 70,6—89,0 78,2—92,8	29,1 29,6 33,0 34,8 30,8 34,3 34,3 — 8,6 5,6	65,1 65,1 64,0 62,8 64,0 60,3 60,3 65,8 6,1 3,6	—	—	[152]
20	Пруток	Отож- женный при 800°С	17 —196 —253	43 93 116	— — —	30 21 0	76 33 5	—	—	[5]
20*	Пруток	То же при 880°С	17 —196 —253	49 87 106	29 80 —	29 12 0	64 10 2	—	—	[5]
15 20кп	Пруток	Норма- лизованный при 840°С	20 —160	44,3 76,3	26,8 71,5	34,8 21,8	69,4 54,0	112,3 132,6	— 146	[70]
15 20кп	Пруток	Зака- ленный при 840°С в воде и отпу- щенный при 100°С	20 —160	123,6 159,0	107,4 144,4	5,5 5,0	16,7 19,5	147,0 188,5	193,7 259,5	[70]

18 Примечания:

19 1. Химический состав сталей, %

3 Марка стали	C	Si	Mn	Cu	S	P
20	0,20	0,23	0,52	—	0,028	0,011
20*	0,21	0,24	0,71	—	0,032	0,031
15 20кп	0,19	20 Следы	0,42	0,12	0,033	0,023

21

2. У стали 20кп удлинение дано для δ_5 .

3. R_B — хрупкая прочность, найденная по методу Г. В. Ужика.

4. Приведенные данные [152] для немецкой стали, идентичны по химическому составу стали 20.

Key to page 110

- 1) III. Mechanical properties at low temperatures
- 2) tensile strength
- 3) steel type
- 4) type of semiproduct
- 5) material state
- 6) temperature interval, °C
- 7) σ_v , kg/mm²
- 8) σ_t , kg/mm²
- 9) S_k , kg/mm²
- 10) R_B , kg/mm²
- 11) source
- 12) rolled stock
- 13) annealed at 800°C
- 14) same at 880°C
- 15) 20kp
- 16) normalized at 840°C
- 17) quenched at 840°C in water and tempered at 100°C
- 18) Notes.
- 19) 1. Chemical composition of steels, %
- 20) traces
- 21) 2. In the case of steel 20kp, the elongation is given for δ_5 . 3. R_B is the brittle strength found in accordance with the method of G.V. Uzhik. 4. Data are presented [152] for a German steel identical to steel 20 with respect to chemical composition.

1 Влияние термической обработки на ударную вязкость стали 20
(данные Института нефте-и углехимического синтеза)

3 Марка стали	4 Вид полу- фабриката	5 Состояние материала	2 σ_H , кг·м/см ² , при температуре, °C						6 T _{кр.} , °C, при σ_H , кг·м/см ²
			20	-20	-40	-60	-80	-100	
20	9 Пру- ток диа- ме- тром 20 мм	7 Горяче- катаный	15,4— 13,9	10,8— 7,3	9,8— 9,4	7,2— 4,5	8,0— 1,3	1,0— 1,0	-70
		8 Отож- женный	17,9— 16,1	11,5— 10,6	9,7— 7,8	5,8— 4,2	0,6— 0,6	0,4— 0,4	-70
		10 Норма- лизованный	26,6— 25,4	15,3— 14,3	13,7— 9,1	12,8— 9,0	5,7— 4,6	1,4— 0,8	-90
		11 Зака- ленный и отпу- щенный	27,0— 24,8	25,5— 24,4	26,4— 24,8	22,9— 21,4	15,2— 13,7	11,5— 11,3	12 Ниже -100
20	13 Пру- ток диа- ме- тром 40 мм	7 Горяче- катаный	12,5— 11,5	7,5— 6,5	2,7— 2,4	1,0— 0,6	0,5— 0,3	0,8— 0,6	-30
		8 Отож- женный	12,0— 12,0	7,1— 6,7	5,1— 4,5	1,1— 1	0,8— 0,6	0,5— 0,3	-50
		10 Норма- лизованный	16,4— 15,8	11,3— 11,0	9,3— 8,2	3,9— 1,5	1,3— 1,3	0,9— 0,9	-60
		11 Зака- ленный и отпу- щенный	23,6— 23,3	24,2— 22,4	17,2— 16,8	21,2— 15,6	13,4— 12,7	10,9— 10,4	12 Ниже -100
15 20кп	14 Поло- са 12× 60 мм	8 Отож- женный	14,6— 13,5	4,2— 4,2	1,5— 1,5	1,5— 1,5	1,1— 0,5	0,8— 0,4	-20
		16 Норма- лизованный и отпу- щенный	23,5— 23,0	18,4— 13,4	15,0— 13,0	8,2— 0,9	0,6— 0,6	0,8— 0,6	-60

Key to page 112

- 1) influence of heat treatment on impact strength of steel 20
(data of the Institute of Petrochemical and Coal Tar Synthesis)
- 2) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 3) steel type
- 4) type of semiproduct
- 5) material state
- 6) t_{kr} , °C, at $a_{nmin} \leq 4$ kg·m/cm²
- 7) hot-rolled
- 8) annealed
- 9) rod 20 mm in diameter
- 10) normalized
- 11) quenched and tempered
- 12) below -100
- 13) rod 40 mm in diameter
- 14) 12 × 60 mm strip
- 15) 20kp
- 16) normalized and tempered

1 Продолжение

2 Марка стали	3 Вид полу- фабриката	4 Состояние материала	5 a_n , кг·м/см², при температуре, °C						6 Тер. при a_n при 4 кг·м/см²
			+20	-20	-40	-60	-80	-100	
7 20кп	8 Полоса 12×60 мм	Заключенный и отпущенный	26,2— 26,2	22,7— 20,4	31,0— 17,4	17,8— 17,8	13,0— 11,6	12,3— 0,9	-90

10 Примечания:

1. Химический состав стали, %

3 Вид полуфабриката	C	Si	Mn	P	S
12 Прутки диаметром 20 мм	0,20	0,30	0,58	0,023	0,026
8 Полоса 12 × 60 мм	0,20	0,25	0,56	0,024	0,033
	0,24	0,09	0,36	0,016	0,028

13 2. В таблице приведены максимальные и минимальные значения ударной вязкости.

14 IV. Свойства сварных соединений при низких температурах

15 Ударная вязкость сварных швов стали 20 [23]

16 Сечение трубы, мм	17 Место вырезки образцов	5 a_n , кг·м/см², при температуре, °C					18 Вид сварки
		+20	-30	-50	-70	-100	
19 Всех сечений	20 Шов	13,7—23,6 18,8	13,6—26,5 19,0	1,8—24,6 13,6	0,0—6,0 2,0	0,3—0,9 0,6	21 Ручная
229× ×36	20 Шов	11,1—13,9 12,9	8,1—11,0 9,6	8,2—9,8 9,0	0,9—6,7 3,0	0,6—0,6 0,6	Автоматическая
	22 Основ- ной металл	11,7—13,2 12,2	2,5—9,0 6,2	1,5—1,7 1,6	0,0—0,7 0,4	—	23

10 Примечания:

1. Химический состав стали, %

24 Металл	C	Mn	Si	S	P
25 Основной	0,19	0,52	0,26	0,028	0,025
26 Шва ручной сварки	0,10	0,60	0,32	0,021	0,014
27 Шва автоматической сварки	0,09	0,88	0,39	0,027	—

28 2. Ручную сварку выполняли электродом УОНИ-13/45 диаметром 4 мм; автоматическую — проволокой Св-08А диаметром 2 мм под флюсом АН-348.

3. В числителе приведены пределы, а в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

Key to page 114

- 1) continued
- 2) steel type
- 3) type of semiproduct
- 4) material state
- 5) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 6) t_{kr} , °C, at $a_{nmin} \leq 4$ kg·m/cm²
- 7) 20kp
- 8) 12 × 60 mm strip
- 9) quenched and tempered
- 10) Notes.
- 11) 1. Chemical composition of steel, %
- 12) rod 20 mm in diameter
- 13) 2. The maximum and minimum impact-strength values are listed in the table
- 14) IV. Properties of welded joints at low temperatures
- 15) impact strength of welds in steel 20 [23]
- 16) tube section, mm
- 17) location of specimen cut
- 18) type of welding
- 19) all sections
- 20) weld
- 21) manual
- 22) base metal
- 23) automatic
- 24) metal
- 25) base
- 26) manually formed weld
- 27) automatically formed weld
- 28) 2. Manual welding was performed with UONI-13/45 electrode 4 mm in diameter; automatic welding was performed with Sv-08A wire 2 mm in diameter under AN-348 flux. 3. The limits are given in the numerator and the average impact-strength values in the denominator.

Рис. 29. Зависимость ударной вязкости стали 20 (0,20% С; 0,46% Мп; 0,24% Si; 0,018% Р; 0,020% S) в исходном состоянии от направления вырезки образцов и температуры испытания: 1 — продольные; 2 — поперечные. Образцы вырезаны из трубы диаметром 174 × 120 мм [71]

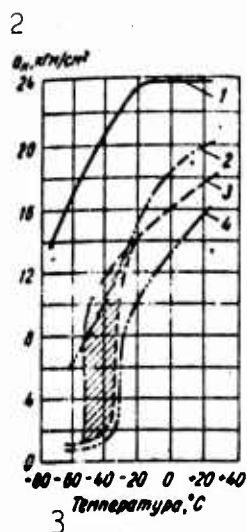
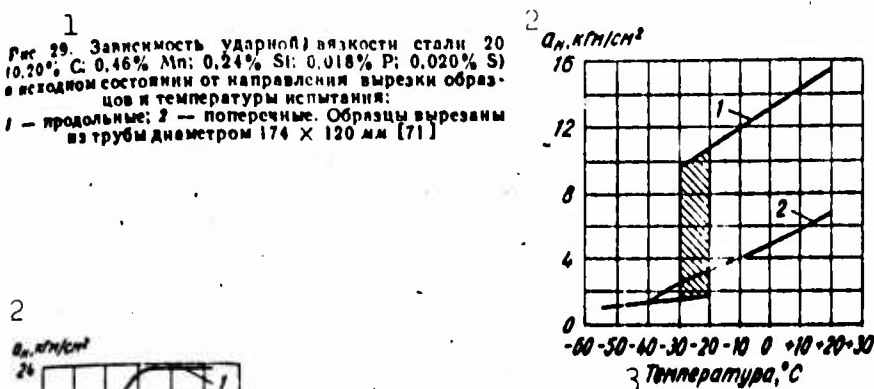


Рис. 30. Ударная вязкость стали 20 (0,20% С; 0,46% Мп; 0,24% Si; 0,018% Р; 0,020% S) в зависимости от термической обработки и температуры испытания: 1 — закалка с 900° С в воде, отпуск 600° С; 2 — нормализация 920° С, охлаждение на воздухе; 3 — нормализация 920° С, охлаждение с обдувкой воздухом; 4 — отжиг при 920° С. Образцы продольные, вырезаны из трубы диаметром 174 × 120 мм [36]

5 Сталь 25.

6 1. Свойства при +20° С по ГОСТ 1050—60

7 Химический состав, %

С	Мп	Si	S	P	Ni	Cr
0,22—0,30	0,50—0,80	0,17—0,37	0,040	0,040	0,25	0,25

9 Механические свойства

10 НВ, кг/мм² не более	11 σ _в , кг/мм²	12 σ _т , кг/мм²	δ ₅ , %	ψ, %	2 a _к кг·м/см²	13 Термическая обработка
не менее						

170	46	28	23	50	9	Нормализация

15 Примечание. Твердость дана для горячекатаной стали.

16 Назначение — для изготовления малонагруженных деталей (осей, валов, фланцев), а также для деталей поршневых детандеров.

5 С. И. Гудков 1028

Key to page 116

- 1) Fig. 29. Relationship between impact strength of steel 20 (0.20% C, 0.46% Mn, 0.24% Si, 0.018% P, 0.020% S) in initial state and direction of specimen grooving and test temperature. 1) lengthwise; 2) crosswise. Specimens are cut from tube 174 mm by 120 mm in diameter [71].
- 2) a_n , kg·m/cm²
- 3) temperature, °C
- 4) Fig. 30. Impact strength of steel 20 (0.20% C, 0.46% Mn, 0.24% Si, 0.018% P, 0.020% S) as function of heat treatment and test temperature. 1) quenched from 900°C in water, tempered at 600°C; 2) normalizing at 920°C, cooling in air; 3) normalizing at 920°C, cooling with forced air; 4) annealing at 920°C. Longitudinal specimens cut from tube 174 mm by 120 mm in diameter [35].
- 5) Steel 25
- 6) I. Properties at +20°C according to GOST 1050-60
- 7) chemical composition, %
- 8) not above
- 9) mechanical properties
- 10) HB, kg/mm² not above
- 11) σ_v , kg/mm²
- 12) σ_t , kg/mm²
- 13) heat treatment
- 14) normalizing
- 15) Note. Hardness is given for the hot-rolled steel
- 16) Application - for production of lightly loaded components (axles, shafts, flanges), as well as for piston-engine components.

1 II. Физические свойства при низких температурах

2 Теплопроводность [60]

3 Температура, °C	4 λ , вт/м·град
+20	52,3
-195	23,53
-255	6,74

5 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,25C; 0,22 Si; 0,59Mn; 0,020S; 0,025P.
2. Для исследований применяли сталь, отожженную при 890° C в течение 30 мин.

6 III. Механические свойства при низких температурах

7 Прочность при растяжении

8 Вид полуфабриката	9 Термическая обработка	10 Температура испытания, °C	11 σ_B , кг/мм ²	12 σ_T , кг/мм ²	13 δ , %	14 ψ , %	15 Литература
14 Лист толщиной 3 мм	15 Нормализация	20	45,5	32,2	41,1	—	[61]
		-50	53,2	31,2	43,5		
		-74	55,3	36,9	44,9		
		-100	58,6	43,0	44,2		
		-193	90,6	76,5	27,0		
16 Прутки	17 Отжиг при 800° C в течение часа	+17	52	32	32	66	[5]
		-196	93	21	21	3	
		-253	126	0	0	2	
	18 Отжиг при 860° C в течение часа	+17	50	34	29	67	[5]
		-196	92	88	20	37	
		-253	117	—	0	4	

19 Примечания:

20 1. Химический состав стали, %

8 Вид полуфабриката	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr
14 Лист толщиной 3 мм	0,27	0,62	0,23	0,021	0,024	0,09	0,05
16 Прутки	0,25	0,59	0,22	0,020	0,025	—	—

21 2. Удлинение листа определено для δ_{10} .

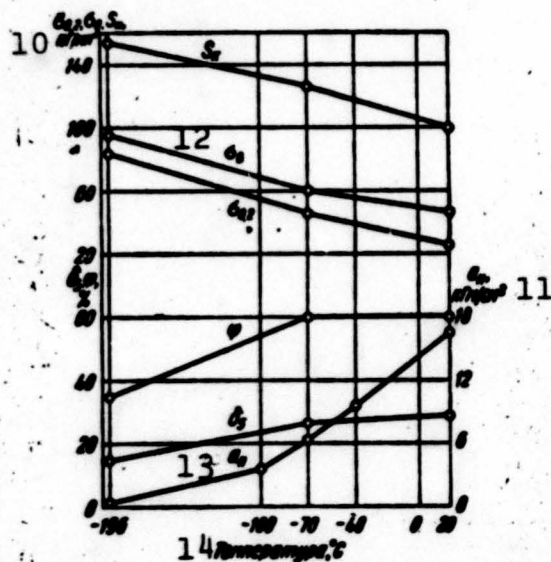
Key to page 118

- 1) II. Physical properties at low temperatures
- 2) thermal conductivity [60]
- 3) temperature, °C
- 4) λ , W/m·degree
- 5) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.25 C, 0.22 Si, 0.59 Mn; 0.020 S, 0.025 P. 2. Steel annealed at 890°C for 30 minutes was used for the studies.
- 6) III. Mechanical properties at low temperatures
- 7) tensile strength
- 8) type of semiproduct
- 9) heat treatment
- 10) test temperature, °C
- 11) σ_v , kg/mm²
- 12) σ_t , kg/mm²
- 13) source
- 14) sheet 3 mm thick
- 15) normalizing
- 16) rod
- 17) annealing at 800°C for 1 hour
- 18) annealing at 860°C for 1 hour
- 19) Notes.
- 20) 1. Chemical composition of steel, %
- 21) 2. Sheet elongation determined for δ_{10}

1 Влияние термической обработки на ударную вязкость стали 25
(данные Института нефте- и углехимического синтеза)

2 Состояние материала	3 σ_H , кг·м/см ² , при температуре, °C					4 $T_{кр}$, °C, при $\sigma_H \leq 4$ кг·м/см ²
	+20	-20	-40	-60	-80	
5 Горючекатаный . .	16,0—6,9	1,8—1,4	1,6—0,9	2,3—0,5	0,4—0,4	-10
6 Отожженный . . .	14,8—13,9	6,9—2,9	4,5—2,5	0,8—0,8	0,6—0,3	-20
7 Нормализованный	20,0—19,8	15,2—9,9	11,8—4,4	5,0—3,8	4,4—0,7	-60
8 Закаленный и отпу- щенный	23,6—21,8	20,1—18,9	19,5—18,0	8,8—8,3	1,3—1,1	-70

9 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,24C; 0,59Mn; 0,23Si; 0,020P
0,030S.
2. Для исследований применили пруток диаметром 120 мм.
3. В таблице приведены минимальные и максимальные значения ударной вязкости.



15 Рис. 31. Механические свойства стали 25 при низких температурах, нормализованной при 920° C (78)

Key to page 120

- 1) influence of heat treatment on impact strength of steel 25 (data of the Institute of Petrochemical and Coal Tar Synthesis)
- 2) material state
- 3) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 4) t_{kr} , $^{\circ}\text{C}$, at $a_{n\min} \leq 4 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 5) hot-rolled
- 6) annealed
- 7) normalized
- 8) quenched and tempered
- 9) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.24 C, 0.59 Mn, 0.23 Si, 0.020 P, 0.030 S. 2. A rod 120 mm in diameter was used for the studies. 3. The maximum and minimum impact-strength values are listed in the table.
- 10) kg/mm^2
- 11) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 12) σ_v
- 13) a_n
- 14) temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 15) Fig. 31 Low-temperature mechanical properties of steel 25 normalized at 920°C [73].

1 Сталь 35

2 I. Свойства при +20°С по ГОСТ 1050—60

3 Химический состав, %

4 Содержание элементов, %

C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr
5 не более						
0,32—0,40	0,50—0,80	0,17—0,37	0,040	0,040	0,25	0,25

6 Механические свойства

7 HB, кг/мм² не более	8 σ_B кг/мм²	9 σ_T кг/мм²	10 δ_{10} , %	11 ψ , %	12 α_{10} кг·м/см²	13 Термическая обработка
12 не менее						
187	54	32	20	45	7	13 Нормализация

14 Примечание. Твердость дана для горячекатаной стали.

15 Назначения — для изготовления малонагруженных деталей в нормализованном или улучшенном состоянии (валов, шестерен, шпилек, болтов, гаек).

16 II. Физические свойства при низких температурах

17 Коэффициент линейного расширения [74]

18 Теплопроводность [60]

19 Интервал температур, °С	20 $\alpha \cdot 10^6$, 1/град	21 Температура, °С	22 λ , вт/м·град
+20—(+100)	11,1	+100	75,1
+20—(—40)	10,4	—195	22,86
+20—(—100)	9,0	—253	6,36
+20—(—183)	8,0		
—40—(—183)	7,6		
—100—(—183)	6,5		

23 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,38C; 0,62Mn; 0,30Si; 0,040S; 0,032P.
2. Сталь испытана в нормализованном состоянии.

24 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,34C; 0,76Mn; 0,35Si; 0,032S; 0,035P.
2. Для исследований применяли сталь, отожженную при 790°С в течение 30 мин.

25 III. Механические свойства при низких температурах

26 Прочность при растяжении [5]

11 Термическая обработка	21 Темпера- тура, °С	8 σ_B кг/мм²	9 σ_T кг/мм²	10 δ , %	11 ψ , %
27 Ожиг при 800°С в течение часа	+17 —196 —253	65 108 125	— — —	20 10 —	54 6 5

Key to page 122

- 1) Steel 35
- 2) I. Properties at +20°C according to GOST 1050-60
- 3) chemical composition, %
- 4) element content, %
- 5) not above
- 6) mechanical properties
- 7) HB, kg/mm² not above
- 8) σ_v , kg/mm²
- 9) σ_t , kg/mm²
- 10) a_n , kg·m/cm²
- 11) heat treatment
- 12) not below
- 13) normalizing
- 14) Note. Hardness is given for the hot-rolled steel.
- 15) Application - for production of light-duty components in normalized or improved state (shafts, pinions, threaded studs, bolts and nuts).
- 16) II. Physical properties at low temperatures
- 17) coefficient of linear expansion [74]
- 18) thermal conductivity [60]
- 19) temperature interval, °C
- 20) $a \cdot 10^6$, deg⁻¹
- 21) temperature, °C
- 22) λ , W/m·degree
- 23) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.38 C, 0.62 Mn, 0.30 Si, 0.040 S, 0.032 P. 2. Steel is tested in normalized state.
- 24) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.34 C, 0.76 Mn, 0.35 Si, 0.032 S, 0.035 P. 2. Steel annealed at 790°C for 30 minutes was used for the studies.
- 25) III. Mechanical properties at low temperatures
- 26) tensile strength [5]
- 27) annealing at 800°C for 1 hour

1 Продолжение

2 Термическая обработка	3 Температура, °C	4 σ_B , кг/мм ²	5 σ_T , кг/мм ²	6, %	7, %
6 Отжиг при 840°С в течение часа	+17 -196 -253	65 92 106	35 90 —	22 2 —	45 3 —

7 Примечание. Химический состав стали, %: 0,34C; 0,76Mn; 0,35 Si; 0,032 S; 0,035 P.

8 Ударная вязкость [72]

3 Температура, °C	+20	-10	-30	-50	-60
9 a_K , кг·м/см ²	6,39	4,75	4,60	1,44	1,18

10 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,36C; 0,53Mn; 0,018 S; 0,029 P.
2. Для исследований применяли образцы Шарпи.

11 Сталь 40

12 I. Свойства при +20°С по ГОСТ 1050—80

13 Химический состав, %

C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr
14 не более						
0,37—0,45	0,50—0,80	0,17—0,37	0,040	0,040	0,25	0,25

15 Механические свойства

16 H_B , кг/мм ² не более	4 σ_B , кг/мм ²	5 σ_T , кг/мм ²	6, %	7, %	9 a_K , кг·м/см ²	2 Термическая обработка
17 не менее						
187° 217°*	58	34	19	45	6	Нормализация
						18

19 * Для отожженной стали.
** Для горячекатаной стали.

20 Примечание — для изготовления деталей повышенной прочности в нормализованном улучшенном состоянии или поверхностей, подвергаемых термической обработке (колебательные валы, шатуны, распределительные валки, шпонки и т. д.).

Key to page 124

- 1) continued
- 2) heat treatment
- 3) temperature, °C
- 4) σ_v , kg/mm²
- 5) σ_t , kg/mm²
- 6) annealing at 840°C for 1 hour
- 7) Note. Chemical composition of steel, %: 0.34 C, 0.76 Mn, 0.35 Si, 0.032 S, 0.035 P.
- 8) impact strength [72]
- 9) a_n , kg·m/cm²
- 10) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.36 C, 0.53 Mn, 0.018 S, 0.029 P. 2. Charpy specimens were used for the studies.
- 11) steel 40
- 12) I. Properties at +20°C according to GOST 1050-60
- 13) Chemical composition, %
- 14) not above
- 15) mechanical properties
- 16) HB, kg/mm² not above
- 17) not below
- 18) normalizing
- 19) *for annealed steel. ** for hot-rolled steel
- 20) Application - for production of increased-strength components in the normalized improved state, or surfaces subjected to heat treating (crankshafts, connecting rods, camshafts, keys, etc.)

1 II. Физические свойства при низких температурах

2 Коэффициент линейного расширения [74]

4 Интервал температур, °C	5 $\alpha \cdot 10^6$, 1/град
+20—(—40)	10,4
+20—(—100)	9,4
+20—(—183)	7,6
—40—(—100)	7,6
—100—(—183)	5,5

9 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,40C; 0,72Mn; 0,42 Si; 0,025 S; 0,032P.

2. Сталь испытана в нормализованном состоянии.

3 Теплопроводность

6 Температура, °C	7 λ , вт/м·град	8 Литература
+17	50,66	[60]
—195	24,37	
—255	6,74	
—258,1	10,01	[153]
—258,1	6,49	
—263	3,27	
—268,1	1,63	
—270,1	0,75	

10 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,40C; 0,79Mn; 0,33 Si; 0,026 S; 0,043P.

2. Термическая обработка: отжиг 835° С в течение 30 мин.

11 III. Механические свойства при низких температурах

12 Прочность при растяжении

13	14 Вид полуфабриката	15 Термическая обработка	6 Температура, °C	16 σ_b , кг/мм ²	17 σ_t , кг/мм ²	18 δ , %	19 ψ , %	8 Литература
1	18 Прутки	—	+20 —4 —25 —50 —100 —120 —140 —161 —183 —195	65,9 69,7 67,8 76,2 76,8 82,7 89,4 94,1 106,1 107,0	43,8 46,4 48,9 55,4 63,0—46,3 65,5—54,4 80,2—62,4 88,6—77,8 101,8—94,0 107,6—101,0	24,3 25,1 23,5 23,9 33,4 25,9 24,2 23,5 18,6 2,6	56,0 53,3 52,2 32,2 32,0 49,3 47,6 45,0 18,7 2,9	[152]
2	18 Прутки	19 Отжиг при 800° С в течение часа	+17 —196 —253	59 106 141	— — —	21 18 0	68 45 3	[5]
3	18 Прутки	20 Отжиг при 835° С в течение часа	+17 —196 —253	64 102 111	38 94 —	22 6 —	43 5 —	[5]

Key to page 126

- 1) II. Physical properties at low temperatures
- 2) coefficient of linear expansion [74]
- 3) thermal conductivity
- 4) temperature interval, °C
- 5) $\alpha \cdot 10^6$, deg⁻¹
- 6) temperature, °C
- 7) λ , W/m·degree
- 8) source
- 9) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.40 C, 0.72 Mn, 0.42 Si, 0.025 S, 0.032 P. 2. The steel is tested in the normalized state.
- 10) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.40 C, 0.79 Mn, 0.33 Si, 0.026 S, 0.043 P. 2. Heat treatment: annealing at 835°C for 30 minutes.
- 11) III. Mechanical properties at low temperature
- 12) tensile strength
- 13) No.
- 14) type of semiproduct
- 15) heat treatment
- 16) σ_v , kg/mm²
- 17) σ_t , kg/mm²
- 18) rod
- 19) annealing at 800°C for 1 hour
- 20) annealing at 830°C for 1 hour

1 Продолжение

2 № пп	3 Вид полуфабриката	4 Термическая обработка	5 Температура, °C	6 σ_b , кг/мм ²	7 σ_T , кг/мм ²	8 δ , %	9 ψ , %	10 Температура, °C
4	9 Прутки	10 Закалка с 820° C в воде. Отпуск при 550° C	+20 —40 —70	95 101,6 101,9	83,8 90,9 90,9	17,0 18,6 10,5	59,2 57,9 57,0	[68]

11 Примечания:

12 1. Химический состав стали, %

2 № пп	C	Mn	Si	P	S	Ni
1	0,40	0,8	0,25	0,040	0,040	—
2, 3	0,40	0,79	0,33	0,043	0,026	—
4	0,44	0,64	0,30	0,034	0,034	0,2

13 2 Приведенные данные [152] для немецкой стали идентичны по химическому составу стали 40.

14 Модуль сдвига [68]

4 Термическая обработка	15 G , кг/мм ² , при температуре, °C	
	+20	—70
16 Закалка с 820° C в воде с отпуском при 550° C и охлаждением в воде	6959	7222

17 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,44C; 0,64Mn; 0,30 Si; 0,034P; 0,034S; 0,2Ni.
2. Для исследований применяли прутки диаметром 20 мм.

18 Ударная вязкость [68]

4 Термическая обработка	19 a_u , кг·м/см ² , при температуре, °C				
	+20	—40	—70	—100	—195
Закалка с 820° C в воде с отпуском при 550° C с охлаждением в воде 16	12,15	7,85	6,28	1,30	0,68

17 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,44C; 0,64Mn; 0,30 Si; 0,034P; 0,034S; 0,2Ni.
2. Для исследований применяли прутки диаметром 20 мм.

Key to page 128

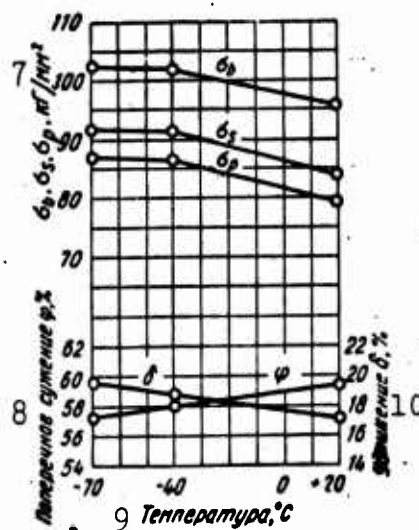
- 1) continued
- 2) No.
- 3) type of semiproduct
- 4) heat treatment
- 5) temperature, °C
- 6) σ_v , kg/mm²
- 7) σ_t , kg/mm²
- 8) source
- 9) rod
- 10) quenching from 820°C in water. Tempering at 550°C
- 11) Notes.
- 12) 1. Chemical composition of steel, %
- 13) 2. The data presented [152] are for a German steel identical to steel 40 with respect to chemical composition.
- 14) shear modulus [68]
- 15) G , kg/mm², at temperature, °C
- 16) quenching from 820°C in water with tempering at 550°C and cooling in water
- 17) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.44 C, 0.64 Mn, 0.30 Si, 0.034 P, 0.034 S, 0.2 Ni. 2. A rod 20 mm in diameter was used for the studies.
- 18) impact strength [68]
- 19) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C

1 IV. Свойства сварных соединений
при низких температурах

2 Ударная вязкость сталей 40, сваренных
в углекислом газе [52]

3 Марка электродной проволоки	4 a_H , кг·м/см ² , при температуре, °C		
	+20	-20	-40
5 Св-08Г2СА	$\frac{6,4-7,1}{6,6}$	$\frac{4,0-5,6}{4,8}$	$\frac{2,6-4,6}{3,6}$

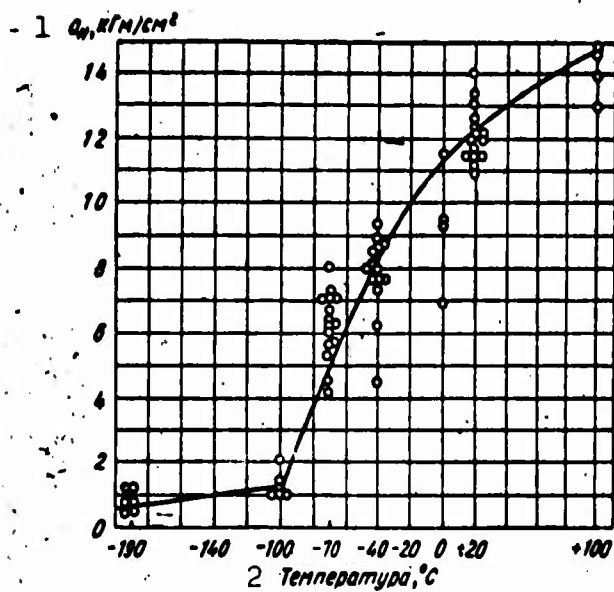
6 П р и м е ч а н и е. В числителе приведены пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.



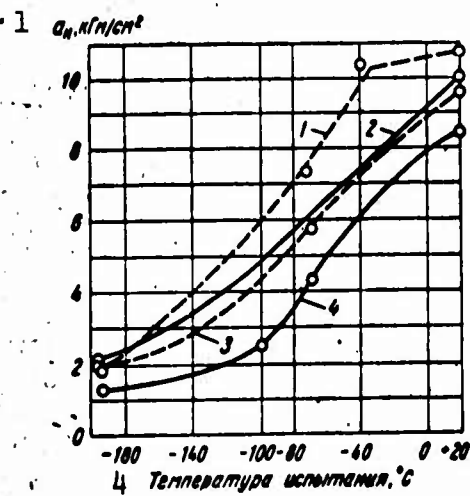
11 Рис. 32. Механические свойства
стали 40 (0,44% С; 0,64 Мп;
0,30% Si; 0,034% S; 0,034% P;
0,2% Ni), закаленной в масле
с 820° С и отпущенной при
650° С] при температурах от
+20 до -70° С [66]

Key to page 130

- 1) IV. Properties of welded joints at low temperatures
- 2) impact strength of steel 40 welds formed in carbon dioxide [52]
- 3) type of wire electrode
- 4) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 5) Sv-08G2SA
- 6) Note. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.
- 7) kg/mm²
- 8) necking
- 9) temperature, °C
- 10) elongation δ , %
- 11) Fig. 32. Mechanical properties of steel 40 (0.44% C, 0.64% Mn, 0.30% Si, 0.034% S, 0.034% P, 0.2% Ni), quenched from 820°C in water, tempered at 550°C, at temperatures from +20 down to -70°C [68].



3 Рис. 33. Ударная вязкость стали 40, закаленной с 820°C в масле и отпущенной при 550°C при температурах от $+100$ до -190°C [68]. Химический состав тот же, что и на рис. 32



5 Рис. 34. Зависимость ударной вязкости стали 40 [(0,39% C; 0,66% Mn; 0,17% Si; 0,23% Ni), закаленной с 830°C в воде и отпущенной при 500°C с охлаждением в воде] при разных температурах от величины зерна [68]:
1 — балл зерна 8; 2 — 7; 3 — 6; 4 — 5

Key to page 132

- 1) a_n , kg·m/cm²
- 2) temperature, °C
- 3) Fig. 33. Impact strength of steel 40, quenched from 820°C in water and tempered at 550°C, at temperatures from +100 down to -190°C [68]. Chemical composition is same as that in Fig. 32.
- 4) test temperature, °C
- 5) Fig. 34. Low-temperature impact strength of steel 40 [(0.39% C, 0.65% Mn, 0.17% Si, 0.23% Ni), quenched from 830°C in water and tempered at 500°C with cooling in water] as a function of grain size [68]. 1) grain fineness 8; 2) 7; 3) 6; 4) 2.

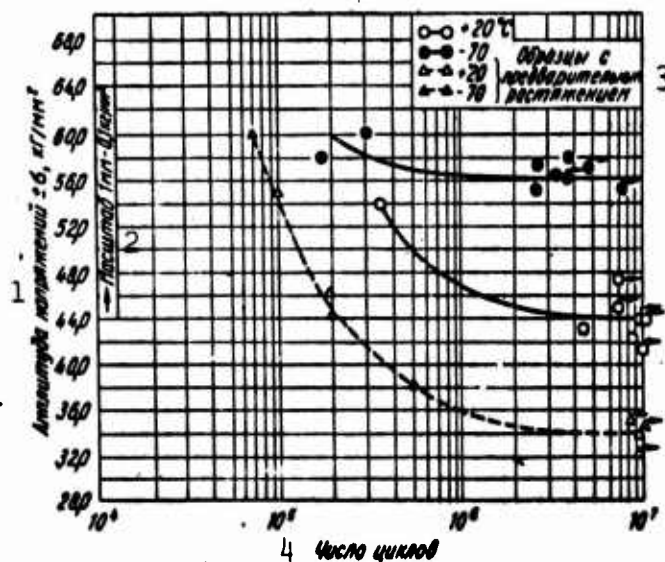


Рис. 35. Предел усталости стали 40, закаленной в воде с 820°C и отпущенной при 550°C при низких температурах [68]

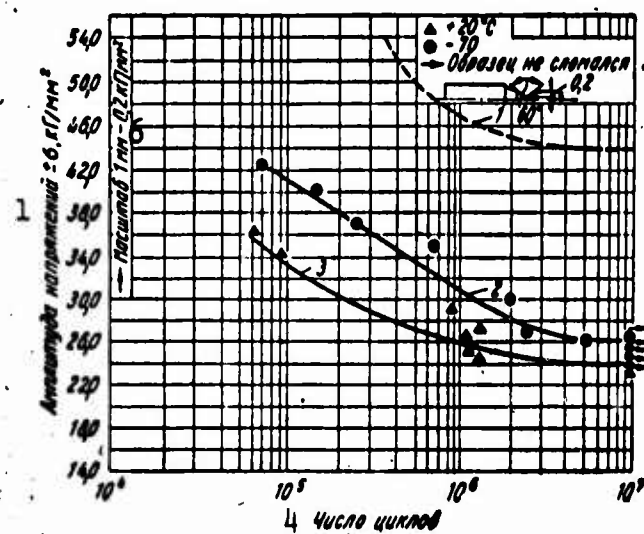


Рис. 36. Влияние надреза и низких температур на предел усталости стали 40, закаленной в воде с 820°C и отпущенной при 550°C : 1 — гладкий образец (не сломался), 2, 3 — надрезанные образцы [68]

Key to page 134

- 1) stress amplitude $\pm \sigma$, kg/mm²
- 2) scale: 1 mm = 0.1 kg/mm²
- 3) pretensioned specimen
- 4) number of cycles
- 5) Fig. 35. Low-temperature fatigue limit of steel 40, quenched in water from 820°C and tempered at 550°C [68].
- 6) scale: 1 mm = 0.2 kg/mm²
- 7) specimen did not fail
- 8) Fig. 36. Influence of notching and low temperatures on fatigue limit of steel 40, quenched in water from 820°C and tempered at 550°C. 1) smooth specimen (did not fail); 2) notched specimens [68].

1 Сталь 45

2 I. Свойства при +20°C по ГОСТ 1050-60

3 Химический состав, %

C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr
4 не более						
0,42—0,50	0,50—0,80	0,17—0,37	0,040	0,040	0,25	0,25

5 Механические свойства

6 H_B кг/мм ²	7 σ_B кг/мм ²	8 σ_T кг/мм ²	9 δ_2 , %	10 ψ , %	11 a_K кг·м/см ²	12 Термическая обработка
4 не более 10 не менее						
197° 241°*	61	36	16	40	5	Нормализация

11 * Для отожженной стали.
** Для горячекатаной стали.

13 Назначение — для изготовления деталей, работающих при небольших скоростях и средних удельных давлениях: в компрессорах (коленчатые валы и цилиндры); редукторах насосов (шестерни, рычаги, шестерни и т. д.).

14 II. Механические свойства при низких температурах

15 Прочность при растяжении [5]

16 Температура °C	7 σ_B , кг/мм ²	8 σ_T , кг/мм ²	9 δ , %	10 ψ , %
17 -196 -253	64—67 106—107 134—141	39 97 —	19—20 7—14 0	45—60 28 0

17 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,51C; 0,69Mn; 0,30Si; 0,028P; 0,0184S.

2. Для исследований применяли прутки из стали 45 после отжига при 800—810° C в течение часа.

18 Влияние термической обработки на ударную вязкость стали 45 (данные Института нефте- и углехимического синтеза)

19 Вид полу- фабриката	20 Состояние материала	21 a_K , кг·м/см ² , при температуре, °C						22 $T_{кр}$, °C при a_K мин 4 кг·м/см ²
		+20	-20	-40	-60	-80	-100	
23 Пруток 25×25 мм	24 Горячеката- ный	1,5— 1,4	1,5— 1,0	1,4— 0,5	0,8— 0,3	0,4— 0,4	0,2— 0,3	Выше +20
	25 Отожженный	4,8— 4,3	3,5— 2,7	3,2— 2,8	1,3— 1,3	0,6— 0,6	0,7— 0,6	+10
	26 Нормализо- ванный	5,3— 5,0	4,3— 3,8	3,8— 3,4	3,0— 3,0	1,3— 1,1	0,6— 0,6	-20

Key to page 136

- 1) Steel 45
- 2) I. Properties at +20°C according to GOST 1050-60
- 3) chemical composition, %
- 4) not above
- 5) mechanical properties
- 6) HB, kg/mm²
- 7) σ_v , kg/mm²
- 8) σ_t , kg/mm²
- 9) heat treatment
- 10) not below
- 11) *for annealed steel. ** for hot-rolled steel
- 12) normalizing
- 13) Application - for production of components operating at low speeds and under average specific pressures: in compressors (camshafts and cylinders); in reducing valves of pumps (worms, control levers, gears, etc.)
- 14) II. Mechanical properties at low temperatures
- 15) tensile strength
- 16) temperature, °C
- 17) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.51 C, 0.69 Mn, 0.30 Si, 0.028 P, 0.0184 S. 2. A rod formed from steel 45 after annealing at 800-810°C for 1 hour was used for the studies.
- 18) influence of heat treatment on impact strength of steel 45 (data of the Institute of Petrochemical and Coal Tar Synthesis)
- 19) type of semiproduct
- 20) material state
- 21) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 22) t_{kr} , °C at $a_{n_{min}} \leq 4$ kg·m/cm²
- 23) 25 × 25 mm rod
- 24) hot-rolled
- 25) annealed
- 26) normalized
- 27) above +20

1 Продолжение

2 Вид полуфабриката	3 Состояние материала	4 $\sigma_{\text{т}}$, кг·м/см ² , при температуре, °С						5 $\sigma_{\text{т}}$ при $\sigma_{\text{т}}/\sigma_{\text{с}}$
		+20	-20	-40	-60	-80	-100	
6 Прутки 25×25 мм	7 Закаленный и отпущенный	12,5—11,2	9,0—7,3	9,7—3,7	6,4—3,2	3,9—3,9	4,0—4,0	-40
8 Прутки диаметром 120 мм	9 Горячекатаный	4,8—4,3	2,7—2,5	3,4—1,5	1,2—1,2	0,9—0,9	0,6—0,6	+10
	10 Отожженный	5,3—4,8	3,3—3,3	3,4—1,7	0,9—0,9	0,8—0,8	0,8—0,6	0
	11 Нормализованный	8,2—7,8	5,6—4,6	5,8—5,0	4,8—4,8	3,8—3,6	1,7—1,3	-80
	12 Нормализованный отпущенный	9,4—9,0	6,1—6,1	6,1—6,1	4,9—4,9	5,1—4,8	1,2—1,2	-90
	13 Закаленный и отпущенный	16,7—11,4	8,3—8,3	8,2—8,2	7,1—7,1	7,0—7,0	5,2—5,2	Ниже -100

15 Примечания:

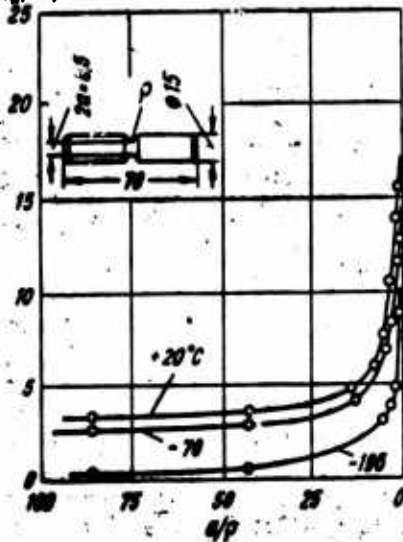
16

1. Химический состав стали, %

2 Вид полуфабриката	C	Mn	Si	P	S
6 Прутки 25×25 мм	0,47	0,73	0,33	0,011	0,040
8 Прутки диаметром 120 мм	0,46	0,75	0,30	0,026	0,023

17 2. В таблице приведены максимальные и минимальные значения ударной вязкости.

18 $\sigma_{\text{т}}$, кг/см²

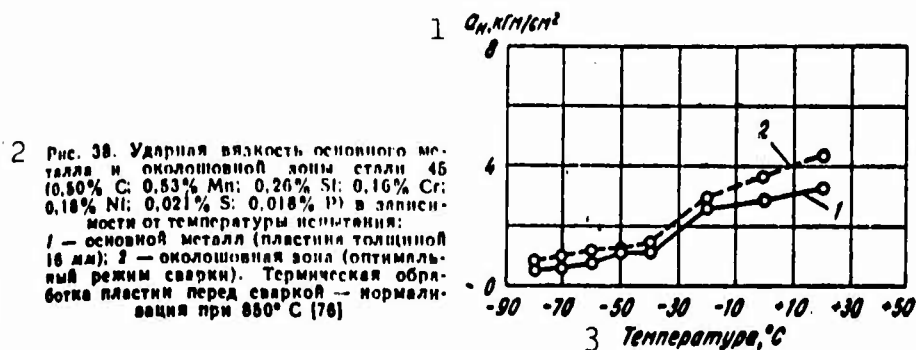


19

Рис. 37. Напряжение ударной вязкости стали 45 (0,43% C; 0,23% Si; 0,61% Mn; 0,030% S; 0,030% P; 0,16% Ni), закаленной и отпущенной при 450° С) в зависимости от радиуса кривизны в вершине выточки прутков образцов и температуры испытания (78)

Key to page 138

- 1) continued
- 2) type of semiproduct
- 3) material state
- 4) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 5) t_{kr} , °C, at $a_{nmin} \leq 4$ kg·m/cm²
- 6) 25 × 25 mm rod
- 7) quenched and tempered
- 8) rod 120 mm in diameter
- 9) hot-rolled
- 10) annealed
- 11) normalized
- 12) normalized and tempered
- 13) quenched and tempered
- 14) below -100
- 15) Notes.
- 16) 1. Chemical composition of steel, %
- 17) 2. The maximum and minimum impact-strength values are listed in the table.
- 18) a_n , kg·m/cm²
- 19) Fig. 37. Change in impact strength of steel 45 [(0.43% C, 0.23% Si, 0.61% Mn, 0.030% S, 0.020% P, 0.15% Ni) quenched and tempered at 450°C] as a function of radius of curvature at root of groove in circular specimens and test temperature [75].



4 Сталь 50

5 I. Свойства при +20° С по ГОСТ 1050—80

6 Химический состав, %

С	Мп	Si	S	P	Ni	Cr
7 не более						
0,47—0,55	0,50—0,80	0,17—0,37	0,040	0,040	0,25	0,25

8 Механические свойства

9 H_B кг/мм ²	10 σ_B кг/мм ²	11 σ_T кг/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	1 σ_{II} кг·м/см ²	12 Термическая обработка
7 не более						13 не менее
207° 241°*	64	38	14	40	4	Нормализация

15 * Для отожженной стали.
°° Для горячекатаной стали.

16 **Назначение** — для изготовления крупногабаритных деталей (венцов, шестерен, мало-нагруженных пружин, рессор и др.).

17 II. Физические свойства при низких температурах

18 Теплопроводность [50]

3 Температура, °С	19 λ , вт/м·град
+23	47,31
—195	21,10
—255	5,90

20 **Примечания:** 1. Химический состав стали, %: 0,50С; 0,73Мп; 0,33Si; 0,019S; 0,044Р.
2. Для исследований применяли сталь 50 после отжига при 800° С в течение 30 мин.

Key to page 140

- 1) a_n , kg·m/cm²
- 2) Fig. 38. Impact strength of base metal and around-the-weld zone of steel 45 (0.50% C, 0.53% Mn, 0.26% Si, 0.16% Cr, 0.18% Ni, 0.021% S, 0.018% P) as function of test temperature. 1) base metal (plate 16 mm thick); 2) around-the-weld zone (optimum welding conditions). Heat treatment prior to welding consisted of normalizing at 850°C [76].
- 3) temperature, °C
- 4) Steel 50
- 5) I. Properties at +20°C according to GOST 1050-60
- 6) chemical composition, %
- 7) not above
- 8) mechanical properties
- 9) HB, kg/mm²
- 10) σ_v , kg/mm²
- 11) σ_t , kg/mm²
- 12) heat treatment
- 13) not below
- 14) normalizing
- 15) *for annealed steel. ** for hot-rolled steel
- 16) Application - for production of large components (rims, gears, light-duty springs, leaf springs, etc.)
- 17) II. Physical properties at low temperatures
- 18) thermal conductivity [50]
- 19) λ , W/m·degree
- 20) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.50 C, 0.73 Mn, 0.33 Si, 0.019 S, 0.044 P. 2. After annealing at 800°C for 30 minutes, steel 50 was used for the studies.

1 Коэффициент линейного расширения [24]

2	Температура, °C	3	$\alpha \cdot 10^6$ 1/град	2	Температура, °C	3	$\alpha \cdot 10^6$ 1/град
	26,9		10,94		-53,1		9,69
	16,9		10,79		-63,1		9,50
	6,9		10,64		-73,1		9,30
	-3,1		10,49		-83,1		9,09
	-13,1		10,34		-93,1		8,87
	-23,1		10,19		-103,1		8,67
	-33,1		10,03		-113,1		8,37
	-43,1		9,87				

4 III. Механические свойства при низких температурах

5 Прочность при растяжении

6	№ пп.	7 Вид полуфабриката	8 Термическая обработка	9 Температура испытания, °C	10 σ_B , кг/мм ²	11 σ_T , кг/мм ²	12 δ , %	13 ψ , %	14 Литература
1		Пруток 13	Закалка с 850° C в масле, отпуск при 350° C (HRC=49—52) 14	20 —60	190 196	175 185	— —	— —	[78]
2		Пруток 13	Закалка с 850° C в масле, отпуск при 450° C (HRC=38—41) 15	20 —60	133 140	120 129	— —	— —	[78]
3		Пруток 13	16 Закалка с 820° C в масле, отпуск при 550° C	20 —40 —70	95,0 101,6 102,1	— — —	17,0 18,6 19,5	59,9 57,8 57,0	[79]
4		Пруток 13	Отжиг при 800° C в течение часа 17	17 —196 —253	72 116 145	— — —	20 12 0	51 — 3	[5]
5		Пруток 13	Отжиг при 880° C в течение часа 18	17 —196 —253	69 114 139	41 98 —	22 16 0	52 20 1	[5]

19 Примечание. 20 Химический состав стали, %

6	№ пп.	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr
1, 2		0,63	0,69	0,22	0,021	0,027		
3		0,50	0,68	0,19	0,034	0,026	0,46	0,20
4, 5		0,50	0,73	0,33	0,044	0,029		

Key to page 142

- 1) coefficient of linear expansion
- 2) temperature, °C
- 3) $\alpha \cdot 10^6$, deg⁻¹
- 4) III. Mechanical properties at low temperatures
- 5) tensile strength
- 6) No.
- 7) type of semiproduct
- 8) heat treatment
- 9) test temperature, °C
- 10) σ_v , kg/mm²
- 11) σ_t , kg/mm²
- 12) source
- 13) rod
- 14) quenching from 850°C in oil, tempering at 350°C (HRC = 49-52)
- 15) quenching from 850°C in oil, tempering at 450°C (HRC = 38-41)
- 16) quenching from 820°C in oil, tempering at 550°C
- 17) annealing at 800°C for 1 hour
- 18) annealing at 880°C for 1 hour
- 19) Note.
- 20) Chemical composition of steel, %

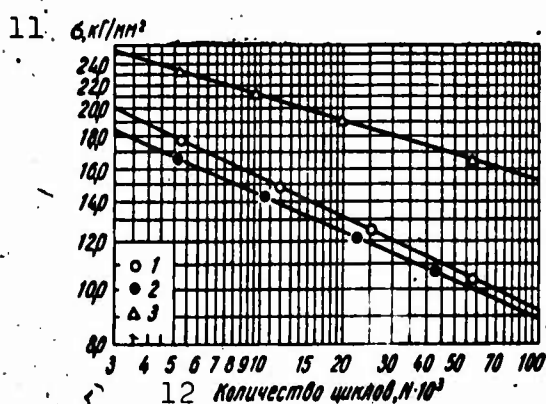
1 Ударная вязкость

2 п.п.	3 Термическая обработка	4 a_n , кг·м/см ² , при температуре, °C				5 Литера- тура
		20	-40	-60	-70	
1	6 Закалка с 850°С в мас- ле, отпуск 350°С ($HRC=$ $=49-52$)	1,9	—	1,0	—	[78]
2	7 Закалка с 850°С в мас- ле, отпуск 450°С ($HRC=$ $=38-41$)	5,0	—	3,8	—	[78]
3	8 Закалка 820°С в масле, отпуск 550°С	11,5	9,3	—	7,0	[79]

9 Примечание.

10 Химический состав стали, %

2 М.п.	C	Mn	Si	P	S
1, 2	0,53 0,50	0,69 0,68	0,22 0,19	0,021 0,034	0,027 0,026



13 Рис. 39. Ударная усталость (знакопеременная) стали 50 ($HRC=49-52$) при температурах +20 и -60°С. Образец прямоугольного сечения консолидный:
1 — неупрочненный при +20°С; 2 — неупрочненный при -60°С; 3 — упрочненный при +20°С [78]

Key to page 144

- 1) impact strength
- 2) No.
- 3) heat treatment
- 4) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 5) source
- 6) quenching from 850°C in oil, tempering at 350°C (HRC = 49-52)
- 7) quenching from 850°C in oil, tempering at 450°C (HRC = 38-41)
- 8) quenching from 820°C in oil, tempering at 550°C
- 9) Note.
- 10) chemical composition of steel, %
- 11) σ , kg/mm²
- 12) number of cycles
- 13) Fig. 39. Impact fatigue (alternating sign) of steel 50 (HRC = 49-52) at temperatures of +20 and -60°C. Cantilevered square-section specimens: 1) unhardened at +20°C; 2) unhardened at -60°C; 3) hardened at +20°C [78].

B L A N K P A G E

III

LOW-ALLOY AND ALLOY MACHINE STEEL

Low-alloy steel is widely used in various segments of the national economy.

The industry produces a large assortment of low-alloy steel types (GOST 5058-57 and GOST 4543-61), thus making it possible, with proper application of the steel, to produce machinery, equipment and structures with high use safety factors.

As compared with high-grade carbon steels, low-alloy steels show higher impact strength and go over into the brittle state at lower temperatures. The critical temperature of transition to the brittle state is below -70°C for the majority of steels in this group.

In recent years, strong and ductile low-alloy steels have been developed and are used in various branches of the machine-building industry.

For example, in shipbuilding, steels 09G2, 10KhSND, and 10KhGSND are now widely used in lieu of the previously employed structural steels 20G, 15KhSND and St. 5, and SKhL-45 is coming into use.

In machine building for the petroleum industry, steel 09G2S(M) has been used successfully for the production of welded low-temperature (-70°C) oil-refinery equipment in recent years.

The new low-carbon Type 06N3 nickel steel, which has undergone industrial testing at temperatures down to -183°C in the form of welded articles made from thin sheets, has been developed for chemical machine building. In a number of cases, this steel can be used in lieu of high-alloy austenitic steels.

Mechanical engineers have acquired new chromium steels alloyed with boron and nickel. These steels are used successfully in place of low-alloy chromium-nickel steels for machine components.

1 Сталь 40Г

2 I. Свойства при +20°С по ГОСТ 1050—60

3 Химический состав, %

С	Мп	St	В	Р	NI	Cr
4 не более						
0,37—0,45	0,70—1,00	0,17—0,37	0,040	0,040	0,25	0,25

5 Механические свойства

6 НВ кг/мм²	7 σ_B кг/мм²	8 σ_T кг/мм²	δ_5 , %	ψ , %	α_K кг·м/см²	9 Термическая обработка
4 не более	не менее					9
207° 229°	60	36	17	45	6	
						Нормализация

10

11 * Для горячекатаной стали.
** Для отожженной стали.

12 Назначение — для изготовления распределительных, шлицевых, шестеренных и колесных валов, шатунов крепежных деталей.

13 II. Физические свойства при низких температурах

14 Коэффициент линейного расширения [74]

15 Интервал температур, °С	16 $\alpha \cdot 10^6$, 1/град	15 Интервал температур, °С	16 $\alpha \cdot 10^6$, 1/град
+20—(—40)	10,4	—40—(—100)	7,6
+20—(—100)	9,4	—100—(—183)	5,5
+20—(—183)	7,6		

17 Примечание. Химический состав стали, %: 0,42С; 0,73Мп; 0,42Si; 0,025S; 0,032P.

18 III. Механические свойства при низких температурах

19 Прочность при растяжении горячекатаной стали [66]

20 Температура, °С	7 σ_B , кг/мм²	8 σ_T , кг/мм²	9 δ , %	10 ψ , %
+16	48,6	36,1	26,9	65,2
—40	51,8	36,2	28,0	62,9
—80	54,8	42,4	28,3	55,3

21 Примечание. Химический состав стали, %: 0,39С; 0,78Мп; 0,38Si; 0,041P; 0,1Cr.

6 С. И. Гудков 1028

Key to page 148

- 1) Steel 40G
- 2) 1. Properties at +20°C according to GOST 1050-60
- 3) chemical composition, %
- 4) not above
- 5) mechanical properties
- 6) HB, kg/mm²
- 7) σ_v , kg/mm²
- 8) σ_t , kg/mm²
- 9) heat treatment
- 10) normalizing
- 11) *for hot-rolled steel. **for annealed steel.
- 12) Application - for production of camshafts, splined and gear shafts, crankshafts, connecting rods, fasteners.
- 13) II. Physical properties at low temperatures
- 14) coefficient of linear expansion [74]
- 15) temperature interval, °C
- 16) $\alpha \cdot 10^6$, deg⁻¹
- 17) Note. Chemical composition of steel, %: 0.42 C, 0.72 Mn, 0.42 Si, 0.025 S, 0.032 P
- 18) III. Mechanical properties at low temperatures
- 19) tensile strength of hot-rolled steel [66]
- 20) temperature, °C
- 21) Note. Chemical composition of steel, %: 0.39 C, 0.78 Mn, 0.38 Si, 0.041 P, 0.1 Cr.

1 Модуль упругости [66]

2 Температура, °C	15	-40	-80
3 E, кг/мм²	20 400	20 600	20 800

4 Примечание. Химический состав стали, %: 0,30C; 0,78Mn; 0,38Si; 0,041P; 0,1Cr.

5 Ударная вязкость [22]

6 Состояние материала	7 a _n , кг·м/см², при температуре, °C					8 T _{кр} , °C, при a _n ≤ 4 кг·м/см²
	+20	0	-20	-40	-60	
9 Горячекатаный	7,1	7,1	7,2	5,4	3,0	-50
10 Отожженный	4,5	0,9	1,0	0,7	—	+10
11 Закаленный и отпущенный	17,7	15,9	14,0	12,0	8,4	Ниже -60 12

13 Примечание. Химический состав стали, %: 0,40C; 0,78Mn; 0,17Si; 0,028P; 0,05S.

14 Сталь 15ГС

15 I. Свойства при +20°C по ГОСТ 5058-57

16 Химический состав, %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S	P
17 не более							
0,12-0,18	0,70-1,00	0,90-1,30	0,30	0,30	0,30	0,040	0,040

18 Механические свойства

19 Толщина проката, мм	20 σ_B , кг/мм ²	2 σ_T , кг/мм ²	δ_{10} , %	22 Испытание на загиб в холодном состоянии
	23 не менее			
4—10	50	35	18	180°
11—20	48	34	18	

24 Примечание. Угол загиба определен на оправке (с), равной двойной толщине листа (а).

25 Назначение — для изготовления сортового проката и балок двутавровых, швеллерных и фасонных профилей, предназначенных для машиностроения и строительства промышленных сооружений.

Key to page 150

- 1) Elastic modulus [66]
- 2) temperature, °C
- 3) E , kg/mm²
- 4) Note. Chemical composition of steel, %: 0.39 C, 0.78 Mn, 0.38 Si, 0.041 P, 0.1 Cr.
- 5) impact strength [22]
- 6) material state
- 7) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 8) t_{kr} , °C, at $a_n \leq 4$ kg·m/cm²
- 9) hot-rolled
- 10) annealed
- 11) quenched and tempered
- 12) below -60
- 13) Note. Chemical composition of steel, %: 0.40 C, 0.78 Mn, 0.38 Si, 0.041 P, 0.1 Cr.
- 14) Steel 15GS
- 15) I. Properties at +20°C according to GOST 5058-57
- 16) chemical composition, %
- 17) not above
- 18) mechanical properties
- 19) rolled stock thickness, mm
- 20) σ_v , kg/mm²
- 21) σ_t , kg/mm²
- 22) bending test in cold state
- 23) not below
- 24) Note. The bend angle is determined on a mandrel (c) equal to double the sheet thickness (a)
- 25) Application - for production of merchant shapes, I-beams, girders and shaped sections intended for machine building and framing of industrial structures.

1 II. Механические свойства при низких температурах

2 Прочность при растяжении [80]

3 Температура испытания, °C	4 σ_b	5 σ_T	δ_5	ψ
	6 кг/мм ²		%	
20	53,2	32,2	29,5	65,0
-20	58,0	34,2	32,2	70,6
-40	59,2	39,4	28,3	60,5
-70	63,4	47,7	30,5	67,5
-196	85,3	82,1	5,8	5,5

7 Примечание. Образцы вырезаны из листов толщиной 9—20 мм поперек прокатки.

8 Влияние толщины листа и направления проката на ударную вязкость горячекатаной стали 15ГС [81]

9 Толщина листа, мм	10 Полюс образца	11 a_K , кг·м/см ² , при температуре, °C					12 $T_{кр}$, °C
		+20	0	-20	-40	-60	
12	13 Вдоль	$\frac{19,4-21,3}{20,7}$	$\frac{16,5-18,7}{17,0}$	$\frac{9,6-14,7}{12,5}$	$\frac{9,7-15,1}{12,4}$	$\frac{0,5-9,0}{5,3}$	-60
	14 Поперек	$\frac{11,8-12,4}{12,1}$	$\frac{7,0-10,6}{9,2}$	$\frac{5,4-10,4}{7,3}$	$\frac{6,7-7,6}{6,7}$	$\frac{0,4-5,0}{1,4}$	Между 15 -40 и -60
20	13 Вдоль	$\frac{16,5-19,2}{17,7}$	$\frac{13,5-16,2}{14,3}$	$\frac{12,5-14,3}{13,3}$	$\frac{1,9-11,9}{6,9}$	$\frac{1,2-12,3}{4,3}$	Между 15 -40 и -60
	14 Поперек	$\frac{12,1-12,7}{12,3}$	$\frac{9,5-10,1}{9,9}$	$\frac{7,5-11,5}{9,3}$	$\frac{3,9-10,0}{7,6}$	$\frac{0,6-7,9}{3,3}$	-60
30	14 Поперек	$\frac{9,6-12,6}{11,0}$	$\frac{10,1-11,4}{10,6}$	$\frac{5,2-11,7}{9,7}$	$\frac{2,4-10,9}{6,4}$	$\frac{0,1-1,5}{0,6}$	Между 15 -40 и -60

16 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,13C; 1,22Mn; 0,55Si; 0,16Cr; 0,11Ni; 0,018S; 0,032P.
2. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

Key to page 152

- 1) II. Mechanical properties at low temperatures
- 2) tensile strength [80]
- 3) test temperature, °C
- 4) σ_v
- 5) σ_t
- 6) kg/mm²
- 7) Note. Specimens cut from sheets 9-20 mm thick across direction of roll.
- 8) influence of sheet thickness and direction of roll on impact strength of hot-rolled steel 15GS [81]
- 9) sheet thickness, mm
- 10) specimen position
- 11) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 12) t_{kr} , °C
- 13) longitudinal
- 14) transverse
- 15) between -40 and -60
- 16) Note. 1. Chemical composition of steel, %: 0.12 C, 1.22 Mn, 0.55 Si, 0.16 Cr, 0.11 Ni, 0.018 S, 0.032 P. 2. The limits are given in the numerator and the average impact-strength values in the denominator.

1 Ударная вязкость термически обработанного проката стали 15ГС

2 № пп.	3 Толщина листа, мм	4 Термическая обработка	5 Положение образца	6 a_u , кг·м/см ² , при температуре, °С					7 Литература
				+20	-20	-40	-60	-80	
1	12	8 Нормализованная при 900°С	9 Вдоль	17,8	11,6	9,9	9,7	5,5	[83]
			10 Поперек	20,4	14,7	12,0	12,5	10,6	
2	20	8 Нормализованная при 900°С	9 Вдоль	10,5	7,6	6,2	5,5	5,9	
			10 Поперек	11,5	8,7	7,1	6,5	6,8	
3	20	11 Закалка с 900°С в воде, отпуск при 650°С 12 Горячекатаная	9 Вдоль	17,9	9,4	7,9	7,5	1,9	[82]
			10 Поперек	19,5	13,4	11,4	10,4	10,0	
			9 Вдоль	11,4	7,4	5,7	5,7	5,4	
			10 Поперек	12,5	8,2	8,4	6,5	6,5	
			9 Вдоль	7,7	6,0	3,7	1,6	—	
			10 Поперек	9,8	10,0	5,8	5,0	—	
			9 Вдоль	5,4	3,5	2,0	0,5	—	
			10 Поперек	6,3	3,7	3,5	2,5	—	

13 Примечания:

1. Химический состав стали, %

2 № пп.	C	Mn	Si	Cu	S	P
1	0,19	0,85	0,68	0,11	0,020	0,015
2	0,19	0,88	0,67	0,08	0,018	0,015
3	0,18	1,12	0,70	0,10	0,030	0,024

14 2. В числителе даны наименьшие, а в знаменателе — наибольшие значения ударной вязкости.

15 III. Свойства сварных соединений при низких температурах

16 Ударная вязкость шва стали 15ГС, полученного автоматической сваркой под флюсом ОСЦ-45 [84]

17 Марка сварочной проволоки	6 a_u , кг·м/см ² , при температуре, °С			
	+20	-20	-40	-60
18 Св-08	13,7	4,6	2,1	0,6
	15,4	10,2	6,8	0,9
19 Св-08Г	12,4	7,1	3,3	0,9
	12,8	8,0	7,4	1,8

20 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,19C; 0,85Mn; 0,68Si; 0,11Cr; 0,015P; 0,020S.

2. Для исследований применяем лист толщиной 12 мм.

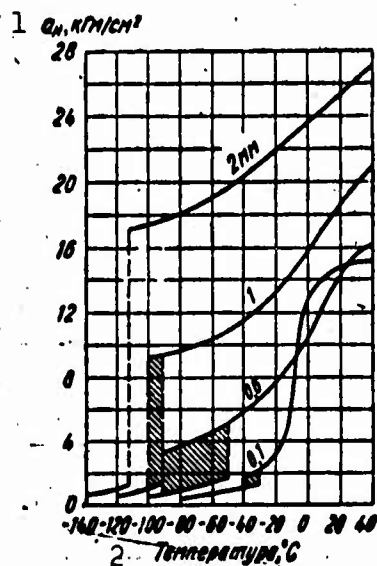
3. В числителе даны наименьшие, а в знаменателе — наибольшие значения ударной вязкости.

Key to page 154

- 1) impact strength of heat-treated steel 15GS rolled stock
- 2) No.
- 3) sheet thickness, mm
- 4) heat treatment
- 5) specimen position
- 6) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 7) source
- 8) normalized at 900°C
- 9) longitudinal
- 10) transverse
- 11) quenching from 900°C in water, tempering at 650°C
- 12) hot-rolled
- 13) Notes. 1. Chemical composition of steel, %
- 14) 2. The minimum impact-strength values are given in the numerator, and the maxima in the denominator.
- 15) III. Properties of welded joints at low temperatures.
- 16) impact strength of steel 15GS weld formed by automatic welding with OSTs-45 flux [84]
- 17) type of welding wire
- 18) Sv-08
- 19) Sv-08G
- 20) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.19 C, 0.85 Mn, 0.68 Si, 0.11 Cr, 0.015 P, 0.020 S. 2. A sheet thickness of 12 mm was used for the studies. 3. The minimum impact-strength values are given in the numerator, and the maxima in the denominator.

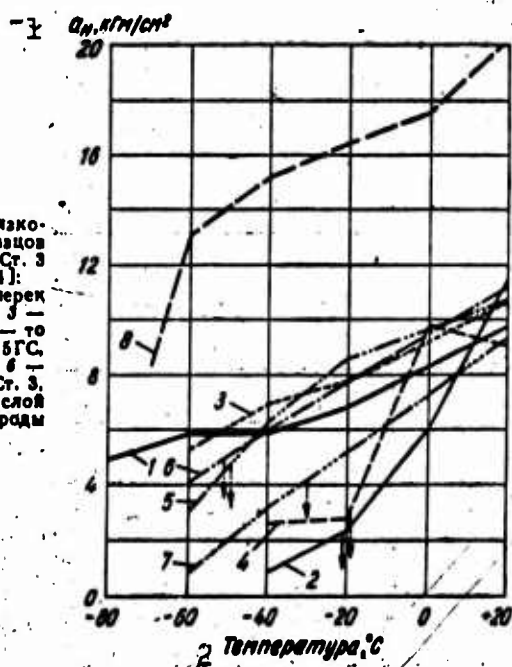
3

Рис. 40. Ударная вязкость листов толщиной 12 мм из стали 15ГС (0,22% С; 1,34% Мп; 0,90% Si; 0,05% Cr; 0,09% Cu; 0,016% P; 0,025% S) в зависимости от температуры испытания и радиуса надреза [12]



4

Рис. 41. Кривые изменения ударной вязкости шва и границы сплавления образцов толщиной 12 мм из сталей 15ГС и Ст. 3 при ручной сварке до старения [84]: 1 — основной металл стали 15ГС, поперек проката; 2 — то же, для стали Ст. 3; 3 — граница сплавления стали 15ГС; 4 — то же, для стали Ст. 3; 5 — сталь 15ГС, электроды ОММ-5, второй слой шва; 6 — то же, для стали Ст. 3; 7 — сталь Ст. 3, электроды марки ОММ-5, последний слой шва; 8 — сталь 15ГС, электроды УОНИ-13/55, второй слой шва



Key to page 156

- 1) a_n , kg·m/cm²
- 2) temperature, °C
- 3) Fig. 40. Impact strength of steel 15GS (0.22% C, 1.34% Mn, 0.90% Si, 0.05% Cr, 0.09% Cu, 0.018% P, 0.02% S) sheets 12 mm thick as function of test temperature and notch radius [12]
- 4) Fig. 41. Curves showing change in impact strength of welds and edge of weld-metal zone of steel St. 3 and 15GS specimens 12 mm thick with manual welding prior to aging [84].
 - 1) steel 15GS base metal, transverse to rolling; 2) same, for steel St. 3; 3) edge of weld-metal zone of steel 15GS; 4) same, for steel St. 3; 5) steel 15GS, OMM-5 electrodes, second weld layer; 6) same, steel St. 3; 7) steel St. 3, OMM-5-type electrodes, final weld layer; 8) steel 15GS, UONI-13/55 electrode, second weld layer.

1 Сталь 16ГС (ЗН, 16ГТ)

2 I. Свойства при +20° С по ГОСТ 5520—62

3 Химический состав, %

С	Mn	Si	8	P
			4 не более	
0,12—0,18	0,9—1,2	0,4—0,7	0,040	0,040

5 Механические свойства

Толщина 6 листа мм	7 σ_T кг/мм ²	8 σ_B кг/мм ²	δ_5 , %	δ_{10} , %	9 a_K , кг·м/см ² , при темпера- тура, °С		
					10 не менее		
					+20	—40	—70
4—10	33,0	50,0	22	18	—	—	—
11—16	32,0	50,0	22	18	6	3,0	2,5
17—30	30,0	48,0	22	18	6	3,0	2,5
32—60	29,0	47,0	22	18	6	3,0	2,5
60—160	28,0	46,0	22	18	6	3,0	2,5

11 *Назначение* — для изготовления сварной нефтеочистительной аппаратуры, работающей при температуре до —40° С.

12 II. Механические свойства при низких температурах

13 Ударная вязкость [85]

14 Состояние материала	15 a_K , кг·м/см ² , при температуре испытания, °С					
	+20	—20	—40	—60	—80	—70
16 Горячекатаный . . .	7,1	6,0	4,3	3,4	0,94	1,0
17 Нормализованный при 920° С	9,0	7,43	6,1	5,5	5,0	4,8

Key to page 158

- 1) Steel 16GS (3N, 16GT)
- 2) I. Properties at +20°C according to GOST 5520-62
- 3) chemical composition, %
- 4) not above
- 5) mechanical properties
- 6) sheet thickness, mm
- 7) σ_t , kg/mm²
- 8) σ_v , kt/mm²
- 9) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 10) not below
- 11) Application - for production of welded petroleum-refinery equipment operating at temperatures down to -40°C
- 12) II. Mechanical properties at low temperatures
- 13) impact strength [85]
- 14) material state
- 15) a_n , kg·m/cm², at test temperature, °C
- 16) hot-rolled
- 17) normalized at 920°C

1 Влияние старения на ударную вязкость при низких температурах [85]

2 Состояние материала	3 Толщина листов, мм	4 Ударная вязкость при +20°C без старения, кг·м/см ²	5 Ударная вязкость (кг·м/см ²) после растяжения в старении					
			6 наклеп 5% и старение			7 наклеп 10% и старение		
			+20	-20	-40	+20	-20	-40
Горячекатаный 8	20	7,0	5,1	—	—	4,58	—	—
	22	7,0	4,9	—	—	4,58	—	—
	24	7,0	4,7	—	—	4,58	—	—
	28	7,1	4,9	—	—	4,58	—	—
Нормализованный 9	20	—	—	2,8	3,5	—	2,3	2,2
	22	—	—	4,9	3,5	—	4,3	3,8
	24	—	—	4,7	4,0	—	3,8	3,3
	28	—	—	4,4	4,0	—	3,6	3,0

10 III. Сварные соединения при низких температурах

11 Ударная вязкость сварного шва [85]

12 п.п. №	13 Марка сварочной проволоки	3 Толщина листов, мм	14 Ударная вязкость (кг·м/см ²) шва автоматической сварки при температуре, °C					
			+20	-20	-30	-40	-50	-60
1	15 Св08ГА	20	17,3	10,7	12,0	7,2	7,2	—
2	16 Св08ГА	24	16,0	8,4	8,4	6,2	1,8—6,3	—
3	17 Св12М	26	12,1	9,2	6,4	6,0	4,7	1,6—9,8

18 Примечания:

1. Химический состав наплавленного металла, %

12 № п.п.	Mn	Si	S	P	Cr	Mo
1	0,13	0,91	0,35	—	—	—
2	0,14	0,91	0,25	—	—	—
3	0,10	1,13	0,48	—	—	0,30

19 2. Химический состав основного металла, %: 0,16C; 0,90Mn; 0,48Si; 0,033S; 0,18P; 1,06Cr; 0,15Ni; 0,10Cu.

Key to page 160

- 1) influence of aging on impact strength at low temperatures [86]
- 2) material state
- 3) sheet thickness, mm
- 4) impact strength at +20°C without aging, kg·m/cm²
- 5) impact strength (kg·m/cm²) after elongation and aging
- 6) 5% work hardening and aging
- 7) 10% work hardening and aging
- 8) hot-rolled
- 9) normalized
- 10) III. Welded joints at low temperatures
- 11) weld impact strength [85]
- 12) No.
- 13) type of welding wire
- 14) impact strength (kg·m/cm²) of automatically formed weld at temperatures, °C
- 15) Sv08GA
- 16) Sv08GA
- 17) Sv12M
- 18) Notes. 1. Chemical composition of filler metal, %
- 19) 2. Chemical composition of base metal, %: 0.15 C, 0.90 Mn, 0.46 Si, 0.022 S, 0.18 P, 0.10 Cr, 0.15 Ni, 0.10 Cu.

1 Ударная вязкость сваренного шва стали 16ГС (16ГТ),
полученного автоматической сваркой под флюсом АН-348 [86]

2 Марка сварочной проволоки	3 Толщина листов мм	4 Термическая обработка	5 a_n , кг·м/см ² , при температуре, °C			
			+20	-20	-30	-40
6 Св-08ГА	20-22	7 Нет	15,5	9,5	8,4	5,1
	24-26	8 Нормализован- ный при 920° С	19,1	14,5	12,5	9,7
9 Св-12М	22-24	Нет	12	9,2	6,4	6,0

10 Примечание.

11 Химический состав сварных швов, %

12 Марка проволоки	C	Mn	Si	Mo	S	P
6 Св-08ГА	0,13	1,0	0,36	—	0,032	0,032
9 Св-12М	0,10	1,12	0,38	0,20	0,026	0,028

13 Ударная вязкость сварного соединения стали 16ГС (3Н),
полученного электрошлаковой сваркой под флюсом АН8 [87]

14 Место надреза	15 Состояние материала	5 a_n , кг·м/см ² , при температуре, °C			
		+20	0	-20	-40
16 Ось шва	17 После сварки	13,3	—	10,8	2,8
	18 После отпуска	11,6	—	11,0	3,1
	19 После нормализации и от- пуска	14,2	—	—	7,7
20 Граница сплавлени- я	17 После сварки	13,5	10,3	6,2	0,9
	18 После отпуска	11,5	7,2	0,9	0,5
	19 После нормализации и от- пуска	14,4	16,9	13,9	12,3
21 На расстоянии 2 мм от границы сплавления	17 После сварки	9,8	9,8	6,6	1,9
	18 После отпуска	6,8	6,1	2,7	0,5
	19 После нормализации и от- пуска	12,5	11,1	12,6	8,2
22 Конец зоны термиче- ского влияния	17 После сварки	8,4	9,6	8,3	8,7
	18 После отпуска	9,1	9,1	7,8	2,0
	19 После нормализации и от- пуска	11,9	11,2	10,3	9,8

23 Примечания:

24 1. Химический состав стали, %

25 Металл	C	Mn	Si	Ti	S	P
26 Основной металл . . .	0,17	1,04	0,51	0,017	0,027	0,032
27 Сварной шов	0,12	1,18	0,22	Не опр.	0,027	0,026

28 2. Режим отпуска: выдержка при 650° С ± 10° С; охлаждение с печью до 300° С, затем на воздухе. Режим нормализации: выдержка при 920° С ± 10° С; охлаждение на воздухе.
3. Сваривали плиты толщиной 98 мм под флюсом АН8, марка проволоки Св-10Г2.

Key to page 162

- 1) impact strength of steel 16GS (16GT) weld formed by automatic welding under AN-348 flux [86]
- 2) type of welding wire
- 3) sheet thickness, mm
- 4) heat treatment
- 5) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 6) Sv-08GA
- 7) none
- 8) normalized at 920°C
- 9) Sv-12M
- 10) Note.
- 11) chemical composition of welds
- 12) wire type
- 13) impact strength of welded steel 16GS (3N) joint formed by molten-slag arcless electric welding under AN8 flux [87]
- 14) notch location
- 15) material state
- 16) weld axis
- 17) after welding
- 18) after tempering
- 19) after normalizing and tempering
- 20) edge of weld-metal zone
- 21) at distance of 2 mm from edge of weld-metal zone
- 22) extremity of around-the-weld zone
- 23) Notes.
- 24) 1. Chemical composition of steel, %
- 25) metal
- 26) base metal
- 27) weld
- 28) 2. Tempering procedure: soaking at 650°C + 10°C, cooling with furnace down to 300°C, then in air. Normalizing procedure: holding at 920°C + 10°C, cooling in air. 3. Plates 95 mm thick were welded under AN8 flux with Sv-10G2-type wire.

1 Сталь 09Г2

2 I. Свойства при +20°С по ГОСТ 5058-57

3 Химический состав, %

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
≤0,12	1,40—1,80	0,20—0,40	0,040	0,040	0,30	0,30	0,30

5 Механические свойства

6 Толщина проката, мм	7 σ_B , кг/мм ²	8 σ_T , кг/мм ²	9 δ_{10} , %	Угол загиба в холодном состоянии
	10 не менее			
4—10	45	31	18	180°
11—24	45	30	18	
25—30	44	30	18	

11 Примечание. Угол загиба определен на оправке (о), равной двойной толщине листа (а).

12 Назначение — для изготовления химической аппаратуры, работающей при температурах от -70 до +500°С. В судостроении применяют как корпусную сталь.

13 II. Механические свойства при низких температурах

14 Ударная вязкость термически обработанной стали [89]

15	Термическая обработка	16 Располо- жение образца	17 α_H , кг·м/см ² , при температуре, °С			18 $T_{кр}$, °С, при $\alpha_{H_{мин}} < 2$ кг·м/см ²
			+20	-40	-60	
19	Нормализация при 900° С	20 Вдоль 21 Поперек	<u>25,7—27,2</u> 26,3 <u>10,0—10,9</u> 10,5	<u>14,3—18,7</u> 17,2 —	<u>10,6—16,6</u> 13,5 —	22 Ниже —60 —
23	Закалка с 900° С в воде с последую- щим отпуском при 650° С в течение 2 ч	20 Вдоль 21 Поперек	<u>18,2—21,5</u> 20,0 <u>8,8—16,1</u> 12,6	— — —	<u>17,0—18,1</u> 17,5 <u>6,4—7,9</u> 7,1	— 22 Ниже —60
24	Закалка с 900° С в воде с последую- щим отпуском при 650° С в течение 10 ч	»	<u>8,3—9,0</u> 8,6	—	<u>6,9—8,7</u> 7,8	» —60

25 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,10C; 1,59Mn; 0,34Si; 0,033S; 0,023P; 0,07Cr; 0,04Ni; Cu — следы.
2. Для исследований применяли лист толщиной 11 мм.
3. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

Key to page 164

- 1) Steel 09G2
- 2) I. Properties at +20°C according to GOST 5058-57
- 3) chemical composition, %
- 4) not above
- 5) mechanical properties
- 6) thickness of rolled stock, mm
- 7) σ_v , kg/mm²
- 8) σ_t , kg/mm²
- 9) bending angle in cold state
- 10) not below
- 11) Note. Bending angle determined on mandrel (c) equal to double the sheet thickness (a).
- 12) Application - for production of chemical equipment operating at temperatures from -70 to +500°C. Used as structural steel in shipbuilding
- 13) II. Mechanical properties at low temperatures
- 14) impact strength of heat-treated steel [89]
- 15) heat treatment
- 16) specimen location
- 17) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 18) t_{kr} , °C, at $a_{n_{min}} \leq 2$ kg·m/cm²
- 19) normalizing at 900°C
- 20) lengthwise
- 21) crosswise
- 22) below -60
- 23) quenching from 900°C in water with subsequent tempering at 650°C for 2 hours
- 24) quenching from 900°C in water with subsequent tempering at 650°C for 10 hours
- 25) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.10 C, 1.59 Mn, 0.34 Si, 0.033 S, 0.023 P, 0.07 Ni, traces Cu. 2. A sheet 11 mm thick was used for the studies. 3. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.

1 Ударная вязкость стали 09Г2

2 Вид полуфабриката	3 Состояние материала	4 σ_K , кг·м/см ² , при температурах, °C			
		+20	0	-20	-40
7 Лист, 13 мм	5 Горячекатаный	$\frac{18,4-19,5}{18,9}$	$\frac{17,8-20,0}{18,9}$	$\frac{22,3-30,7}{26,5}$	$\frac{12,5-27,6}{17,9}$
	6 Отожженный	$\frac{27,3}{27,3}$	$\frac{27,4-27,4}{27,4}$	—	$\frac{16,0-16,5}{16,2}$
	8 Нормализованный	$\frac{23,3-31,3}{27,3}$	$\frac{20,5}{20,5}$	$\frac{18,2-20,7}{19,5}$	$\frac{18,7-21,3}{20,0}$
	9 Закаленный	$\frac{12,0-12,7}{12,4}$	$\frac{8,2-9,8}{9,0}$	$\frac{8,6-11,2}{9,9}$	$\frac{7,5-8,2}{7,8}$
	10 Закаленный и отпущенный	$\frac{28,9}{28,9}$	$\frac{17,2-24,4}{20,8}$	$\frac{21,0-22,2}{21,6}$	$\frac{25,0-27,6}{26,3}$
11 Лист, 20 мм	5 Горячекатаный	$\frac{6,8-7,5}{7,1}$	$\frac{7,0-7,3}{7,1}$	$\frac{5,7-5,8}{5,75}$	$\frac{3,7-4,3}{4,0}$
	10 Закаленный и отпущенный	$\frac{9,1-9,4}{9,3}$	$\frac{9,2-9,9}{9,4}$	$\frac{7,2-9,2}{8,4}$	$\frac{8,0-10,9}{9,6}$
12 Бульба, 18 мм	5 Горячекатаный	$\frac{33,5-36,8}{35,1}$	$\frac{26,2-31,0}{29,6}$	$\frac{29,2-30,6}{29,9}$	$\frac{13,0-22,2}{19,1}$
	9 Закаленный	$\frac{28,2-31,5}{29,8}$	$\frac{29,2-33,6}{31,9}$	$\frac{27,1-31,7}{29,1}$	$\frac{18,7-28,6}{22,4}$

Key to page 166

- 1) impact strength of steel 09G2
- 2) type of semiproduct
- 3) material state
- 4) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 5) hot-rolled
- 6) annealed
- 7) 13-mm sheet
- 8) normalized
- 9) quenched
- 10) quenched and tempered
- 11) 20-mm sheet
- 12) 18-mm bulb

1 Продолжение

2 Вид полуфабриката	3 Состояние материала	4 $\sigma_{\text{н}}$, кг·м/см ² , при температу-рах, °С			5 $\frac{K_{\text{н}}}{\sigma_{\text{н}}}$	6 Литера-тура
		-80	-90	-100		
10 Лист 13 мм	7 Горячекатаный	$\frac{10,0-12,1}{11,0}$	$\frac{9,2-10,0}{9,6}$	$\frac{8,0-8,5}{4,7}$	-100	Данные Инсти-тута нефте-12 и угле-химиче-ского синтеза
	8 Отожженный	$\frac{21,4-30,0}{25,7}$	$\frac{12,7-12,7}{12,7}$	$\frac{12,7-16,9}{14,8}$	9 Ниже -100	
	Нормализован-ный 11	$\frac{14,4-14,4}{14,4}$	$\frac{10,4-23,8}{17,1}$	$\frac{9,0-17,5}{13,2}$	9 Ниже -100	
	13 Закаленный	$\frac{5,9-6,1}{6,0}$	$\frac{8,0-8,5}{8,7}$	$\frac{5,5-7,2}{6,3}$	9 Ниже -100	
	14 Закаленный и отпущенный	$\frac{13,7-20,5}{17,1}$	$\frac{11,5-20,5}{16,0}$	$\frac{10,8-23,5}{16,2}$	9 Ниже -100	
15 Лист, 20 мм	7 Горячекатаный	$\frac{3,7-4,1}{3,9}$	—	—	—	[82]
	14 Закаленный и отпущенный	$\frac{4,8-6,1}{5,4}$	—	—	—	
16 Бульба, 18 мм	7 Горячекатаный	$\frac{4,0-15,5}{9,1}$	—	—	-60	Данные Инсти-тута нефте-12 и угле-химиче-ского синтеза
	13 Закаленный	$\frac{22,8-24,3}{23,5}$	—	—	Ниже -60	

17 Примечания:

18 1. Химический состав сталей, %

2 Вид полуфабриката	C	Mn	Si	Ni	Cr	Cu	S	P
9 Лист толщиной 20 мм	0,10	1,25	0,37	0,1	-0,1	0,21	0,04	0,022
16 Бульба 18 мм	0,08	1,40	0,31	0,04	0,3	0,06	0,04	0,022

20 2. Образцы из листа толщиной 20 мм вырезаны поперек проката.
3. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

Key to page 168

- 1) continued
- 2) type of semiproduct
- 3) material state
- 4) a_n , kg·m/cm², at temperatures, °C
- 5) t_{kr} , °C, at $a_{n_{min}} \leq 4$ kg·m/cm²
- 6) source
- 7) hot-rolled
- 8) annealed
- 9) below -100
- 10) 13-mm sheet
- 11) normalized
- 12) data of Institute of Petrochemical and Coal Tar Synthesis
- 13) quenched
- 14) quenched and tempered
- 15) 20-mm sheet
- 16) 18-mm bulb
- 17) Notes.
- 18) 1. Chemical composition of steel, %
- 19) sheet 20 mm thick
- 20) 2. Specimens cut from sheet 20 mm thick across the roll.
3. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator

1 Ударная вязкость стали, подвергнутой старению [89]

2 Режим старения	3 Направление по отношению к прокатке		4 a_u , кг·м/см ² , при температуре, °C			5 $T_{кр}$, °C, при $a_{мин} < 2$ кг·м/см ²
	6 растяжение пластин	7 вырезка образцов	+20	0	-20	
8 Растяжение горячекатаного металла на 10%, старение в течение часа при 250°С	9 Вдоль	9 Вдоль	13,3—15,1	8,3—14,4	1,5—8,3	-10
			14,1	10,9	4,4	
		10 Поперек	3,4—4,5	2,5—3,9	1,2—3,1	-10
	10 Поперек		4,1	3,3	2,3	11 Ниже -20
		9 Вдоль	4,7—5,0	3,8—4,1	2,9—3,4	-10
12 То же, но нормализованного металла			4,9	4,0	3,1	
			14,4—15,3	5,6—10,5	1,3—4,6	-10
13	9 Вдоль	10 Поперек	7,8—8,2	7,5—8,0	5,2—5,5	11 Ниже -20
			8,2	7,7	5,4	

Примечание. Химический состав и толщина листа те же, что и в предыдущей таблице.

14 Минимальные значения ударной вязкости стали в горячекатаном состоянии и после термического старения [47]

15 Толщина листа мм	4 a_M , кг·м/см ² , при температуре, °C				Толщина листа мм	4 a_M , кг·м/см ² , при температуре, °C			
	16 исходное состояние		17 после термического старения			16 исходное состояние		17 после термического старения	
	+20	-40	+20	-40		+20	-40	+20	-40
17	9,7	5,4	9,9	4,5	30	8,0—14,0	3,4—6,8	10,1—13,5	0,5—1,6
20	9,6	4,6	10,6	0,9		10,2	4,5	11,0	1,2
24	8,3	4,2	9,3	3,1					

18 Примечание. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

Key to page 170

- 1) impact strength of steel subjected to aging [89]
- 2) aging procedure
- 3) direction with respect to rolling
- 4) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 5) t_{kr} , $^{\circ}\text{C}$, at $a_{n\min} \leq 2 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 6) plate tension
- 7) specimen grooving
- 8) 10% elongation of hot-rolled metal, aging for 1 hour at 250°C
- 9) lengthwise
- 10) crosswise
- 11) below -20
- 12) same, but normalized metal
- 13) Note. Chemical composition and sheet thickness are the same as those in the previous table
- 14) Minimum impact strength values of hot-rolled steel after thermal aging [47]
- 15) sheet thickness, mm
- 16) initial state
- 17) after thermal aging
- 18) Note. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.

1 Ударная вязкость горячекатаной стали 09Г2 в зависимости от вида надреза [89]

2	Толщина листа, мм	3 Тип надреза по ГОСТ 9454-80	4 Направление вырезки образцов	5 a_k , кГ·м/см ² , при температуре, °С						6 $T_{кр}$, °С, при $a_k \leq 2$ кГ·м/см ²
				+20	-20	-30	-40	-50	-60	
11		I	7 Вдоль	25,9—22,5 24,1	20,2—5,8 16,8	13,7—17,4 15,6	7,8—16,1 13,1	10,7—13,9 12,5	1,1—10,5 4,9	—60
			8 Поперек	6,6—8,0 7,2	5,7—7,3 6,4	5,5—6,8 6,2	4,6—6,0 5,4	3,2—5,4 4,5	2,9—5,5 3,9	—70
		II	7 Вдоль	6,6—8,6 7,3	4,0—5,9 5,4	—	4,6—5,6 5,1	1,0—4,1 2,4	0,8—3,2 1,9	—45
			8 Поперек	5,8—5,9 5,8	4,8—6,4 5,5	—	4,6—5,2 4,8	3,9—1,1 2,1	3,5—4,3 3,8	—45
		IV	7 Вдоль	5,0—5,8 5,4	3,5—4,7 4,0	—	2,1—3,8 2,8	—	2,2—2,4 2,3	—
			8 Поперек	—	—	—	—	—	—	—
		I	7 Вдоль	20,7—23,4 22,0	14,6—19,5 15,6	—	5,7—13,3 11,0	—	7,2—11,9 9,5	Ниже —60
			8 Поперек	10,6—11,3 10,9	8,2—9,1 8,7	—	5,5—6,1 5,8	—	5,8—7,0 6,3	Ниже —60
22		I	7 Вдоль	—	—	—	—	—	—	—
			8 Поперек	—	—	—	—	—	—	—
		II	7 Вдоль	—	—	—	—	—	—	—
			8 Поперек	—	—	—	—	—	—	—

10 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,10C; 1,59Mn; 0,34Si; 0,033S; 0,023P; 0,07Cr; 0,04Ni; Cu — следы.
2. Надрез:

тип	I	II	III	IV
радиус, мм	1	1	1	0,25
глубина, мм	2	3	5	2
угол, град.	—	—	—	45°

163. Для исследования применяли лист толщиной 11 и 22 мм.
4. В числителе приведены пределы, а в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

Key to page 172

- 1) impact strength of hot-rolled steel 09G2 as function of notch shape [89]
- 2) sheet thickness, mm
- 3) notch type according to GOST 9454-60
- 4) direction of specimen grooving
- 5) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 6) t_{kr} , °C at $a_n \leq 2$ kg·m/cm²
- 7) lengthwise
- 8) crosswise
- 9) below -60
- 10) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.10 C, 1.59 Mn, 0.34 Si, 0.033 S, 0.023 P, 0.07 Cr, 0.04 Ni, traces of Cu.
- 11) 2. Notch
- 12) type
- 13) radius, mm
- 14) depth, mm
- 15) angle, degrees
- 16) 3. Sheets 11 and 22 mm thick were used for the studies. 4. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.

1 Ударная вязкость двухслойной стали 09Г2 + Х18Н9Т [49]

2 Состояние металла	3 Толщина листа, мм	4 α_u , кг·м/см ² , при температуре, °С					
		5 надрез на основном металле			6 надрез на лакирующем слое		
		+20	-40	-60	+20	-40	-60
7 В состоянии поставки	12	26,3/28,5	21,3/22,3	20,0/30,0	25,7/26,3	14,6/17,1	1,5/18,8
	20	33,3/34,4	29,5/31,0	19,2/31,6	20,8/27,6	23,8/25,0	14,0/16,2
8 Отпущенный при 650—670° С в течение 2 ч и охлажденный на воздухе	12	26,3/26,9	27,5/28,5	25,9/26,6	31,3/36,6	24,8/36,7	2,2/20,9
	20	27,0/31,2	29,0/30,3	24,1/30,0	30,5/30,7	13,3/30,3	11,0/33,5
9 Нормализованный при 920° С в течение часа	12	31,0/36,3	27,3/36,7	20,0/27,9	26,3/26,3	16,8/17,0	2,1/4,6
	20	29,5/27,3	24,4/27,5	23,1/26,3	23,4/25,9	2,2/20,0	11,0/12,9
10 Нормализованный при 920° С в течение часа, отпущенный при 650—670° С в течение 2 ч с последующим охлаждением на воздухе	12	29,4/32,1	29,4/36,7	27,5/28,1	34,5/37,5	27,5/35,7	2,1/36,6
	20	31,3/32,7	29,4/32,0	27,8/30,5	28,4	11,2/12,11	9,4/12,2
11 Закаленный с 920° С в течение часа в воде и отпущенный при 650—670° С в течение 2 ч с последующим охлаждением на воздухе	12	31,0/37,5	$\frac{30,3}{37,5}$	$\frac{31,3}{34,5}$	$\frac{29,4}{32,7}$	$\frac{36,3}{36,3}$	$\frac{3,0}{28,8}$
	20	$\frac{29,8}{35,6}$	$\frac{25,7}{29,4}$	$\frac{28,7}{31,0}$	$\frac{28,8}{28,8}$	$\frac{27,5}{28,8}$	$\frac{11,6}{27,9}$

12. Примечание. В числителе даны минимальные, а в знаменателе максимальные значения ударной вязкости.

Key to page 174

- 1) impact strength of two-layered steel 09G2 + Kh18N9T [49]
- 2) metal state
- 3) sheet thickness, mm
- 4) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 5) notch in base metal
- 6) notch in clad layer
- 7) in as-delivered state
- 8) tempered at 650-670°C for 2 hours and cooled in air
- 9) normalized at 920°C for 1 hour
- 10) normalized at 920°C for 1 hour, tempered at 650-670°C for 2 hours with subsequent cooling in air
- 11) quenched from 920°C for 1 hour in water and tempered at 650-670°C for 2 hours with subsequent cooling in air
- 12) Note. The minimum impact-strength values are given in the numerator, and the maximum values in the denominator.

1 III. Свойства сварных соединений при низких температурах

2 Ударная вязкость швов стали 09Г2, полученных автоматической сваркой проволокой Св-08 под флюсом АН-484А (90)

3 Состояние испытываемого шва	4 a_H , кг·м/см ² , при температуре, °С					5 $\frac{a_H}{\sqrt{a_H}}$, кг·м/см ²
	+20	0	-20	-40	-60	
6 После сварки	$\frac{12,7-17,1}{15,4}$	$\frac{12,9-15,7}{14,2}$	$\frac{7,5-11,1}{9,8}$	$\frac{9,8-13,0}{10,9}$	$\frac{1,2-10,0}{5,9}$	-50
7 После старения	$\frac{6,7-8,2}{7,3}$	$\frac{1,4-5,5}{2,5}$	$\frac{1,2-5,0}{2,5}$	—	—	0

8 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,10С; 1,59Мп; 0,34Si; 0,023Р; 0,033S; 0,07Сг; 0,04Ni; Си — следы.
2. Для исследований применяли листы толщиной 18 мм (образцы типа I по ГОСТ 9454-60); искусственное старение наклепом выполнено по ГОСТ 9994-64.
3. В числителе даны пределы, а в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

9 Ударная вязкость швов, сваренных в среде углекислого газа на стали 09Г2 (52)

10 Марка проволоки	4 a_H , кг·м/см ² , при температуре, °С			11 a_H после механического старения при +20°С, кг·м/см ²
	+20	-20	-40	
12 Св-08Г2СА	$\frac{16,0-16,3}{16,1}$	$\frac{10,3-12,9}{11,9}$	$\frac{7,4-9,0}{8,9}$	$\frac{6,9-7,2}{7,0}$

13 Примечания: 1. Механическое старение включалось в растяжении на 10% и нагреве до 250°С в течение часа.
2. В числителе даны пределы, а в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

14 Ударная вязкость швов стали 09Г2, полученных электрошлаковой сваркой и в среде углекислого газа (50)

15 Толщина листа, мм		4 a_H , кг·м/см ² , при температуре, °С				17
		+20		-40		
		16 шов с надрезом по центру	17 основной ме- талл, надрез в зоне термиче- ского влияния	16 шов с надрезом по центру	основной ме- талл, надрез в зоне термиче- ского влияния	
18 Электрошлаковая сварка проволокой Св-10Г2 под флюсом ОСЦ-45		$\frac{9,2-14,2}{11,1}$	$\frac{20,3-27,7}{21,5}$	$\frac{0,9-8,9}{4,0}$	$\frac{14,7-19,0}{17,3}$	
10						

Key to page 176

- 1) III. Properties of welded joints at low temperatures
- 2) impact strength of steel 09G2 weld formed by automatic welding with Sv-08 wire under AN-384A flux [90]
- 3) state of weld tested
- 4) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 5) t_{kr} , $^{\circ}\text{C}$, at $a_{n\min} < 2 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 6) after welding
- 7) after aging
- 8) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.10 C, 1.59 Mn, 0.34 Si, 0.023 P, 0.033 S, 0.07 Cr, 0.04 Ni, traces of Cu. 2. Sheets 12 mm thick (type I specimens according to GOST 9454-60) were used for the studies; artificial aging by work hardening was carried out in accordance with GOST 6994-54. 3. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.
- 9) impact strength of welds formed in steel 09G2 in carbon dioxide medium [52]
- 10) wire type
- 11) a_n after strain aging at $+20^{\circ}\text{C}$, $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 12) Sv-08G2SA
- 13) Notes. 1. Strain aging consisted of 10% elongation and heating to 250°C for 1 hour. 2. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.
- 14) impact strength of steel 09G2 welds formed by molten-slag arcless electric welding and in carbon dioxide medium [50]
- 15) sheet thickness, mm
- 16) weld, with notch along center
- 17) base metal, notch in weld-metal zone.
- 18) molten-slag arcless electric welding with Sv-10G2 wire under OSTs-45 flux

1 Продолжение

3 Толщина листа, мм	2 α_H , кг·м/см ² , при температуре, °C			
	+20		-40	
	4 нис с надрезом по центру	5 основной металл, надрез в зоне термического влияния	4 нис с надрезом по центру	5 основной металл, надрез в зоне термического влияния
24	$\frac{9,1-12,6}{11,1}$	$\frac{11,0-13,6}{12,4}$	$\frac{1,0-7,1}{4,1}$	$\frac{10,3-13,3}{12,0}$
30	$\frac{8,1-11,8}{10,6}$	$\frac{7,7-8,1}{7,8}$	$\frac{1,1-8,2}{4,1}$	$\frac{4,1-6,1}{5,2}$

6 Сварка в среде углекислого газа проволокой Св-08Г2С

20	$\frac{12,1-14,1}{13,2}$	$\frac{8,0-9,4}{8,4}$	$\frac{6,8-8,6}{7,8}$	$\frac{3,9-5,6}{4,8}$
32	$\frac{13,1-15,0}{14,1}$	$\frac{10,6-15,4}{12,9}$	$\frac{8,0-11,8}{10,0}$	$\frac{6,1-10,2}{8,0}$

7 Примечания:

8 1. Состав стали, %:

3 Толщина листа, мм	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S
10	0,07	0,19	1,45	0,13	9 Следы	0,23	0,027
24	0,10	0,25	1,32	0,14		0,14	0,030
30	0,12	0,28	1,33	0,14		0,24	0,028

10 2. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

11 Сталь 10Г2

12 1. Свойства при +20°С по ГОСТ 4543-81

13 Химический состав, %

C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Cu
			14 не более				
0,07-0,15	1,20-1,60	0,17-0,37	0,035	0,035	0,25	0,25	0,20

Key to page 178

- 1) continued
- 2) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 3) sheet thickness, mm
- 4) weld with notch along center
- 5) base metal, notch in weld-metal zone
- 6) welding in carbon dioxide medium with Sv-08G2S wire
- 7) Notes.
- 8) 1. Steel composition, %
- 9) traces
- 10) 2. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.
- 11) steel 10G2
- 12) I. Properties at +20°C according to GOST 4543-61
- 13) chemical composition, %
- 14) not. above

1 Механические свойства

2 HV кг/мм ² по болот	3 σ_B кг/мм ²	4 σ_T кг/мм ²	5 δ , %	6 ψ , %	7 Термическая обработка
197	43	25	22	50	7 Нормализация

8 Примечание. Твердость дана для стали в отожженной или отпущенной состоянии.

9 Примечание — для изготовления сварных и штампованных деталей невысокой прочности, а также для изготовления трубопроводов, установок депарафинизации нефти.

10 II. Механические свойства при низких температурах

11 Прочность при растяжении [109]

12 Темпера- тура °C	3 σ_B кг/мм ²	4 σ_T кг/мм ²	5 δ , %	Темпе- ратура °C	3 σ_B кг/мм ²	4 σ_T кг/мм ²	5 δ , %
20	47,0	28,4	31,0	-100	81,5	72,0	27,1
-50	52,2	31,3	32,2	-199	81,5	72,0	27,1
-74	54,3	33,5	31,3				

13 Модуль упругости [109]

Температура 12 °C	+20	-50	-100	-193
14 E , кг/мм ²	19 670	20 410	20 810	21 670

15 Ударная вязкость [111]

5 Термическая обработка	16 α_K кг·м/см ² , при температуре, °C		
	+20	-40	-70
17 Отжиг 900° C	25,6	15,6	12,0
18 Нормализация 900° C	37,2	28,2	18,9
19 Закалка 900° C, отпуск 500° C	32,8	31,0	21,5
" 900° C, " 600° C	37,8	35,0	25,0
" 900° C, " 650° C	38,0	36,0	27,5

20 Примечание. Химический состав стали, %: 0,17 C; 1,33 Mn; 0,38 Si; 0,13 Cr; 0,033 S; 0,028 P.

7 С. И. Гудков 1988

Key to page 180

- 1) mechanical properties
- 2) HB, kg/mm^2 not above
- 3) σ_v , kg/mm^2
- 4) σ_t , kg/mm^2
- 5) heat treatment
- 6) not below
- 7) normalizing
- 8) Note. Hardness is given for the steel in the annealed or tempered state.
- 9) Application - for production of welded and pressed components of low strength, as well as for production of piping and equipment for oil deparaffination.
- 10) II. Mechanical properties at low temperatures
- 11) tensile strength [109]
- 12) temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 13) elastic modulus [111]
- 14) E, kg/mm^2
- 15) impact strength [111]
- 16) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m/cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 17) 900°C annealing
- 18) 900°C normalizing
- 19) 900°C quenching, 500°C tempering
- 20) Note. Chemical composition of steel, %: 0.17 C, 1.23 Mn, 0.28 Si, 0.13 Cr, 0.033 S, 0.028 P.

1 Влияние старения на ударную вязкость стали при низких температурах [91]

2 Состояние материала	3 a_n , кг·м/см ² , при температуре, °C						
	+20	-40	-50	-60	-70	-80	-90
4 В состоянии поставки	$\frac{8,8-10,0}{9,5}$	$\frac{7,2-9,0}{8,0}$	$\frac{6,0-6,8}{6,3}$	—	$\frac{4,2-5,1}{4,5}$	$\frac{0,6-4,7}{2,7}$	$\frac{0,3-0,9}{0,7}$
5 После растяжения на 8% (поперек направления проката) и выдержки при 200°С в течение 2 ч	$\frac{6,8-8,0}{6,9}$	$\frac{3,2-8,0}{6,9}$	$\frac{2,8-4,2}{3,5}$	$\frac{2,4-3,6}{3,1}$	$\frac{1,2-1,6}{1,4}$	$\frac{0,3-0,8}{0,6}$	—

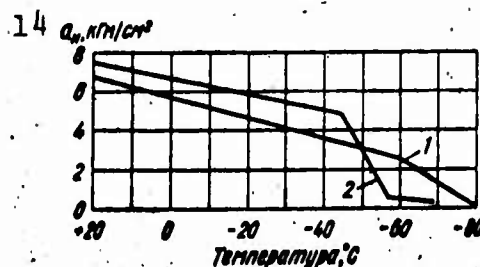
- 6 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,15 С; 1,6 Мн; 0,24 Si; 0,025 S; 0,015 Р.
 2. Для исследований применяли листы толщиной 10 мм.
 3. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

7 III. Свойства сварных соединений при низких температурах

8 Механические свойства сварных соединений стали 10Г2 [91]

9 Толщина листа, мм	10 Технология сварки	11 σ_B , кг/мм ²	12 δ_5 , %	3 a_n , кг·м/см ² , при температуре, °C	
				+20	-100
10	12 Ручная электросварка электродом ВСН-3 с проволокой 08Н3	$\frac{61,8-64,0}{62,5}$	$\frac{16,6-19,3}{17,6}$	$\frac{16,5-16,4}{16,4}$	$\frac{3,8-8,4}{6,3}$

- 13 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,15 С; 1,6 Мн; 0,24 Si; 0,025 S; 0,015 Р.
 2. При растяжении образцы разрушались по основному металлу.
 3. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.



16 Рис. 42. Ударная вязкость основного металла и сварных швов стали 10Г2 после старения:
 1 — основной металл (лист 10 мм) стали 10Г2 (0,15% С; 0,24% Si; 1,6% Мн; 0,025% S; 0,015% Р); 2 — сварное соединение, выполненное электродом ВСН-3 с проволокой на стали 08Н3

Key to page 182

- 1) influence exerted by aging on impact strength of steel at low temperatures [91]
- 2) material state
- 3) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 4) in as-delivered state
- 5) after 8% elongation (transverse to direction of rolling) and holding at 200°C for 2 hours
- 6) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.15 C, 1.6 Mn, 0.24 Si, 0.025 S, 0.015 P. 2. Sheets 10 mm thick were used for the studies. 3. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.
- 7) III. Properties of welded joints at low temperatures
- 8) mechanical properties of welded steel 10G2 joints [91]
- 9) sheet thickness, mm
- 10) welding procedure
- 11) σ_v , kg/mm^2
- 12) manual electric welding with VSN-3 electrode with 08N3 wire
- 13) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.15 C, 1.6 Mn, 0.24 Si, 0.025 S, 0.015 P. 2. In tensioning, the specimens failed in the base metal. 3. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.
- 14) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 15) temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 16) Fig. 42. Impact strength of base metal and steel 10G2 welds after aging. 1) base metal (10 mm sheet) steel 10G2 (0.15% C, 0.24% Si, 1.6% Mn, 0.025% S, 0.015% P); 2) welded joint formed by VSN-3 electrode with steel 08N3 wire

1 Сталь 14Г2

2 I. Свойства при +20°С по ГОСТ 5058—57

3 Химический состав, %

C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	S	P
4 не более							
0,12—0,18	0,20—0,40	1,20—1,60	0,30	0,30	0,30	0,040	0,040

5 Механические свойства

6 Толщина про- ката, мм	7 σ_B , кг/мм ²	8 σ_T , кг/мм ²	9 δ_{10} , %	9 Испытание на загиб в холод- ном состоянии
не менее				
4—10	48	34	18	180°
11—20	47	33	18	

10 Примечание. Угол загиба определен на оправке (с), равной двойной толщине листа (а).

11 Назначение — для изготовления крупных листовых корпусов сварных конструкций (вылеудователи, воздухонагреватели доменных печей, колонны цехов).

12 II. Механические свойства при низких температурах

13 Прочность при растяжении [80]

14 Температура испытания, °С	15 σ_B	16 σ_T	17 δ_5	18 ψ
17 кг/мм ²		%		
+20	54,8	35,0	25,4	61,3
—20	63,0	39,5	27,5	64,3
—40	66,2	39,5	28,3	63,3
—70	64,5	44,5	31,0	59,5
—196	89,9	87,8	5,0	5,7

18 Примечания: 1. Для исследований применяли лист толщиной 20 мм.
2. Образцы вырезаны из листов поперек прокатки.

Key to page 184

- 1) steel 14G2
- 2) I. Properties at +20°C according to GOST 5058-57
- 3) chemical composition, %
- 4) not above
- 5) mechanical properties
- 6) thickness of rolled stock, mm
- 7) σ_v , kg/mm²
- 8) σ_t , kg/mm²
- 9) bending test in cold state
- 10) Note. Bending angle is determined on mandrel (c) equal to double the sheet thickness (a).
- 11) Application - for production of large-scale sheeting for welded structures (dust collectors, blast stoves for blast furnaces and plant columns)
- 12) II. Mechanical properties at low temperatures
- 13) tensile strength [80]
- 14) test temperature, °C
- 15) σ_v
- 16) σ_t
- 17) kg/mm²
- 18) Notes. 1. A sheet 20 mm thick was used for the studies. 2. The specimens were cut from sheets opposite to the direction of rolling.

1 Ударная вязкость

Температура листа, мм	3 Состояние материала	4 α_u , кг·м/см ² , при температуре, °C					5 Температура испытания, °C	6 Литература
		+20	0	-20	-40	-60		
20	7 Горячекатаный	10,2—24,8 15,1	7,2—22,0 11,7	4,7—17,0 9,9	3,0—6,4 4,5	0,6—0,8 0,7	-40	9 Данные Инсти- тута нефте- и угле- химического син- теза
	8 Отожженный	11,0 11,0	9,4—9,6 9,5	6,8—9,7 8,2	4,7—5,9 5,3	3,7—4,5 4,1	-60	
	10 Нормализованный	13,9 13,9	11,2—12,0 11,6	8,6—8,8 8,7	6,7—7,6 7,1	4,0—6,6 5,3	-60	
	11 Нормализованный и отпущенный	20,0 20,0	15,6—21,0 18,3	13,5—21,0 17,2	7,2—17,9 13,4	5,9—8,5 7,2	13 Ниже -60	
	12 Закаленный и отпу- щенный	14,0—14,5 14,2	13,2—13,7 13,4	11,8—12,3 12,0	9,0—14,4 11,7	7,5—12,0 9,7	13 Ниже -60	
30°	7 Горячекатаный	5,7—6,0 5,85	4,4—4,8 4,7	0,9—0,9 0,9	0,7—3,0 1,85	0,5—0,7 0,6	—	[82]
	12 Закаленный и отпу- щенный	5,7—7,5 6,7	5,5—8,0 6,6	5,1—5,2 5,1	5,5—6,7 6,2	3,8—5,6 4,43	—	
30°	7 Горячекатаный	5,4—6,4 5,9	3,8—4,0 3,9	3,5—4,6 4,0	0,8—1,5 1,1	0,5—1,0 0,8	—	[82]
	12 Закаленный и отпу- щенный	6,1—6,7 6,5	6,1—6,1 6,1	4,4—4,9 4,7	3,4—6,0 5,0	4,0—5,2 4,8	—	

Key to page 186

- 1) impact strength
- 2) sheet thickness, mm
- 3) material state
- 4) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 5) t_{kr} , $^{\circ}\text{C}$, at $a_{n\min} \leq 4 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 6) source
- 7) hot-rolled
- 8) annealed
- 9) data of the Institute of Petrochemical and Coal Tar Synthesis
- 10) normalized
- 11) normalized and tempered
- 12) quenched and tempered
- 13) below -60

1 Продолжение

2 Толщина листа, мм	3 Состояние материала	4 $\sigma_{\text{н}}$, кг-м/см ² , при температуре, °C					5 Темп., °C при ударе кг-м/см ²	6 Литература
		+20	0	-20	-40	-60		
30	7 Горячекатаный	$\frac{22,5-27,8}{25,6}$	$\frac{13,3-20,4}{17,4}$	$\frac{13,8-23,5}{17,7}$	$\frac{10,8-12,0}{11,4}$	$\frac{1,3-2,4}{1,7}$	-60	11 Данные Инсти- тута нефте- и угле- химического син- теза
	8 Отожженный	$\frac{10,0-16,3}{11,9}$	$\frac{10,0-10,6}{10,3}$	$\frac{6,0-7,3}{6,9}$	$\frac{6,0-6,7}{6,3}$	$\frac{0,4-7,5}{4,6}$	-60	
	9 Нормализованный и отпущенный	$\frac{8,2-10,1}{9,1}$	$\frac{9,5-10,0}{9,7}$	$\frac{7,5-9,8}{8,7}$	$\frac{5,4-11,4}{6,3}$	$\frac{4,0-6,0}{4,9}$	-60	
	10 Закаленный и отпу- щенный	$\frac{11,5-12,8}{12,1}$	$\frac{10,3-14,2}{12,0}$	$\frac{7,2-8,8}{7,9}$	$\frac{5,3-7,2}{6,3}$	$\frac{3,3-6,2}{4,9}$	-60	

12 Примечания: 1. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

13 2. Химический состав стали, %:

2 Толщина листа, мм	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
20	0,165	1,44	0,28	—	—	—	0,032	0,030
30	0,15	1,60	0,43	0,05	0,64	0,04	0,022	0,035
30*	0,14	1,60	0,38	0,1	0,1	0,02	—	—
30**	0,18	1,54	0,33	0,1	0,1	0,02	0,028	0,036

Key to page 188

- 1) continued
- 2) sheet thickness, mm
- 3) material state
- 4) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 5) t_{kr} , °C, at $a_{nmin} \leq 4$ kg·m/cm²
- 6) source
- 7) hot-rolled
- 8) annealed
- 9) normalized and tempered
- 10) quenched and tempered
- 11) data of the Institute of Petrochemical and Coal Tar Synthesis
- 12) Notes. 1. The limits are given in the numerator and the average impact-strength values in the denominator.
- 13) 2. Chemical composition of steel, %

1 Влияние толщины листа и направления прокатки на ударную вязкость горячекатаной стали 14Г2 [92]

2 Толщина листа мм	3 Положение образца	4 σ_H , кг·м/см ² , при температуре, °C				
		+20	0	-20	-40	-60
10	5 Вдоль	12,2—13,7 12,2	12,0—12,7 12,4	8,4—15,0 11,5	5,0—13,0 7,9	0,75—0,75 0,75
	6 Поперек	8,8—8,8 8,8	8,5—12,0 10,2	3,9—5,5 4,7	1,7—2,2 1,95	0,75—0,9 0,82
20	5 Вдоль	15,7—18,0 16,5	12,0—14,0 12,7	10,2—12,8 11,5	1,6—11,5 7,53	1,2—5,5 3,25
	6 Поперек	6,7—7,5 7,2	4,5—5,2 4,9	3,7—5,5 4,65	0,6—5,5 3,52	1,8—4,8 3,3
30	5 Вдоль	14,0—14,7 14,5	10,4—19,0 10,6	9,8—19,1 9,6	3,7—14,0 9,2	1,2—4,3 2,7
	6 Поперек	7,3—7,8 7,46	5,5—6,0 5,7	5,0—6,2 5,48	6,0—6,9 6,36	1,2—4,3 2,7

7 Примечания:

1. Химический состав стали, %

2 Толщина листа мм	C	Mn	Si	Cu	Ni	Cr	S	P
10	0,16—0,18	1,23—1,24	0,36—0,37	0,04	0,02	Следы	0,030	0,021—0,022
20	0,15	1,22—1,23	0,39—0,41	0,04	0,02	Следы	0,032	0,023—0,027
30	0,15	1,16	0,35—0,36	0,04	Следы	0,08	0,027—0,031	0,023—0,029

8 2. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.
3. $T_{кр}$ между -40 и -60° C.

9 Ударная вязкость термически обработанной стали [89]

10 Термическая обработка	3 Положе- ние образца	4 σ_H , кг·м/см ² , при температуре, °C			11 $T_{кр}$, °C, при σ_H при ≤ 2 кг·м/см ²
		+20	-40	-60	
12 Нормализация при 900° C	5 Вдоль	19,4—20,9 20,3	11,5—13,1 12,5	10,5—11,4 10,9	13 Ниже -60
	6 Поперек	10,3—11,1 10,7	—	—	
14 Закалка с 900° C в воде с последующим отпуском при 650° C в течение 2 ч	5 Вдоль	17,2—18,6 18,1	—	—	13 Ниже -60
	6 Поперек	8,1—8,9 8,4	6,1—7,2 6,5	5,1—6,8 6,1	

Key to page 190

- 1) influence of sheet thickness and rolling direction on impact-strength of hot-rolled steel 14G2 [92]
- 2) sheet thickness, mm
- 3) location of specimen
- 4) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 5) lengthwise
- 6) crosswise
- 7) Notes. 1. Chemical composition of steel, %
- 8) 2. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator, 3. t_{kr} between -40 and -60°C .
- 9) impact strength of heat-treated steel [89]
- 10) heat treatment
- 11) t_{kr} , $^{\circ}\text{C}$, at $a_{n\min} \leq 2 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 12) normalizing at 900°C
- 13) below -60
- 14) quenching from 900°C in water with subsequent tempering at 650°C for 2 hours

1Продолжение

2Термическая обработка	3Положе- ние образца	4 $a_{\text{н}}$, кг·м/см ² , при температуре, °С			5 $T_{\text{кр}}$, °С, при $a_{\text{н}} \leq 2$ кг·м/см ²
		+20	-40	-60	
6Закалка с 900°С в воде с последующим от- пуском при 650°С в те- чение 10 ч	7 Поперек	$\frac{8,9-10,2}{9,7}$	$\frac{7,0-7,7}{7,3}$	$\frac{5,5-7,7}{6,2}$	8 Ниже -60

9Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,16 С; 1,40 Мп; 0,31 Si; 0,033 Р; 0,023 S; 0,26 Cr; 0,06 Ni; 0,09 Cu.
2. Для исследований применяли листы толщиной 12 мм (образцы типа I по ГОСТ 9454-60).
3. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

10 Ударная вязкость стали, подвергнутой старению [89]

11 Режим старения	12Направление по отношению к про- катке		4 $a_{\text{н}}$, кг·м/см ² , при температуре, °С			5 $T_{\text{кр}}$, °С, при $a_{\text{н}} \leq 2$ кг·м/см ²
	13растяже- ние пластин	14вырезка образцов	+20	0	-20	
15 Растяжение го- рячекатаного ме- талла на 10%, старение при 250°С в течение часа	16 Вдоль	16 Вдоль	$\frac{9,1-11,2}{10,4}$	$\frac{1,5-12,2}{7,7}$	$\frac{0,8-1,0}{0,9}$	+10
	16 Поперек	16 Поперек	$\frac{1,7-2,7}{2,3}$	$\frac{1,8-2,2}{1,9}$	$\frac{0,5-1,0}{0,8}$	+20
	16 Вдоль	16 Вдоль	$\frac{2,9-3,7}{3,3}$	$\frac{1,2-3,1}{2,3}$	$\frac{0,7-1,0}{0,9}$	+10
	16 Поперек	16 Поперек	$\frac{2,8-6,2}{4,9}$	$\frac{0,7-7,0}{2,7}$	$\frac{0,9-1,0}{1,0}$	+10
17 То же, но нор- мализованного ме- талла	16 Вдоль	16 Вдоль	$\frac{7,7-9,6}{8,7}$	$\frac{5,0-5,8}{5,3}$	$\frac{4,8-5,5}{5,2}$	Ниже -20
	16 Поперек	16 Поперек				

9Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,16 С; 1,40 Мп; 0,31 Si; 0,033 Р; 0,023 S; 0,26 Cr; 0,06 Ni; 0,09 Cu.
2. Для исследований применяли листы толщиной 12 мм (образцы типа I по ГОСТ 9454-60).
3. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

19 Ударная вязкость горячекатаной стали в зависимости от вида надреза [89]

20	21Глубина надреза, мм	22Радиус на- дреза, мм	3Положение образца	4 $a_{\text{н}}$, кг·м/см ² , при температуре, °С			
				+20	-10	-20	-30
1	2	1	16 Вдоль	$\frac{14,0-15,8}{14,9}$	—	$\frac{4,1-6,7}{5,9}$	$\frac{0,8-6,7}{3,1}$
1	2	1	16 Поперек	$\frac{6,9-8,2}{7,4}$	$\frac{4,1-5,8}{5,0}$	$\frac{3,5-5,8}{4,2}$	$\frac{2,1-3,7}{3,1}$

Key to page 192

- 1) continued
- 2) heat treatment
- 3) specimen location
- 4) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 5) t_{kr} , °C, at $a_{nmin} \leq 2$ kg·m/cm²
- 6) quenching from 900°C in water with subsequent tempering at 650°C for 10 hours
- 7) crosswise
- 8) below -60
- 9) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.16 C, 1.40 Mn, 0.31 Si, 0.033 P, 0.023 S, 0.26 Cr, 0.06 Ni, 0.09 Cu. 2. Sheets 12 mm thick (type I specimens according to GOST 9454-60) were used for the studies. 3. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.
- 10) impact strength of steel subjected to aging [89]
- 11) aging procedure
- 12) direction with respect to rolling
- 13) plate tensioning
- 14) specimen grooving
- 15) 10% elongation of hot-rolled metal, aging at 250°C for 1 hour
- 16) lengthwise
- 17) same, but normalized metal
- 18) below -20
- 19) impact strength of hot-rolled steel as function of notch shape [89]
- 20) notch type according to GOST 9454-60
- 21) notch depth, mm
- 22) notch radius, mm

1 Продолжение

2 Тип надреза по ГОСТ 9454-80	3 Глубина надреза, мм	4 Радиус над- реза, мм	5 Положение образца	6 σ_n , кг·м/см ² , при температуре, °С			
				+20	-10	-20	-30
II	3	1	7 Поперек	$\frac{5,2-5,8}{5,6}$	$\frac{4,0-4,6}{4,3}$	$\frac{0,7-4,3}{2,2}$	—
III	5	—	7 Поперек	$\frac{5,4-5,7}{5,5}$	$\frac{4,5-5,3}{4,9}$	$\frac{3,7-3,9}{3,8}$	—
IV	2	0,25	7 Поперек	$\frac{5,2-6,5}{5,8}$	$\frac{1,7-2,3}{2,1}$	$\frac{1,3-1,9}{1,7}$	$\frac{1,1-1,8}{1,4}$

1 Продолжение

2 Тип надреза по ГОСТ 9454-80	3 Глубина надреза, мм	4 Радиус надреза, мм	5 Положение образца	6 σ_n , кг·м/см ² , при температуре, °С		8 $T_{кр}$, °С, при $\sigma_{ннн} \leq 2$ кг·м/см ²
				-40	-60	
I	2	1	9 Вдоль	$\frac{0,9-4,1}{2,6}$	$\frac{0,6-0,6}{0,6}$	-25
I	2	1	7 Поперек	$\frac{0,6-0,8}{0,7}$	$\frac{0,5-0,5}{0,5}$	-36
II	3	1	7 Поперек	$\frac{0,7-0,9}{0,9}$	$\frac{0,6-0,7}{0,6}$	-15
III	5	—	7 Поперек	$\frac{1,0-1,2}{1,1}$	$\frac{0,4-0,6}{0,5}$	-30
IV	2	0,25	7 Поперек	$\frac{0,6-1,3}{0,9}$	$\frac{0,5-0,6}{0,5}$	-5

10 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,16 С; 1,40 Мп; 0,31 Si; 0,033 S; 0,028 S; 0,36 Cr; 0,06 Ni; 0,09 Cu.
2. У образца типа IV угол надреза 45°.

11 III. Сварные соединения при низких температурах

12 Ударная вязкость швов стали 14Г2, полученных автоматической сваркой проволокой Св-08 под флюсом АН-384А [90]

13 Состояние испытываемого шва	6 σ_n , кг·м/см ² , при температуре, °С					14 $T_{кр}$, °С, при $\sigma_{ннн} \leq 2$ кг·м/см ²
	+20	0	-20	-40	-60	
15 После сварки	$\frac{12,1-14,5}{12,9}$	$\frac{8,4-11,6}{10,1}$	$\frac{8,2-9,5}{8,7}$	$\frac{9,4-11,0}{10,3}$	$\frac{4,5-7,8}{6,9}$	Низы -60 16

Key to page 194

- 1) continued
- 2) notch type according to GOST 9454-60
- 3) notch depth, mm
- 4) notch radius, mm
- 5) specimen location
- 6) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 7) crosswise
- 8) t_{kr} , °C, at $a_{nmin} \leq 2$ kg·m/cm²
- 9) lengthwise
- 10) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.16 C, 1.40 Mn, 0.31 Si, 0.033 P, 0.023 S, 0.26 Cr, 0.06 Ni, 0.09 Cu. 2. The notch angle is 45° for the type-IV specimen.
- 11) III. Welded joints at low temperatures
- 12) impact strength of steel 14G2 welds formed by automatic welding with Sv-08 wire under AN-348A flux [90]
- 13) state of weld tested
- 14) t_{kr} , °C, at $a_{nmin} < 2$ kg·m/cm²
- 15) after welding
- 16) below -60

1 Продолжение

2 Состояние испытываемого шва	3 σ_H , кг·м/см ² , при температуре, °C					4 $T_{кр}$, °C, при σ_H , кг·м/см ² $\sigma_{кр}$, кг·м/см ²
	+20	0	-20	-40	-60	
5 После старения	$\frac{5,1-6,8}{6,3}$	$\frac{1,2-6,9}{4,7}$	$\frac{1,4-5,6}{4,2}$	—	—	0

6 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,18 C; 1,64 Mn; 0,36 Si; 0,034 P; 0,022 S; 0,22 Cr; 0,06 Ni; 0,15 Cu.
2. Для исследований применяли листы толщиной 12 мм (образцы типа I по ГОСТ 9454-60).
3. Искусственное старение наклепом выполнено по ГОСТ 6996-54.
4. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

7 Сталь 09Г2С (М), 09Г2Т (М), 09Г2ДТ (М)

8 I. Свойства при +20°С по ГОСТ 5520-62

9 Химический состав, %

C	Mn	Si	S	P
			10	не более
≤0,12	1,30—1,70	0,50—0,80	0,040	0,040

11 Механические свойства (не менее)

12 Толщина листов мм	13 σ_B , кг/мм ²	14 σ_T , кг/мм ²	δ_5 , %	δ_{10} , %	3 σ_H , кг·м/см ² , при темпера- туре, °C		
					+20	-40	-70
4—10	50,0	35,0	22	18	—	—	—
11—18	48,0	33,0	22	18	6	3,5	3,0
19—24	48,0	32,0	22	18	6	3,5	3,0
25—30	47,0	31,0	22	18	6	3,5	3,0
32—48	46,0	30,0	22	18	6	3,5	3,0
50—80	45,0	28,0	22	18	6	3,5	3,0
80—160	44,0	27,0	22	18	6	3,5	3,0

15

Назначения — для изготовления сварной аппаратуры и сосудов, работающих под давлением при температуре от -70 до +450°С. В судостроении принимают как корпусную сталь.

Key to page 196

- 1) continued
- 2) state of weld tested
- 3) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 4) t_{kr} , °C, at $a_{nmin} < 2$ kg·m/cm²
- 5) after aging
- 6) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.18 C, 1.64 Mn, 0.36 Si, 0.034 P, 0.022 S, 0.22 Cr, 0.06 Ni, 0.15 Cu. 2. Sheets 12 mm thick (type-I specimens according to GOST 9454-60) were used for the studies. 3. Artificial aging by work hardening was carried out in accordance with GOST 6996-54. 4. The limits are given in the numerator and the average impact-strength values in the denominator.
- 7) Steel 09G2S (M), 09G2T (M), 09G2DT (M)
- 8) I. Properties at +20°C according to GOST 5520-62
- 9) chemical composition, %
- 10) not above
- 11) mechanical properties (not below)
- 12) sheet thickness, mm
- 13) σ_v , kg/mm²
- 14) σ_t , kg/mm²
- 15) Application - for production of welded equipment and vessels operating under pressure and at temperatures from -70 up to +450°C. Used as a structural steel in shipbuilding.

1 II. Механические свойства при низких температурах

2 Ударная вязкость проката [85]

3 Толщина листа мм	4 a_n , кг·м/см ²			
	5 в сыром состоянии		6 после нормализации 920° С	
	+20° С	-40° С	-40° С	-70° С
10—18	$\frac{5,0-17,0}{8,5}$	$\frac{3,1-7,8}{6,5}$	$\frac{3,1-13,9}{8,7}$	$\frac{2,9-8,3}{5,2}$
20—30	$\frac{5,0-14,0}{7,5}$	$\frac{2,0-11,0}{5,2}$	$\frac{3,0-13,0}{8,3}$	$\frac{2,0-10,0}{5,1}$

7 Примечание. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

8 Средняя ударная вязкость нормализованного проката стали в зависимости от температуры [85]

3 Толщина листа мм	9 a_n , кг·м/см ² , при температуре, °С											
	+20	0	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90	-100	-120
12	11,6	10,6	9,8	9,0	8,0	7,3	6,7	5,7	4,4	0	—	—
20	11,3	11,0	9,8	9,0	7,3	7,1	6,9	6,5	5,0	4,4	4,2	1,9

10 Влияние высокого отпуска на ударную вязкость состаренной стали [85]

3 Толщина листа мм	4 a_n , кг·м/см ²	11 a_n после растяжения на 10% и старения, кг·м/см ²				12 после отпуска 680° С	
		+20	-20	-40	-70	+20	-20

13 Для сырого проката

10—12	9,9	6,4	3,55	14,1	10,5
18—20	10,2	6,2	3,6	9,1	6,0

14 Для нормализованного проката

10—12	12,1	7,9	7,2	11,1	8,7
18—20	14,1	7,9	5,1	14,5	10,8

15 Влияние степени деформации нормализованного проката при старении на ударную вязкость при пониженных температурах [85]

3 Толщина листа мм	16 a_n , кг·м/см ² в исходном состоянии при +20° С	17 После старения при деформации		
		10%	5%	
		-40° С	-40° С	-70° С
10—12	11,8	3,5	5,0	3,5
18—20	13,0	3,6	4,6	4,2

Key to page 198

- 1) II. Mechanical properties at low temperatures
- 2) impact strength of rolled stock [85]
- 3) sheet thickness, mm
- 4) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 5) in crude state
- 6) after normalizing at 920°C
- 7) Note. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.
- 8) average impact strength of normalized rolled steel stock as function of temperature [85]
- 9) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^\circ\text{C}$
- 10) influence exerted by high tempering on impact strength of artificially aged steel [85]
- 11) a_n after 10% elongation and aging, $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 12) after 650°C tempering
- 13) for crude rolled stock
- 14) for normalized rolled stock
- 15) influence of degree of strain aging of normalized rolled stock on impact strength at reduced temperatures [85]
- 16) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, in initial state at $+20^\circ\text{C}$
- 17) after aging with deformation of

1 Ударная вязкость стали 09Г2С (М) после деформационного термического старения [93]

2 Режим старения	3 Термическая обработка перед старением	4 α_H , кг·м/см ² , при температуре, °С			
		+20	0	-10	-20
5 Без старения	6 Без термической обработки	13,6—20,8	—	—	1,6—19,5
	7 Отпуск	11,0—19,5	—	—	2,0—13,0
	8 Нормализация	17,7—27,4	—	—	14,2—26,6
	9 Нормализация и отпуск	15,8—21,0	—	—	10,5—20,5
10 Наклеп (растяжение на 10%)	6 Без термической обработки	1,9—6,2	0,8—1,7	0,4—1,4	0,4—0,9
	7 Отпуск	4,0—9,0	0,6—3,0	0,4—2,5	0,5—3,4
	8 Нормализация	6,5—10,0	3,1—7,6	0,9—8,9	1,0—2,5
	9 Нормализация и отпуск	7,6—13,0	3,6—11,8	0,9—5,4	0,6—3,1
11 Выдержка при 620°С в течение 2 ч. Охлаждение в воде с выдержкой 30 суток при +20°С.	6 Без термической обработки	11,9—22,0	16,6—19,4	0,8—16,6	0,8—15,3
	7 Отпуск	6,7—18,7	15,3—17,2	1,2—16,8	1,8—14,7
	8 Нормализация	17,4—36,2	19,2—31,6	14,0—30,8	11,9—26,6
	9 Нормализация и отпуск	14,0—30,2	12,6—28,2	11,6—29,2	12,2—27,1

12 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,11—0,12 С; 1,35—1,53 Мн; 0,43—0,54 Si; 0,07—0,11 Cr; 0,06—0,08 Ni; 0,25—0,27 Cu; 0,010—0,012 Ti.
2. Для исследований применяли листы толщиной 70—160 мм.
3. Режим термической обработки: нормализация при 920 ± 10°С, охлаждение на воздухе, отпуск 620 ± 10°С, охлаждение с печью до 300°С, затем на воздухе.

13 III. Свойства сварных соединений при низких температурах

14 Ударная вязкость швов стали 09Г2С, полученных полуавтоматической сваркой в среде углекислого газа [37]

15 Марка сварочной проволоки	16 Место вырезки образцов	17 Ударная вязкость, кг·м/см ² , при температуре, °С			
		+20	-20	-40	-60
18 09Г2С	19 Основной металла	19,0—19,5	16,0—17,0	13,7—16,2	13,0—14,0
		19,1	16,6	14,9	13,5
	Шов 20	16,8—17,5	13,5—17,2	8,9—12,2	10,3—10,8
		17,1	15,6	10,7	10,4

Key to page 200

- 1) impact strength of steel 09G2S (M) after thermal strain aging [93]
- 2) aging procedure
- 3) heat treatment prior to aging
- 4) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 5) without aging
- 6) without heat treatment
- 7) tempering
- 8) normalizing
- 9) normalizing and tempering
- 10) work hardening (10% elongation)
- 11) holding at 620°C for 2 hours, cooling in water with holding for 30 days at $+20^{\circ}\text{C}$
- 12) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.11-0.12 C, 1.35-1.53 Mn, 0.43-0.56 Si, 0.07-0.11 Cr, 0.06-0.08 Ni, 0.25-0.27 Cu, 0.010-0.012 Ti. 2. Sheets 70-160 mm thick were used for the studies. 3. Heat-treating procedure: normalizing at $920 \pm 10^{\circ}\text{C}$, cooling in air, tempering at $620 \pm 10^{\circ}\text{C}$, furnace cooling down to 300°C , then in air.
- 13) III. Properties of welded joints at low temperatures
- 14) impact strength of steel 09G2S welds formed by semiautomatic welding in carbon dioxide medium [37]
- 15) type of welding wire
- 16) location of specimen grooving
- 17) impact strength, $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 18) Sv-08G2S
- 19) base metal
- 20) weld

1 Продолжение

2 Марка сварочной проволоки	3 Место вырезки образцов	4 Ударная вязкость, кг·м/см ² , при температуре, °C			
		+20	-20	-40	-60
5 Св-08А	6 Шов *	$\frac{9,4-11,8}{10,5}$	$\frac{4,7-9,9}{7,6}$	$\frac{1,4-1,4}{1,4}$	—

7 Примечания: 8 1. Химический состав стали, %

9 Металл	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Ti
10 Основной	0,11	1,42	0,02	0,014	0,031	0,05	0,05	0,24	0,021
11 Шля	0,10	1,70	0,02	0,022	0,026	—	—	—	—
11 Шля *	0,09	0,42	0,06	0,027	0,026	—	—	—	—

12 2. Для исследований применяем листы толщиной 10 мм.
3. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

13 Ударная вязкость соединений, полученных автоматической сваркой под флюсом

14 Марка сварочной проволоки по ГОСТ 2246-84	15 Толщина листов, мм	16 Термическая обработка швов	17 α_H , кг·м/см ² , при температуре, °C						
			+20	-20	-30	-40	-50	-60	-70

18 Под флюсом АН-348 [85]

19 Св-08ГА	22	20 Нет	17,5	—	11,2	7,9	—	—	—
	28	21 Нормализация при 930°С	11,4	—	11,0	10,2	9,8	—	9,2
22 Св-12М	12	20 Нет	13,9	—	12,3	10,5	7,4	—	4,5
	22	»	15,0	—	10,6	10,1	6,4	—	4,3
	26	»	17,6	—	13,8	8,4	6,4	—	4,0

23 Под флюсом ОСЦ-45 [84]

24 Св-08	12	20 Нет	$\frac{12,7}{14,7}$	$\frac{8,2}{9,7}$	—	$\frac{6,0}{8,2}$	—	$\frac{0,8}{2,4}$	—

Key to page 202

- 1) continued
- 2) type of welding wire
- 3) location of specimen grooving
- 4) impact strength, $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 5) Sv-08A
- 6) weld*
- 7) Notes.
- 8) 1. Chemical composition of steel, %
- 9) metal
- 10) base
- 11) weld
- 12) 2. Sheets 10 mm thick were used for the studies. 3. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.
- 13) impact strength of joints formed by automatic submerged-arc welding
- 14) type of welding wire according to GOST 2246-54
- 15) sheet thickness, mm
- 16) heat treatment of welds
- 17) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 18) under AN-348 flux [85]
- 19) Sv-08 GA
- 20) none
- 21) normalizing at 930°C
- 22) Sv-12M
- 23) under OSTs-45 flux [84]
- 24) Sv-08

- 1 Продолжение

2	Марка сварочной проволоки по ГОСТ 2246-54	3 Толщина листов, мм	4 Термическая обработка швов	5 σ_H , кг·м/см ² , при температуре, °C						
				+20	-20	-30	-40	-50	-60	-70
6	Св-08Г	12	7 Нет	$\frac{12,4}{12,8}$	$\frac{7,1}{8,0}$	—	$\frac{3,3}{7,4}$	—	$\frac{0,9}{1,8}$	—

8 Примечания:

9 1. Химический состав стали, %

10	Металл	C	Mn	Si	S	P	Mo	Cu
11	Сварочной проволоки Св-08ГА	0,09—0,10	1,28—1,35	0,35—0,45	0,027	0,03	—	—
12	Сварочной проволоки Св-13М	0,12	1,15—1,42	0,38—0,42	0,025	0,030	0,19—0,22	—
13	Основной	0,12	1,61	0,20	0,016	0,028	0,14Cr	0,25

14 2. В числителе даны наименьшие, в знаменателе — наибольшие значения ударной вязкости.

15 Ударная вязкость стали 09Г2С в околошовной зоне
(1,5 мм от границы сплавления) при электрошлаковой сварке [93]

3 Толщина листа, мм	16 Состояние металла до сварки	Положение шва по отношению к направле- нию про- катки 17	5 σ_H , кг·м/см ² , при температуре, °C		
			+20	-10	-20
90	18 Без термической обработки	19 Вдоль	$\frac{16,2-18,4}{17,2}$	—	$\frac{10,6-14,2}{12,1}$
		20 Поперек	$\frac{19,3-20,7}{20,4}$	—	$\frac{14,4-19,6}{16,2}$
		19 Вдоль	$\frac{15,6-21,6}{19,0}$	—	$\frac{7,0-16,2}{12,1}$
	21 Нормализованный при 920° С	20 Поперек	$\frac{16,2-18,7}{17,9}$	$\frac{11,8-13,1}{12,0}$	$\frac{4,3-11,1}{8,5}$
		19 Вдоль	$\frac{15,8-17,1}{16,5}$	—	$\frac{7,1-10,3}{8,4}$
		20 Поперек	$\frac{22,6-22,9}{22,7}$	$\frac{19,4-19,5}{19,4}$	$\frac{3,5-16,4}{7,1}$
160	18 Без термической обработки	19 Вдоль	$\frac{15,8-17,1}{16,5}$	—	$\frac{7,1-10,3}{8,4}$
		20 Поперек	$\frac{22,6-22,9}{22,7}$	$\frac{19,4-19,5}{19,4}$	$\frac{3,5-16,4}{7,1}$

Key to page 204

- 1) continued
- 2) type of welding wire according to GOST 2246-54
- 3) sheet thickness, mm
- 4) heat treatment of welds
- 5) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 6) Sv-08G
- 7) none
- 8) Notes.
- 9) 1. Chemical composition of steel, %
- 10) metal
- 11) Sv-08GS welding wire
- 12) Sv-12M welding wire
- 13) base
- 14) 2. The minimum impact-strength values are given in the numerator, and the maxima in the denominator.
- 15) impact strength of steel 09G2S in around-the-weld zone (1.5 mm from edge of weld-metal zone) with molten-slag arcless electric welding [93]
- 16) metal state before welding
- 17) position of weld with respect to direction of rolling
- 18) without heat treatment
- 19) lengthwise
- 20) crosswise
- 21) normalized at 920°C

1 Продолжение

2 Толщина листа, мм	3 Состояние металла до сварки	4 Положение шва по отношению к направле- нию про- катки	5 $\sigma_{\text{н}}$, кг·м/см ² , при температуре, °С		
			+20	-10	-20
160	6 Нормализованный при 920° С	7 Вдоль 8 Поперек	15,4—17,1	—	8,9—11,1
			16,3		10,1
			19,5—24,0		4,8—16,0
			21,6		11,2

1 Продолжение

2 Толщина листа, мм	3 Состояние металла до сварки	4 Положение шва по отношению к направле- нию про- катки	5 $\sigma_{\text{н}}$, кг·м/см ² , при темпера- туре, °С			9 $T_{\text{кр}}$ при $\sigma_{\text{н}}$, кг·м/см ²
			-30	-40	-70	
90	10 Без термической обработки	7 Вдоль	—	0,8—6,1	0,4—0,8	—25
		8 Поперек		4,4	0,5	
	6 Нормализованный при 920° С	7 Вдоль	1,7—9,4	2,5—16,0	0,6—1,0	—25
		8 Поперек		12,7	0,8	
		7 Вдоль		0,8—12,4	0,4—0,8	
		8 Поперек		5,9	0,6	
160	10 Без термической обработки	7 Вдоль	1,8—10,1	0,9—11,4	0,5—0,9	—25
		8 Поперек		4,0	0,7	
	6 Нормализованный при 920° С	7 Вдоль	1,6—6,1	0,8—2,5	—	—25
		8 Поперек		1,4	—	
		7 Вдоль		0,6—1,4	—	
		8 Поперек		1,2	—	

11 Примечания:

12 1. Химический состав стали, %

2 Толщина листа, мм	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	Ti	S	P
90	0,11	1,47	0,56	0,07	0,06	0,25	0,012	0,025	0,017
160	0,11	1,53	0,50	0,11	0,08	0,26	0,011	0,028	0,018

- 13 2. Сварку выполняли проволокой Са-10Г2 под флюсом АН-348А.
3. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

Key to page 206

- 1) continued
- 2) sheet thickness, mm
- 3) metal state before welding
- 4) position of weld with respect to direction of rolling
- 5) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 6) normalized at 920°C
- 7) lengthwise
- 8) crosswise
- 9) t_{kr} , $^{\circ}\text{C}$, at $a_n \leq 3 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 10) without heat treatment
- 11) Notes.
- 12) 1. Chemical composition of steel, %
- 13) 2. Welding was accomplished with Sv-10G2 wire under AN-348A flux. 3. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.

1 Влияние на ударную вязкость старения наклепом термически обработанного электрошлакового соединения стали 09Г2С (М) [94]

2 Место надреза	3 Состояние металла	4 $\sigma_{\text{н}}$, кг·м/см ² , при температуре, °С			5 $T_{\text{кр}}$, °С, при $\sigma_{\text{н}} > 3 \text{ кг·м/см}^2$
		+20	-10	-20	
6 Ось шва	7 После сварки	$\frac{2,5-2,9}{2,7}$	$\frac{0,7-0,8}{0,75}$	$\frac{0,5-0,8}{0,7}$	8 Выше 20
	9 После отпуска при 620°С	$\frac{0,9-1,0}{0,95}$	$\frac{0,8-0,8}{0,8}$	$\frac{0,8-0,9}{0,85}$	20
	10 После нормализации при 920°С и последующего отпуска при 620°С	$\frac{4,3-10,0}{7,5}$	$\frac{3,0-7,7}{6,2}$	$\frac{2,3-8,0}{6,1}$	11 Около -10
12 Участок крупного зерна зоны влияния (1,5 мм от линии сплавления)	7 После сварки	$\frac{3,6-8,2}{5,4}$	$\frac{0,7-9,0}{4,0}$	$\frac{1,7-3,2}{2,4}$	13 Около 20°
	8 После отпуска при 620°С	$\frac{7,6-10,1}{9,4}$	$\frac{0,8-1,0}{0,9}$	$\frac{0,9-1,8}{1,5}$	14 Выше 0°
	10 После нормализации при 920°С и последующего отпуска при 620°С	$\frac{9,1-10,0}{9,5}$	$\frac{8,3-10,3}{9,6}$	$\frac{2,2-5,3}{4,1}$	15 Около -15°

16 Примечания:

17 1. Химический состав стали, %

18 Металл	C	Mn	Si	Cr
19 Основной	0,11	1,47—1,83	0,50—0,56	0,07—0,11
20 Сварочной проволоки Св-10Г2	0,09—0,12	1,7—1,85	0,03—0,06	—

21 Продолжение

18 Металл	Ni	Cu	Ti	S	P
19 Основной	0,06—0,08	0,25—0,26	0,011—0,012	0,025—0,028	0,017—0,018
20 Сварочной проволоки Св-10Г2	—	—	—	0,024—0,030	0,026—0,029

- 22 2. Электрошлаковую сварку выполняли проволокой Св-10Г2 под флюсом АН-8.
 3. Для исследований применяли лист толщиной 70—160 мм.
 4. Старение наклепом проводили по ГОСТ 6996—54.
 5. В числителе даны пределы, а в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

Key to page 208

- 1) effect of strain aging on impact strength of heat-treated joint formed in steel 09G2S(M) by molten-slag arcless electric welding [94]
- 2) notch location
- 3) metal state
- 4) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 5) t_{kr} , °C, at $a_n \geq 3$ kg·m/cm²
- 6) weld axis
- 7) after welding
- 8) above 20
- 9) after tempering at 620°C
- 10) after normalizing at 920°C and subsequent tempering at 620°C
- 11) about -10
- 12) coarse-grain section of weld-metal zone (1.5 mm from junction line)
- 13) about 20°
- 14) above 0°
- 15) about -15°
- 16) Notes.
- 17) 1. Chemical composition of steel, %
- 18) metal
- 19) base
- 20) Sv-10G2 welding wire
- 21) continued
- 22) 2. Molten-slag arcless electric welding with Sv-10G2 wire under AN-8 flux. 3. Sheets 70-160 mm thick were used for the studies. 4. Strain aging in accordance with GOST 6996-54. 5. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.

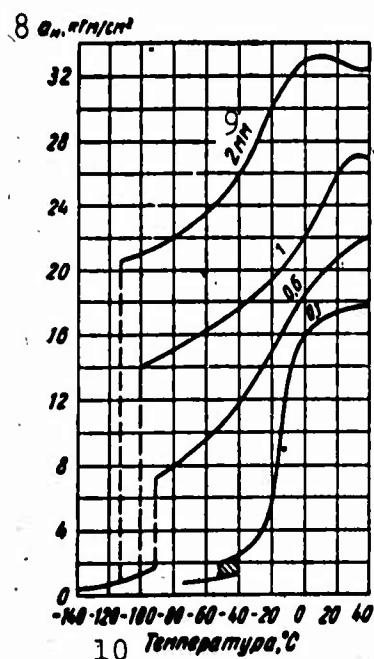
1 Влияние формы надреза на ударную вязкость электрошлакового шва
стали 09Г2С [94]

2 Вид термической обработки	3 a_H , $\text{кг}\cdot\text{м}/\text{см}^2$, при температуре, $^{\circ}\text{C}$		
	+20		
	a	b	c
4 После сварки	15,8—18,1	10,8—12,0	6,9—8,3
5 После нормализации при 920 $^{\circ}\text{C}$ и отпуска при 620 $^{\circ}\text{C}$	19,1—21,2	15,4—16,4	17,5—18,7

6 Продолжение

2 Вид термической обработки	3 a_H , $\text{кг}\cdot\text{м}/\text{см}^2$, при температуре, $^{\circ}\text{C}$		
	-20		
	a	b	c
4 После сварки	1,3—5,2	1,2—3,3	0,7—2,1
5 После нормализации при 920 $^{\circ}\text{C}$ и отпуска при 620 $^{\circ}\text{C}$	14,0—18,3	10,4—12,2	3,9—5,1

- 7 Примечания: 1. Химический состав см. в предыдущей таблице.
2. Электрошлаковую сварку выполняли проволокой Св-10Г2 под флюсом АН-8.
3. Форма надрезов на образцах: а) стандартный; б) ключевой; в) остроугольный.
4. Для исследований применяли лист толщиной 70—160 мм.

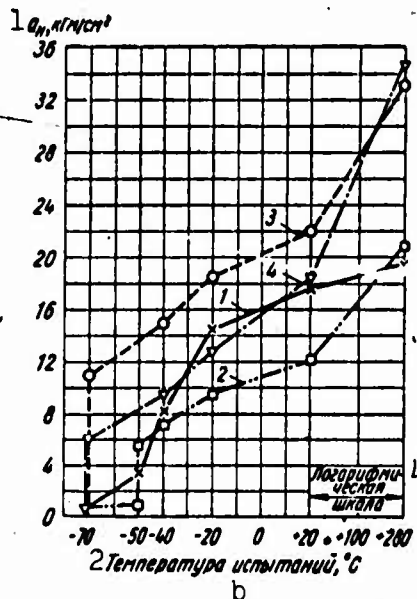
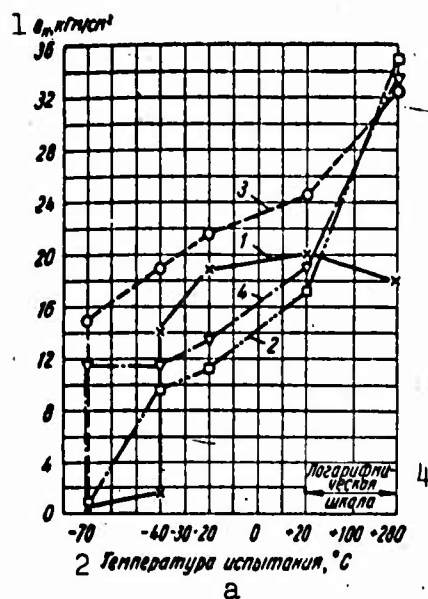


11

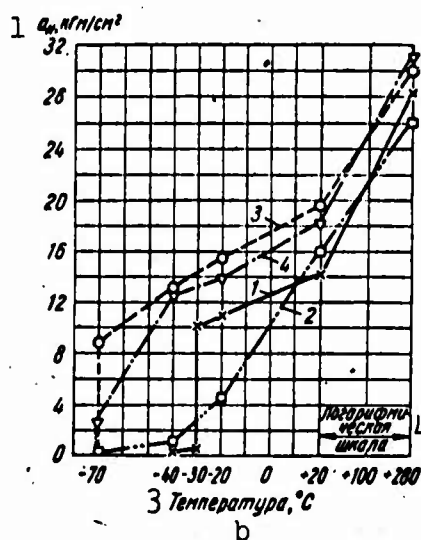
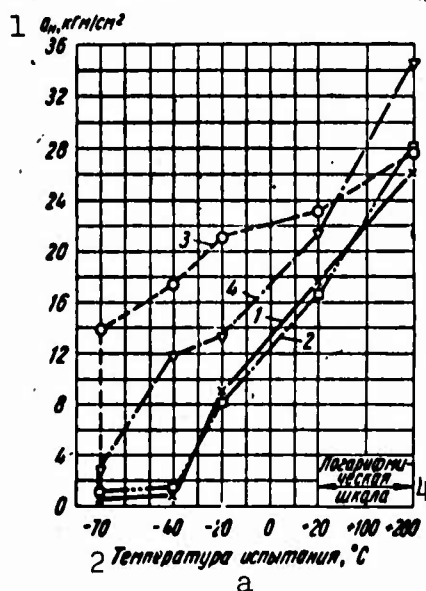
Рис. 43. Ударная вязкость листа толщиной 12 мм из стали 09Г2С (М) (0,15% С; 1,84% Мн; 0,27% Si; 0,29% Cu; 0,03% Cr; 0,026% P; 0,019% S) в зависимости от температуры испытания и радиуса надреза. [12]

Key to page 210

- 1) effect of notch shape on impact strength of molten-slag arcless electric weld in steel 09G2S [94]
- 2) type of heat treatment
- 3) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 4) after welding
- 5) after normalizing at 920°C and tempering at 620°C
- 6) continued
- 7) Notes. 1. See the preceding table for chemical composition. 2. Molten-slag arcless electric welding with Sv-10G2 wire under AN-8 flux. 3. Notch shape on specimens: a) standard; b) key; c) acute-angled. 4. Sheets 70-160 mm thick were used for the studies.
- 8) a_n , kg·m/cm²
- 9) 2 mm
- 10) temperature, °C
- 11) Fig. 43. Impact strength of steel 09G2S(M) (0.15% C; 1.84% Mn; 0.27% Si; 0.29% Cu; 0.03% Cr; 0.026% P; 0.019% S) sheet 12 mm thick as function of test temperature and notch radius [12]



5 Рис. 44. Изменение ударной вязкости проката вдоль (а) и поперек (б) стали 09Г2С (М) (0,11% С; 1,47% Мп; 0,56% Si; 0,025% S; 0,01% Р; 0,07% Cr; 0,06% Ni; 0,25% Cu; 0,012% Ti) толщиной 90 мм в зависимости от температуры: 1 — без термообработки; 2 — после отпуска при 620° С; 3 — после нормализации при 920° С; 4 — после нормализации при 920° С и отпуска при 620° С [93]



6 Рис. 45. Изменение ударной вязкости поперек (а) и вдоль (б) проката стали 09Г2С (М) (0,11% С; 1,63% Мп; 0,50% Si; 0,028% S; 0,018% Р; 0,11% Cr; 0,08% Ni; 0,26% Cu; 0,011% Ti) толщиной 160 мм в зависимости от температуры: 1 — без термообработки; 2 — после отпуска при 620° С; 3 — после нормализации при 920° С; 4 — после нормализации при 920° С и отпуска при 620° С [93]

8° С. И. Гудков 1028

Key to page 212

- 1) a_n kg·m/cm²
- 2) test temperature, °C
- 3) temperature, °C
- 4) logarithmic scale
- 5) Fig. 44. Change in impact strength of rolled steel 09G2S(M) stock (0.11% C; 1.47% Mn; 0.56% Si; 0.025% Si; 0.01% P; 0.07% Cr; 0.06% Ni; 0.25% Cu; 0.012% Ti) 90 mm thick as function of temperature. a) with rolling; b) against rolling; 1) without heat treatment; 2) after tempering at 620°C; 3) after normalizing at 920°C; 4) after normalizing at 920°C and tempering at 620°C [93]
- 6) Fig. 45. Change in impact strength of rolled steel 09G2S(M) stock (0.11% C; 1.53% Mn; 0.50% Si; 0.028% S; 0.018% P; 0.11% Cr; 0.08% Ni, 0.26% Cu; 0.011% Ti) 160 mm thick as function of temperature. a) against rolling; b) with rolling. 1) without heat treatment; 2) after tempering at 620°C; 3) after normalizing at 920°C; 4) after normalizing at 920°C and tempering at 620°C [93]

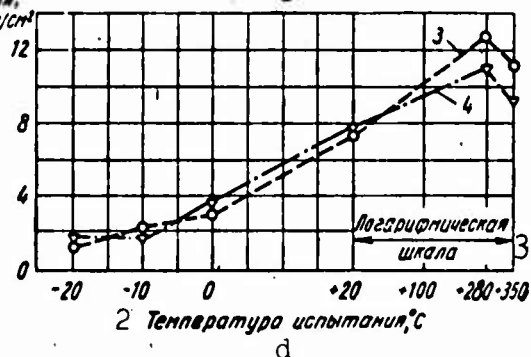
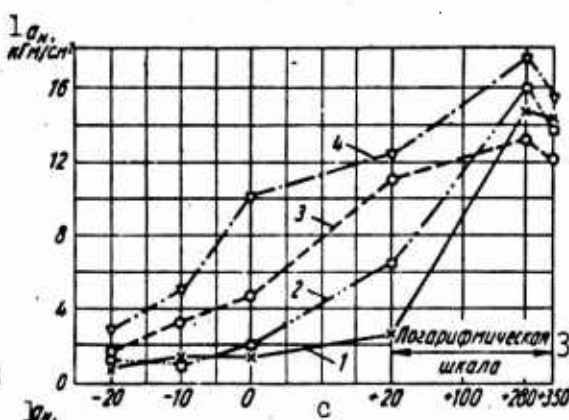
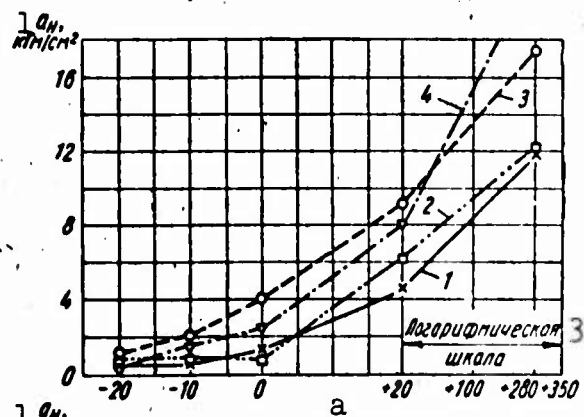


Рис. 46. Изменение ударной вязкости стали 09Г2С (М) (0,11—0,12% С; 1,35—1,53% Мп; 0,43—0,56% Si; 0,07—0,11% Cr; 0,0—0,08% Ni; 0,25—0,27% Cu; 0,010—0,012% Ti; 0,020—0,028% S; 0,017—0,026% Р) толщиной 90 и 160 мм соответственно поперек (а, в) и вдоль (б, г) проката после старения наклепом в зависимости от температуры: 1 — без термообработки; 2 — после отпуска при 620° С; 3 — после нормализации при 920° С; 4 — после нормализации при 920° С и отпуска при 620° С. Старение: вытяжка на 10% и выдержка при +250° С в течение часа. Образцы вырезаны поперек направления вытяжки [93]

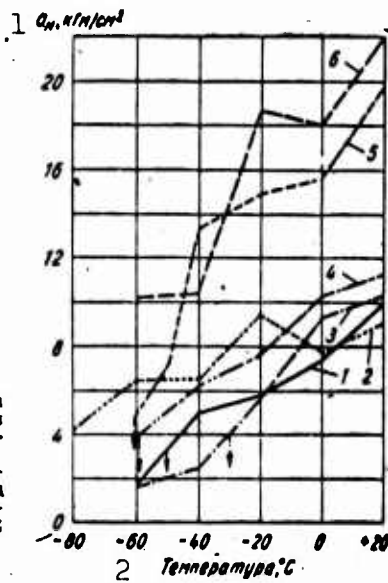
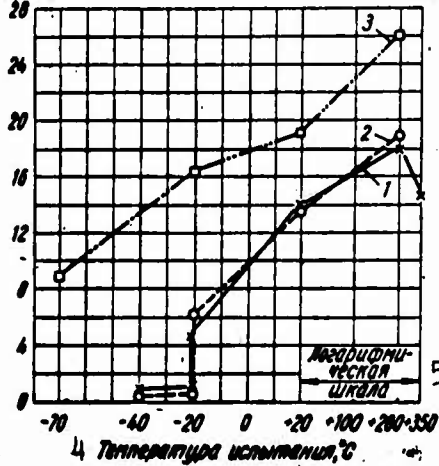
Key to page 214

- 1) a_n , kg·m/cm²
- 2) test temperature, °C
- 3) logarithmic scale
- 4) Fig. 46. Change in impact strength of rolled steel 09G2S(M) stock (0.11-0.12% C; 1.35-1.53% Mn; 0.43-0.56% Si; 0.07-0.11% Cr; 0.0-0.08% Ni; 0.25-0.27% Cu; 0.010-0.012% Ti; 0.020-0.028% S; 0.017-0.026% P) after strain aging as function of temperature. a) 90 mm thick, against rolling; b) 90 mm thick, with rolling; c) 160 mm thick, against rolling; d) 160 mm thick, with rolling. 1) without heat treatment; 2) after tempering at 620°C; 3) after normalizing at 920°C; 4) after normalizing at 920°C and tempering at 620°C. Aging: 10% drawing and holding at +250°C for 1 hour. Specimens are cut opposite to direction of draw [93]

3

Рис. 47. Крайние изменения ударной вязкости шва и границы сплавления образцов толщиной 12 мм из стали 09Г2С (М) при ручной сварке до старения:

1 — основной металл поперек проката; 2 — граница сплавления; 3 — последний шов, электрод ОММ-5; 4 — последний второй слой шва; 5 — последний слой шва, электроды УОНИ-13/55; 6 — последний второй слой шва [84]

1 $K_u, \text{kJ/m}^2$ 

4 Температура испытания, °C

8°

6

Рис. 48. Изменение ударной вязкости металла шва, полученного электрошлаковой сваркой стали 09Г2С (М) (0,11—0,12% С; 1,35—1,53% Мп; 0,23—0,56% Si; 0,07—0,11% Cr; 0,06—0,08% Ni; 0,25—0,27% Cu; 0,010—0,012% Ti; 0,020—0,028% S; 0,017—0,026% P) толщиной 70—160 мм:

1 — после сварки; 2 — после отпуска при 620° С; 3 — после нормализации при 920° С и отпуска при 620° С. Сварка выполнена проволокой марки Св-10Г2 под флюсом АН-8 [94]

Key to page 216

- 1) a_n , kg·m/cm²
- 2) temperature, °C
- 3) Fig. 47. Curves showing change in impact strength of manually formed weld and edge of weld-metal zone in steel 09G2S specimens 12 mm thick prior to aging. 1) base metal opposite direction of rolling; 2) edge of weld-metal zone; 3) final weld, OMM-5 electrode; 4) second and final layer of weld; 5) final layer of weld, UONI-13/55 electrodes; 6) second and final layer of weld [84]
- 4) test temperature, °C
- 5) logarithmic scale
- 6) Fig. 48. Change in impact strength of weld metal formed by molten-slag arcless electric welding steel 09G2S(M) 70-160 mm thick (0.11-0.12% C; 1.35-1.53% Mn; 0.23-0.56% Si; 0.07-0.11% Cr; 0.06-0.08% Ni; 0.25-0.27% Cu; 0.010-0.012% Ti; 0.020-0.028% S; 0.017-0.026% P). 1) after welding; 2) after tempering at 620°C; 3) after normalizing at 920°C and tempering at 620°C. Welding with Sv-10G2 wire under AN-8 flux [94]

1 Сталь 25Г2С (25ГС)

2 I. Свойства при +20°С по ГОСТ 5058—57

3 Химический состав, %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S	P
4 не более							
0,20—0,29	0,60—0,90	1,20—1,60	0,30	0,30	0,30	0,045	0,040

5 Механические свойства

6 Толщина проката, мм	7 σ_B , кг/мм ²	8 σ_T , кг/мм ²	9 δ_{10} , %	9 Испытание на изгиб в холодном состоянии
20 не менее				
6—40	60	40	14	90°

10 Примечание. Угол изгиба определен на оправке (с), равной двум диаметрам прутка (d).

11 Назначение — для изготовления арматуры железобетонных конструкций.

12 II. Механические свойства при низких температурах

13 Ударная вязкость стали 25Г2С в исходном состоянии [95]

14 Диаметр стержней периодического профиля, мм	15 a_K , кг·м/см ² , при температуре, °С								16 $T_{кр}$, °С
	+20	0	—10	—20	—30	—40	—50	—60	
12	13,5	10,7	10,0	9,4	9,0	8,6	9,2	8,6	—60
14	19,5	16,5	16,7	17,3	19,5	13,9	—	—	—
14*	9,8	8,6	8,3	7,6	7,6	6,6	—	—	—
22	13,8	10,3	9,6	9,8	8,0	7,0	7,0	4,7	—60

17 Примечания:

18 1. Химический состав стали, %

14 Диаметр стержней периодического профиля, мм	C	Si	Mn	S	P
12	0,27	0,84	1,40	0,034	0,017
14	0,19	0,80	1,31	0,032	0,036
14*	0,29	0,75	1,60	0,032	0,036
22	0,29	0,80	1,34	0,027	0,022

19 2. В таблице приведены средние значения результатов испытаний.

Key to page 218

- 1) Steel 25G2S(25GS)
- 2) I. Properties at +20°C according to GOST 5058-57
- 3) chemical composition, %
- 4) not above
- 5) mechanical properties
- 6) rolled-stock thickness, mm
- 7) σ_v , kg/mm²
- 8) σ_t , kg/mm²
- 9) bending test in cold state
- 10) Note. The bend angle is determined on a mandrel (c) equal to two rod diameters (d)
- 11) Application - for production of reinforcement used in reinforced-concrete designs
- 12) II. Mechanical properties at low temperatures
- 13) impact strength of steel 25G2S in initial state [95]
- 14) diameter of deformed bar, mm
- 15) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 16) t_{kr} , °C
- 17) Notes.
- 18) 1. Chemical composition of steel, %
- 19) 2. The average values of the test results are listed in the table.
- 20) not below

1 Ударная вязкость стали 25Г2С после механического старения [95]

2 Диаметр стержней периодического профиля, мм	3 a_n , кг·м/см ² , при температуре, °С						4 $T_{кр}$, °С
	+20	0	-10	-20	-30	-40	
12	9,4	8,6	6,9	6,5	—	—	-10
14	8,8	6,5	8,9	4,1	1,9	0,9	-20
14*	8,8	9,9	2,0	1,3	0,8	0,9	0
22	8,9	6,6	3,8	4,3	—	—	-10

5 Примечания:

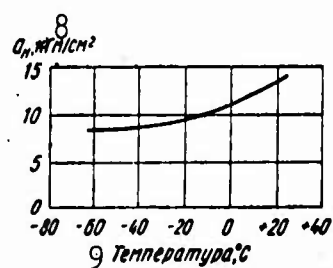
6 1. Химический состав стали, %

2 Диаметр стержней периодического профиля, мм	C	Si	Mn	S	P
12	0,27	0,84	1,40	0,034	0,017
14	0,19	0,80	1,31	0,032	0,036
14*	0,29	0,75	1,60	0,032	0,036
22	0,29	0,80	1,34	0,027	0,022

7 2. В таблице приведены средние значения результатов испытания.

3. Механическое старение проводили растяжением на 10% с последующей выдержкой при +260° С в течение часа.

Рис. 49 Ударная вязкость при низких температурах стали 25Г2С (0,27% С; 0,40% Мн) [96]



11 Сталь 10Г2СД (МК)

12 I. Свойства при +20° С по ГОСТ 5058—57

13 Химический состав, %

C	Mn	Si	Cu	Cr	Ni	S	P
≤0,12	1,30—1,65	0,80—1,10	0,15—0,30	0,30	0,30	0,040	0,040

Key to page 220

- 1) impact strength of steel 25G2S after strain aging [95]
- 2) diameter of deformed bar, mm
- 3) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 4) t_{kr} , °C
- 5) Notes.
- 6) 1. Chemical composition of steel, %
- 7) 2. Average values of the test results are listed in the table.
3. Strain aging by 10% elongation with subsequent holding at +250°C for 1 hour.
- 8) a_n , kg·m/cm²
- 9) temperature, °C
- 10) Fig. 49. Low-temperature impact strength of steel 25G2S (0.27% C, 1.40% Mn) [96]
- 11) Steel 10G2SD(MK)
- 12) I. Properties at +20°C according to GOST 5058-57
- 13) chemical composition, %
- 14) not above

1 Механические свойства

2 Толщина листа, мм	3 σ_B , кг/мм ²	4 σ_T , кг/мм ²	δ_{10} , %	5 Угол загиба в холодном состоянии
	не менее			
4—32	50	35	18	180°

6 Примечание. Угол загиба определен при толщине оправки (с), равной двойной толщине листа (а).

7 Назначение — применяют в судостроительной промышленности.

8 II. Механические свойства при низких температурах

9 Минимальные значения ударной вязкости стали 10Г2СД (МК) в горячекатаном состоянии и после термического старения [47]

Толщина 2 листа, мм	10 a_n , кг·м/см ² , при температуре, °С				12
	11 исходное состояние		после термического старения		
	+20	-40	+20	-40	
10	6,9—7,7	6,6—7,4	2,0—4,0	1,2—1,3	
18	10,6—12,0	6,7—9,6	4,6—11,6	1,5—8,1	
32	8,6—8,7	3,9—5,7	3,0—6,9	1,6—5,2	

13 Механические свойства термически упрочненной стали 10Г2СД [105]

2 Толщина листа, мм	14 Состояние материала	15 Направле- ние проката	1 Механические свойства				10 a_K , кг·м/см ² , при темпера- туре, °С				
			1 σ_T , кг/мм ²	2 σ_B , кг/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	+20	0	-20	-40	-60
17	16 Закален- ный с 920—950° С	17 Вдоль Поперек 18	50,4 52,8	63,0 63,7	25,8 24,9	74,4 64,5	21,4 12,0	18,5 11,3	16,0 10,2	13,3 9,2	12,8 7,9
26	19 Отпущен- ный при 620—640° С	17 Вдоль Поперек 18	49,4 48,6	60,7 61,3	29,1 33,5	75,2 63,5	22,8 13,0	19,5 11,3	16,6 10,1	17,9 10,0	12,9 8,9
32	19 Отпущен- ный при 620—640° С	17 Вдоль Поперек 18	46,6 45,4	60,6 58,7	29,0 30,0	75,4 70,6	22,1 14,0	19,7 11,8	13,8 11,2	11,4 9,2	14,0 10,2

Key to page 222

- 1) mechanical properties
- 2) sheet thickness, mm
- 3) σ_v , kg/mm²
- 4) σ_t , kg/mm²
- 5) bending angle in cold state
- 6) Note. Bending angle is determined by the mandrel thickness (c), which is equal to twice the sheet thickness (a)
- 7) Application - used in the shipbuilding industry
- 8) II. Mechanical properties at low temperatures
- 9) minimum impact-strength values of steel 10G2SD(MK) in hot-rolled state and after thermal aging [47]
- 10) a_n , kg·m/cm² at temperature, °C
- 11) initial state
- 12) after thermal aging
- 13) mechanical properties of thermally aged steel 10G2SD [105]
- 14) material state
- 15) rolling direction
- 16) quenched from 920-950°C
- 17) longitudinal
- 18) transverse
- 19) tempered at 620-640°C

1 Продолжение

2	Толщина листа, мм	3 Состояние материала	4 Направление проката	5 Механические свойства				6 σ_H , кг·м/см ² , при температуре, °С				
				σ_T , кг/мм ²	σ_B , кг/мм ²	δ , %	ψ , %	+20	0	-20	-40	-60
17		7 Отпущенный при 620—640°С	8 Вдоль (после механического старения)	—	—	—	—	15,6	—	11,2	9,7	4,9
32		7 Отпущенный при 620—640°С	8 Вдоль (после механического старения)	—	—	—	—	17,5	—	11,6	11,3	9,7

9 Примечание. Состав стали, %: 0,1 С; 1,56—1,60 Мп; 1,0 Si; 0,21—0,24 Cu; 0,032—0,035 S; 0,020—0,023 P; 0,07—0,1 Cr; 0,15 Ni.

10 III. Свойства сварных соединений при низких температурах

11 Ударная вязкость сварных соединений стали 10Г2СД (МК) [50]

2	Толщина листа, мм	12 Место вырезки образца	6 σ_H , кг·м/см ² , при температуре, °С			
			+20	0	-20	-40

13 Автоматическая электросварка

10	Шов с надрезом по центру 14	$\frac{9,2-10,3}{9,6}$	$\frac{7,2-9,3}{8,3}$	$\frac{6,2-7,7}{6,9}$	$\frac{3,2-7,0}{5,4}$
		$\frac{8,6-12,1}{9,8}$	—	—	$\frac{4,4-9,1}{6,6}$
18	Шов с надрезом по центру 14 Основной металл с надрезом в зоне влияния	$\frac{9,4-12,1}{11,0}$	$\frac{8,5-10,7}{9,4}$	$\frac{6,5-9,9}{7,9}$	$\frac{1,4-7,1}{-}$
		$\frac{12,2-18,0}{14,2}$	—	—	$\frac{7,5-8,5}{-8,0}$

Key to page 224

- 1) continued
- 2) sheet thickness, mm
- 3) material state
- 4) rolling direction
- 5) mechanical properties
- 6) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 7) tempered at 620-640°C
- 8) longitudinal (after strain aging)
- 9) Note. Steel composition, %: 0.1 C; 1.56-1.60 Mn; 1.0 Si; 0.21-0.24 Cu; 0.032-0.035 S; 0.020-0.023 P; 0.07-0.1 Cr; 0.15 Ni.
- 10) III. Properties of welded joints at low temperatures
- 11) impact strength of welded joints in steel 10G2SD(MK) [50]
- 12) location of specimen cutout
- 13) automatic electric welding
- 14) weld with notch along center
- 15) base metal with notch across weld-metal zone
- 16) base metal, with notch in around-the-weld zone

1 Продолжение

2 Толщина листа, мм	3 Место вырезки образца	4 a_n , кг·м/см ² , при температуре, °C			
		+20	0	-20	-40

5 Ручная электросварка

10	6 Шов с надрезом по центру	$\frac{13,3-14,1}{13,7}$	$\frac{12,5-14,5}{13,6}$	$\frac{2,0-12,9}{8,4}$	$\frac{1,6-10,7}{6,9}$
	7 Основной металл, надрез в зоне влияния	$\frac{8,5-11,8}{10,3}$	—	—	$\frac{3,6-8,9}{6,4}$
18	6 Шов с надрезом по центру	$\frac{16,7-17,5}{17,2}$	$\frac{19,5-21,9}{21,0}$	$\frac{13,4-20,3}{17,9}$	$\frac{1,5-17,4}{8,8}$
	7 Основной металл, надрез в зоне влияния	$\frac{13,0-18,5}{14,8}$	—	—	$\frac{6,1-10,8}{7,7}$

8 П р и м е ч а н и я: 1. При ручной сварке применяли электроды марки УОНИ-13/45А; при автоматической сварке — проволоку Св-08А и флюс ОСЦ-45.
2. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

9 Влияние старения на ударную вязкость швов стали 10Г2СД (МК) [50]

10 Вид сварки	4 $\bar{a}_H$, кг·м/см ² , при температуре, °C				Коэффициент чувствительности к механическому старению
	1 Исходное состояние		2 после старения		
	+20	—40	+20	—40	
14 Автоматическая	$\frac{9,4-12,1}{11,0}$	$\frac{1,4-7,1}{3,8}$	$\frac{5,3-7,2}{6,0}$	$\frac{0,9-1,2}{1,0}$	45,4
15 Ручная	$\frac{16,7-17,5}{17,2}$	$\frac{1,5-17,4}{8,8}$	$\frac{11,8-15,9}{13,0}$	$\frac{1,2-2,5}{2,0}$	24,4

16 П р и м е ч а н и я: 1. Механическое старение от растяжения (наклеп) на 5%.
2. Ручную сварку выполняли электродом УОНИ-13/45А; автоматическую сварку выполнили проволокой Св-08А под флюсом марки ОСЦ-45.
3. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

Key to page 226

- 1) continued
- 2) sheet thickness, mm
- 3) location of specimen cutout
- 4) a_n , kg·m/cm²
- 5) manual electric welding
- 6) weld with notch along center
- 7) base metal, notch in around-the-weld zone
- 8) Notes. 1. Type UONI-13/45A electrodes were used for manual welding; an Sv-08A wire and OSTs-45 flux were used with automatic welding. 2. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.
- 9) Effect of aging on impact strength of welds in steel 10G2SD(MK) [50]
- 10) type of welding
- 11) initial state
- 12) after aging
- 13) coefficient of sensitivity to strain aging
- 14) automatic
- 15) manual
- 16) Notes. 1. Strain aging consisted of 5% elongation (work hardening). 2. Manual welding was accomplished with UONI-13/45A electrode; automatic welding with Sv-08A wire under OSTs-45 flux. 3. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.

1 Ударная вязкость сварных соединений,
полученных автоматической сваркой из термически упрочненной стали 10Г2СД [105]

2 Режим сварки	3 Место надреза образца	4 σ_u , кг·м/см ² , при температуре, °C				
		+20	0	-20	-40	-60
5 $q/v = 1800$ кал/см 6 $\psi = 80$ град/сек	7 По шву	$\frac{8,0-8,3}{8,2}$	$\frac{4,3-8,1}{6,3}$	$\frac{5,9-6,7}{6,1}$	$\frac{4,3-6,7}{5,4}$	$\frac{4,7-5,7}{5,2}$
	8 По линии сплавления	$\frac{10,7-17,8}{13,1}$	$\frac{8,4-22,5}{13,1}$	$\frac{5,3-18,6}{11,8}$	$\frac{7,2-10,4}{8,3}$	$\frac{9,5-13,8}{11,1}$
	9 На расстоянии 1 мм от линии сплавления	$\frac{10,5-24,0}{18,9}$	$\frac{9,4-24,0}{18,8}$	$\frac{15,4-16,7}{16,1}$	$\frac{11,4-23,2}{15,7}$	$\frac{5,1-12,1}{10,1}$
	10 На расстоянии 3 мм от линии сплавления	$\frac{20,5-25,2}{23,2}$	$\frac{20,4-25,1}{24,0}$	$\frac{16,8-26,2}{20,5}$	$\frac{11,0-14,8}{13,3}$	$\frac{9,8-14,8}{11,6}$
11 $q/v = 7200$ кал/см	6 По шву	$\frac{9,0-10,4}{9,8}$	$\frac{6,3-11,5}{9,6}$	$\frac{5,6-7,2}{6,5}$	$\frac{5,7-7,3}{6,2}$	$\frac{4,4-6,3}{5,0}$
	8 По линии сплавления	$\frac{10,8-18,3}{15,7}$	$\frac{11,8-17,8}{13,8}$	$\frac{6,3-7,9}{6,4}$	$\frac{12,9-19,9}{15,6}$	$\frac{5,6-17,6}{10,7}$

Key to page 228

- 1) impact strength of welded joints formed by automatic welding of thermally hardened steel 10G2SD [105]
- 2) welding conditions
- 3) location of specimen notch
- 4) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 5) $q/v = 1800 \text{ cal}/\text{cm}$
- 6) $W = 80 \text{ degrees}/\text{sec}$
- 7) along weld
- 8) along junction line
- 9) at distance of 1 mm from junction line
- 10) at distance of 3 mm from junction line
- 11) $q/v = 7200 \text{ cal}/\text{sec}$

1 Продолжение

2 Режим сварки	3 Место надреза образца	4 σ_u , кг·м/см ² , при температуре, °C				
		+20	0	-20	-40	-60
5 $\nabla = 20$ град/сек	6 На расстоянии 1 мм от линии сплавления	$\frac{25,6-26,8}{26,4}$	$\frac{11,5-25,3}{20,6}$	$\frac{18,4-26,4}{22,6}$	$\frac{15,2-23,8}{16,2}$	$\frac{10,2-19,3}{16,3}$
	7 На расстоянии 3 мм от линии сплавления	$\frac{22,3-28,4}{25,6}$	$\frac{18,2-22,8}{20,9}$	$\frac{17,3-26,4}{20,6}$	$\frac{12,4-23,3}{17,5}$	$\frac{4,4-19,5}{12,3}$
8 $q/v = 10\ 800$ кал/см	9 По шву	$\frac{7,9-12,5}{10,4}$	$\frac{6,7-8,6}{7,7}$	$\frac{3,8-7,7}{6,0}$	$\frac{4,4-6,6}{5,5}$	$\frac{0,8-2,1}{1,4}$
	10 По линии сплавления	$\frac{20,9-26,2}{24,0}$	$\frac{15,8-26,7}{23,0}$	$\frac{19,4-26,4}{22,2}$	$\frac{9,6-17,5}{12,7}$	$\frac{13,9-18,5}{15,9}$
11 $\nabla = 12,7$ град/сек	6 На расстоянии 1 мм от линии сплавления	$\frac{12,4-26,5}{21,2}$	$\frac{22,6-26,4}{24,7}$	$\frac{13,5-19,4}{17,3}$	$\frac{15,1-16,9}{15,9}$	$\frac{12,0-17,2}{14,0}$
	7 На расстоянии 3 мм от линии сплавления	$\frac{23,4-28,1}{25,2}$	$\frac{16,7-24,0}{20,3}$	$\frac{17,3-22,3}{19,8}$	$\frac{13,3-20,2}{16,2}$	$\frac{12,8-13,9}{12,9}$

- 12 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,1 С; 1,56—1,60 Мн; 1,0 Si; 0,21—0,24 Cu; 0,032—0,035 S; 0,020—0,023 P; 0,07—0,1 Cr; 0,15 Ni.
 2. Разделка кромок X-образная; двустороннюю сварку выполняли проволокой Св-10ГС под флюсом АН-384А.
 3. Сваривали листы толщиной 32 мм.
 4. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

Key to page 230

- 1) continued
- 2) weld conditions
- 3) location of specimen notch
- 4) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 5) $W = 20$ degrees/sec
- 6) at distance of 1 mm from junction line
- 7) at distance of 3 mm from junction line
- 8) $q/v = 10800$ cal/cm
- 9) along weld
- 10) along junction line
- 11) $W = 12.7$ degrees/sec
- 12) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.1 C; 1.56-1.60 Mn; 1.0 Si; 0.21-0.24 Cu; 0.032-0.035 S; 0.020-0.023 P; 0.07-0.1 Cr; 0.15 Ni. 2. X-shaped edge facing; two-sided welding with Sv-10GS wire under AN-384A flux. 3. Sheets 32 mm thick were welded. 4. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.

1 Сталь 08ГДНФ

2 I. Свойства при +20°С по ТУ

3 Химический состав, %

C	Si	Mn	Ni	Cu	V	Cr	S	P
						— не более		
≤0,1	0,15—0,40	0,6—1,0	1,15—1,55	0,8—1,2	0,1	0,3	0,04	0,04

5 Механические свойства

6 Изделие	7 Термическая обработка	8 σ_T , кг/мм ²	9 σ_B , кг/мм ²	10 δ , %	10 ψ , %	10 a_K при +20°С, кг·м/см ²
		11 не менее				
12 Поковки толщиной до 200 мм	13 Закалка с 950—970°С в воде, отпуск при 560—580°С с охлаждением на воздухе	45	55	20	45	4
	14 Нормализация при 950—970°С, отпуск при 590—610°С с охлаждением на воздухе	40	50	20	45	4

15 Назначение — для изготовления крупных свариваемых повок судостроительной промышленности.

16 II. Механические свойства при низких температурах

17 Прочность при растяжении и ударная вязкость после нормализации [49]

18 Вид полуфабриката	8 σ_T , кг/мм ²	9 σ_B , кг/мм ²	10 δ , %	10 ψ , %
Поковка 19	$\frac{40,6—41,7}{41,0}$	$\frac{55,0—56,0}{55,5}$	$\frac{24,3—31,1}{26,7}$	$\frac{80,0—80,0}{80,0}$

20 Продолжение

18 Вид полуфабриката	21 a_K , кг·м/см ² , при температуре, °С		
	+20	—20	—40
Поковка 19	$\frac{24,5—29,4}{27,2}$	$\frac{19,0—29,8}{21,8}$	$\frac{19,0—30,2}{25,8}$

22 Примечание. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

Key to page 232

- 1) Steel 08GDNF
- 2) I. Properties at +20°C according to TU
- 3) chemical composition, T
- 4) not above
- 5) mechanical properties
- 6) article
- 7) heat treatment
- 8) σ_v , kg/mm²
- 9) σ_t , kg/mm²
- 10) a_n , at -40°C, kg·m/cm²
- 11) not below
- 12) forging up to 200 mm thick
- 13) quenching from 950-970°C in water, tempering at 560-580°C with cooling in air
- 14) normalizing at 950-970°C, tempering at 590-610°C with cooling in air
- 15) Application - for production of heavy-duty forgings to be welded for use in the shipbuilding industry
- 16) II. Mechanical properties at low temperatures
- 17) tensile strength and impact strength after normalizing [49]
- 18) type of semiproduct
- 19) forging
- 20) continued
- 21) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 22) Note. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator

1 Склонность стали к механическому старению [49]

2 Вид полуфабриката	3 Состояние материала	4 σ_H , кг·м/см ² , при температуре, °С	
		+20	-20
5 Пластина толщиной 12 мм	6 Исходное 7 После старения (наклеп 5%-ным растяжением и искусственное старение при +250°С в течение 2 ч)	22,2—24,7 18,0—23,5	20,4—23,5 12,5—18,8

8 Склонность стали к отпускной хрупкости [49]

2 Вид полуфабриката	9 Режим термической обработки	10 Режим охлаждения после отпуска	4 σ_H , кг·м/см ² , при температуре, °С	
			+20	-40
11 Поковка диаметром 150 мм	12 Закалка с 950°С 13 Закалка с 950°С; отпуск при 650°С 14 То же	15 В воде 16 С печью	19,7 12,9 12,5	12,6 7,4 8,1

17 III. Свойства сварных соединений при низких температурах

18 Ударная вязкость [49]

19 Термическая обработка до сварки	20 Толщина пластин, мм	21 Место выреза образца	22 Температура испытания, °С	23 σ_H , кг·м/см ² , при надрезе	
				24 по центру шва	25 по зоне термического влияния
26 Нормализация при 950—970°С, отпуск при 590—610°С	20	27 Верх шва	+20	19,6	10,9
			-40	10,3	9,1
	100	14 То же	+20	15,3	9,9
			-40	5,7	7,0
		28 Низ шва	+20	16,7	—
			-40	10,1	—

29 Примечание. Сварку проводили электродом УОНИ-13/55; пластины толщиной 20 мм сваривали в нижнем положении; толщиной 100 мм — в вертикальном положении.

Key to page 234

- 1) tendency of steel to strain age [49]
- 2) type of semiproduct
- 3) material state
- 4) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 5) plate 12 mm thick
- 6) initial
- 7) after aging (work hardening with 5% elongation and artificial aging at +250°C for 2 hours)
- 8) tendency of steel to temper brittleness
- 9) heat-treating procedure
- 10) cooling conditions after tempering
- 11) forging 150 mm in diameter
- 12) quenching from 950°C
- 13) quenching from 950°C, tempering at 650°C
- 14) same
- 15) in water
- 16) with furnace
- 17) III. Properties of welded joints at low temperatures
- 18) impact strength [49]
- 19) heat treatment prior to welding
- 20) plate thickness, mm
- 21) location of specimen groove
- 22) test temperature, °C
- 23) a_n , kg·m/cm², with notch
- 24) centered along weld
- 25) along weld-metal zone
- 26) normalizing at 950-970°C, tempering at 590-610°C
- 27) upper weld
- 28) lower weld
- 29) Note. Welding was accomplished with UONI-13/55 electrode; plates 20 mm thick were welded in the flat position; plates 100 mm thick were welded in the vertical position

1 Сталь 06НЗ

2 I. Свойства при +20°С по ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1063—63

3 Химический состав, %

C	Mn	Si	Ni	Mo	Cr	S	P
					4 не более		
≤0,06	0,45—0,60	0,17—0,37	3,5—4,0	0,15—0,25	0,30	0,010	0,010

5 Механические свойства

6 Термическая обработка	7 Толщина листа мм	8 $\sigma_{0,2}$ кг/мм ²	9 $\sigma_{0,2}$ кг/мм ²	10 δ_5 , %	11 ψ , %	10 $\sigma_{0,2}$, кг/мм ² , при температуре, °C			
						+20	-120	-180	-180
						11 не менее			
12 Закалка с 860° C в во- де, отпуск 630° C с охла- ждением на воздухе	4—10	55	45	25	65	15	—	12	6
	11—15	55	45	25	65	15	—	10	4
	16—15	55	45	25	65	15	—	6	3
	и более	—	—	—	—	—	—	—	—
4 Нормализация при 860° C	4—7	45	35	25	60	12	—	10	3
	8—14	45	35	25	60	12	—	3	—
	15	45	35	25	60	12	3	2	—
	и более	—	—	—	—	—	—	—	—
15									

16 Примечание. Вид полуфабрикатов из стали 06НЗ: толстый лист 4—20 мм по ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1063—63; плита горячекатаная толщиной до 90 мм по ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1064—63; сорт диаметром (сторона) до 250 мм по ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1064—63.

17 Назначение — для изготовления сварных аппаратов и сосудов, а также других ответственных сварных конструкций, работающих при низких температурах.

18 II. Физические свойства при низких температурах

Теплоемкость [129]

Температура °К	20 c_p кдж/кг·град	Температура °К	20 c_p кдж/кг·град	Температура °К	20 c_p кдж/кг·град
10	0,0016	30	0,0148	50	0,062
12	0,0022	32	0,0172	60	0,098
14	0,0029	34	0,0202	70	0,133
16	0,0037	36	0,0236	80	0,170
18	0,0047	38	0,0276	90	0,200
20	0,0058	40	0,0320	100	0,230
22	0,0072	42	0,0370	110	0,258
24	0,0086	44	0,0424	120	0,283
26	0,0104	46	0,0486	130	0,307
28	0,0124	48	0,0550	140	0,330

Key to page 236

- 1) Steel 06N3
- 2) I. Properties at +20°C according to ChMTU/TsNIChM 1063-63
- 3) chemical composition, %
- 4) not above
- 5) mechanical properties
- 6) heat treatment
- 7) sheet thickness, mm
- 8) σ_v , kg/mm²
- 9) σ_t , kg/mm²
- 10) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 11) not below
- 12) quenching from 860°C in water, tempering at 630°C with cooling in air
- 13) 16 and above
- 14) normalizing at 860°C
- 15) 15 and above
- 16) Note. Type of steel 06N3 semiproducts: plate 4-20 mm thick according to ChMTU/TsNIChM 1063-63; hot-rolled plate up to 90 mm thick in accordance with ChMTU/TsNIChM 1065-63; shapes with diameters (lateral dimensions) up to 250 mm in accordance with ChMTU/TsNIChM 1064-63
- 17) Application - for production of welded equipment and vessels, as well as other reliable welded designs operating at low temperatures
- 18) II. Physical properties at low temperatures
- 19) temperature, °K
- 20) c_p , kJ/kg·deg

1 Продолжение

Температура °К	3 Ср. кдж/кг·град	Температура °К	3 Ср. кдж/кг·град	Температура °К	3 Ср. кдж/кг·град
150	0,350	200	0,437	260	0,508
160	0,371	210	0,450	270	0,518
170	0,390	220	0,463	280	0,528
180	0,406	230	0,475	290	0,537
190	0,423	240	0,487	300	0,546
		250	0,497		

4 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,05 С; 0,25 Si; 0,45 Mn; 3,74 Ni; 0,11 Cu; 0,11 Cr; 0,01 P; 0,011 S.
2. Материал — горячекатаная плита толщиной 65 мм.

5 III. Механические свойства при низких температурах

6 Прочность при растяжении [63]

7 Термическая обработка	8 Толщина листа, мм	9 Расположе- ние образцов	10 Температура испытания, °С	11 σ_B , кг/мм ²	12 σ_T , кг/мм ²	13 S_k , кг/мм ²	14 δ_2 , %	15 ψ , %
14 Нормализация при 860° С	5	15 Вдоль	+ 20 -183	56,4 89,0	— —	113,2 162,7	49,6 41,6	67,7 57,0
	10*	15 Вдоль	+ 20 -183	51,5 87,4	37,1 72,4	— —	38,5 36,3	79,5 57,2
17 Закалка с 860° С в воде, отпуск при 630° С	10	15 Вдоль	+ 20 -183	59,9 90,6	50,2 82,1	174,1 —	27,9 34,2	82,7 —
		16 Поперек	+ 20 -183	60,4 91,5	49,3 81,6	137,0 182,0	24,8 33,2	72,7 63,7
	15	15 Вдоль	+ 20 -183	58,8 91,4	49,1 82,4	— —	29,9 32,8	74,7 —
		16 Поперек	+ 20 -183	59,9 90,8	49,8 81,8	138,8 180,3	26,7 29,9	73,3 63,0

18 Примечание.

19 Химический состав стали, %

8 Толщина листа мм	С	Mn	Si	Ni	Mo	S	P
20	0,05	0,45	0,25	3,74	—	0,011	0,010
5	0,06	0,65	0,45	3,95	0,21	0,008	0,005
10 и 15	0,06	0,52	0,30	3,65	—	0,009	0,008

Key to page 238

- 1) continued
- 2) temperature, °K
- 3) c_p , kJ/kg·deg
- 4) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.05 C; 0.25 Si; 0.45 Mn; 3.74 Ni; 0.11 Cu; 0.11 Cr; 0.01 P; 0.011 S. 2. The material was a hot-rolled plate 65 mm thick.
- 5) III. Mechanical properties at low temperatures
- 6) tensile strength [63]
- 7) heat treatment
- 8) sheet thickness, mm
- 9) specimen location
- 10) test temperature, °C
- 11) σ_v , kg/mm²
- 12) σ_t , kg/mm²
- 13) S_k , kg/mm²
- 14) normalizing at 860°C
- 15) lengthwise
- 16) crosswise
- 17) quenching from 860°C in water, tempering at 630°C
- 18) Note.
- 19) chemical composition of steel, %
- 20) 10 and 15

1 Влияние температуры отпуска закаленной стали на прочность при температуре -183°C

Термическая обработка	3 Температура испытания, $^{\circ}\text{C}$	4 $\sigma_{\text{в}}$, кг/мм ²	5 $\sigma_{\text{т}}$, кг/мм ²	6 δ_5 , %	7 ψ , %
6 Закалка с 860°C с отпуском при 300°C	+20 -183	95,7 122,6	74,7 117,0	17,3 21,1	71,7 64,4
7 То же, с отпуском при различных температурах, $^{\circ}\text{C}$:	+20 -183	77,1 111,0	72,5 106,0	18,8 16,3	68,9 56,6
500	+20 -183	62,5 104,0	57,8 102,8	30,1 14,0	70,1 69,0
600	+20 -183	54,1 96,3	40,9 91,7	20,9 27,5	55,0 60,4
640	+20 -183	54,2 86,9	45,8 81,3	28,8 33,1	82,5 68,0
660	+20 -183	66,8 103,0	58,1 83,8	28,8 30,3	70,8 69,0

8 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,05 C; 0,45 Mn; 0,25 Si; 0,011 S; 0,010 P.
2. Толщина листов 10 мм.

9. Ударная вязкость стали 06НЗ в зависимости от толщины листа и термической обработки [63]

2 Термическая обработка	10 Толщина листа, мм	11 Расположение образцов	12 $a_{\text{н}}$, кг·м/см ² , при температуре, $^{\circ}\text{C}$				
			+20	-120	-160	-183	-196
13 Нормализация при 860°C	5 10*	14 Вдоль , 14 Вдоль	20,6 23,1	— 8,1	— 5,2	6,5 1,3	— 0,7
15 Закалка с 860°C в воде. 17 Отпуск $620-640^{\circ}\text{C}$	5**	14 Вдоль	18,1	13,6	10,5	9,5	—
	10	14 Вдоль 16 Поперек	23,0 21,0	16,9 —	13,6 10,2	11,1 3,7	— —
	15	14 Вдоль	33,9 22,6—24,8	20,4 —	15,2 8,6—10,6	5,1 4,0—6,7*1	— —
	15	—	23,8	—	9,3	5,9	—

18* При -170°C .

19 Примечание. 20 Химический состав стали, %

10 Толщина листов, мм	C	Mn	Si	Ni	Mo	S	P
5,15	0,05	0,45	0,25	3,74	—	0,011	0,010
10	0,05	0,52	0,30	3,65	—	0,009	0,008
10*	0,05	0,55	0,45	3,95	0,21	0,008	0,005
5**	0,05	0,53	0,37	3,75	—	0,009	0,012

Key to page 240

- 1) influence of tempering temperature of hardened steel on strength at temperature of -183°C
- 2) heat treatment
- 3) test temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 4) σ_v , kg/mm^2
- 5) σ_t , kg/mm^2
- 6) quenching from 860°C with tempering at 300°C
- 7) same, with tempering at various temperatures, $^{\circ}\text{C}$:
- 8) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.05 C; 0.45 Mn; 0.25 Si; 0.011 S; 0.010 P. 2. 10-mm sheet thickness.
- 9) impact strength of steel 06N3 as function of sheet thickness and heat treatment [63]
- 10) sheet thickness, mm
- 11) specimen position
- 12) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m/cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 13) normalizing at 860°C
- 14) lengthwise
- 15) quenching from 860°C
- 16) crosswise
- 17) tempering at $620-640^{\circ}\text{C}$
- 18) α^1 at -170°C
- 19) Note.
- 20) chemical composition of steel, %

1 IV. Свойства сварных соединений при низких температурах

2 Механические свойства сварных соединений, полученных ручной электросваркой аустенитными электродами

3	Толщина, мм	4 Термическая обработка стали до сварки	5 Марка электрода и электродной проволоки	6 Температура испытания, °C	7 Предел прочности, кг/мм²	8 Угол загиба град.	9 σ _н , кг·м/см², при надрезе			13 Литература
							по центру шва	в зоне сплавления	в зоне наложения	
5	14	Нормализация при 860° C	15 ЗИО-8 Св-07Х25Н13	+20 -183	48 74	160 —	14,7 9,2	14,0 5,3	17,9 9,1	[62]
10	16	Закалка с 860° C в воде, отпуск при 630° C	15 ЗИО-8 Св-07Х25Н13	+20 -150 -183	52,7 — 84,0	— — —	13,5 7,3 5,3	27,3 9,5 5,4	27,7 18,8 7,3	[63]
10	17	То же	18 ЭА-395/9 Св-10Х16Н25М6	+20 -170 -183	56,5 — 97,6	— — —	22,0 15,0 10,6	23,2 7,2 5,3	27,2 — 6,5	
10			19 НИАТ-5 Св-10Х16Н25М6	+20 -170 -183	60,2 — 98,6	— — —	18,0 6,3 5,9	27,8 8,3 2,9	25,5 5,9 4,4	
10			20 ЭА-400/10 Св-Х18Н11М	+20 -170 -183	53,5 — 82,9	— — —	12,0 4,9 4,9	24,1 2,6 2,2	26,8 5,6 2,4	
15	17	То же	18 ЭА-395/9 Св-10Х16Н25М6	+20 -150 -170	57,2 — 85,5	— — —	21,5 16,5 17,5	24,3 5,3 3,3	21,1 9,1 8,8	[131]

21 Примечания: 22. 1. Химический состав стали, %

23 Толщина листа, мм	C	Mn	Si	Ni	S	P
5	0,05	0,45	0,25	3,74	0,011	0,010
10	0,06	0,52	0,30	3,65	0,009	0,008
15	0,07	0,46	0,27	3,78	0,010	0,008

24 2. Сварные соединения испытаны без термической обработки после сварки.

Key to page 242

- 1) IV. Properties of welded joints at low temperatures
- 2) mechanical properties of welded joints formed by manual electric welding with austenitic electrodes
- 3) thickness, mm
- 4) heat treatment of steel prior to welding
- 5) type of electrode and electrode wire
- 6) test temperature, °C
- 7) ultimate strength, kg/mm²
- 8) bending angle, degrees
- 9) a_n , kg·m/cm², with notch
- 10) centered along weld
- 11) in molten zone
- 12) in weld-metal zone
- 13) source
- 14) normalizing at 860°C
- 15) ZIO-8 Sv-07Kh25N13
- 16) quenching from 860°C in water, tempering at 630°C
- 17) same
- 18) EA-395/9 Sv-10Kh16N25M6
- 19) NIAT-5 Sv-10Kh16N25M6
- 20) EA-400/10 Sv-Kh18N11M
- 21) Notes.
- 22) 1. Chemical composition of steel, %
- 23) sheet thickness, mm
- 24) 2. Welded joints were tested without heat treatment after welding.

1 Влияние термической обработки швов, полученных при ручной электросварке стали 06НЗ на ударную вязкость при низких температурах [63, 131]

2 Марка электрода	3 Толщина листа, мм	4 Термическая обработка сварного соединения	5 Температура испытания °C	6 σ_K , кг·м/см ² , при надрезе образца		
				7 в центре шва	8 в зоне сплавления	9 в зоне влияния
11 ЗИО-8	10	10 Без обработки	+20	13,5	27,3	27,7
			-150	7,3	9,5	18,8
			-183	5,3	5,4	7,3
		12 Отпуск при 300° C в течение 2 ч	+20	12,9	8,6	5,1
			-150	27,0	16,0	4,0
			-183	28,0	16,5	4,0
		13 Отпуск при 500° C в течение 2 ч	+20	12,6	23,2	28,2
			-150	5,1	1,9	16,0
			-183	3,1	1,4	2,8
15 ЭА-395/9	10	10 Без обработки	+20	15,4	18,7	20,7
			-170	11,7	3,4	4,4
			-183	7,3	2,2	2,0
		12 Отпуск при 300° C в течение 2 ч	+20	18,5	26,9	26,8
			-170	12,8	2,4	3,3
			-183	12,5	2,3	1,4
		13 Отпуск при 500° C в течение 2 ч	+20	16,3	22,4	22,3
			-170	13,5	5,2	6,3
			-183	10,3	2,8	1,4
15 ЭА-395/9	15	10 Без обработки	+20	21,5	24,3	21,1
			-150	16,5	5,3	9,1
			-170	17,5	3,3	8,8
		16 Отпуск при 550° C	+20	14,0	19,0	29,9
			-150	9,1	2,8	17,6
			-170	7,9	2,4	11,2

17 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,06 C; 0,52 Mn; 0,30 Si; 3,65 Ni; 0,009 S; 0,008 P (лист толщиной 10 мм); 0,07 C; 0,46 Mn; 0,27 Si; 3,78 Ni; 0,010 S; 0,008 P (лист толщиной 15 мм).

2. Листы толщиной 15 мм сваривали в закаленном и отпущенном состоянии.

3. Подварочный шов накладывали при сварке электродом ЗИО-8 с вырубкой корня; при сварке электродом ЭА-395/9 без вырубки корня шва.

Key to page 244

- 1) influence exerted by heat treating welds formed by manual electric welding of steel 06N3 on low-temperature impact strength [63, 131]
- 2) electrode type
- 3) sheet thickness, mm
- 4) heat treatment of welded joint
- 5) test temperature, °C
- 6) a_n , kg·m/cm², with specimen notch
- 7) centered in weld
- 8) in molten zone
- 9) in weld-metal zone
- 10) without treatment
- 11) ZIO-8
- 12) tempering at 300°C for 2 hours
- 13) tempering at 500°C for 2 hours
- 14) normalizing
- 15) EA-395/9
- 16) tempering at 550°C
- 17) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.06 C; 0.52 Mn; 0.30 Si; 3.65 Ni; 0.009 S; 0.008 P (10-mm sheet thickness); 0.07 C; 0.46 Mn; 0.27 Si; 3.78 Ni; 0.010 S; 0.008 P 15-mm sheet thickness). 2. The 15-mm thick sheets were welded in the quenched and tempered state. 3. The above welds were formed by welding with a ZIO-8 electrode with root cutting; on welding with an EA-395/9 electrode, weld roots were not cut

1
Свойства швов стали 06Н3, полученных автоматической сваркой
под флюсом АН14 аустенитной проволокой
(данные Института электросварки им. Е. О. Патона)

2	Марка сварочной проволоки	3 Температура испытания °C	4 σ_n , кг·м/см², при надрезе образца	
			5 в центре шва	6 в зоне сплавления
7	Св-07Х25Н13	+20	13,4—17,7	22,5—32,6
		—110	—	11,6—18,8
		—130	7,0—8,0	5,9—18,8
		—170	4,5—6,9	1,5—4,1
		—196	2,5—5,0	1,1—2,0
8	Св-13Х25Н20	+20	13,3—17,0	32,6
		—110	—	18,0—20,1
		—130	11,5—12,4	3,0—18,7
		—170	—	1,5—18,5
		—196	4,4—8,2	0,5—5,0
9	Св-10Х16Н25М6	+20	21,5—24,2	22,7—24,2
		—110	19,5—22,6	4,9—18,0
		—150	16,0—18,6	0,6—2,6
		—170	8,6—18,6	2,4—4,6
		—196	8,1—15	0,6—1,6

10

Примечания:

11

1. Химический состав металла шва, %

2	Марка сварочной проволоки	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
8	Св-07Х25Н13	0,08	1,75	0,23	11,8	9,3	—
	Св-13Х25Н20	0,07	1,33	0,22	18,1	12,5	—
	Св-10Х16Н25М6	0,07	2,07	0,64	14,6	20,2	4,3

12

13 2. Листы толщиной 10 мм сваривали в закаленном и отпущенном состоянии; разделка кромок V-образная с суммарным углом 60°.

14 Свойства швов, полученных автоматической сваркой стали 06Н3,
под флюсом АН26 аустенитной проволокой [63, 131]

15	Толщина, мм	2 Марка сварочной проволоки	16 Разделка кромок	3 Температура испытания, °C	17 σ_n , кг/мм²	4 σ_n , кг·м/см², при надрезе образца		
						5 в центре шва	6 по зоне сплавления	19 в зоне влияния
10		7 Св-07Х25Н13	20 Без разделки	+20	51,5	9,2	16,1	24,3
				—150	—	1,2	1,6	8,2
				—183	71,3	1,3	1,7	4,5
		22 Св-10Х20Н15	21 V-образная	+20	49,6	16,3	—	—
				—150	—	6,3	3,1	3,7
				—183	65,1	5,3	1,2	1,6

Key to page 246

- 1) properties of steel 06N3 welds formed by automatic welding under AN14 flux with austenitic wire (data of Ye.O. Paton Electric-Welding Institute)
- 2) type of welding wire
- 3) test temperature, °C
- 4) a_n , kg·m/cm², with specimen notch
- 5) centered in weld
- 6) in molten zone
- 7) Sv-07Kh25N13
- 8) Sv-13Kh25N20
- 9) Sv-10Kh16N25M6
- 10) Notes.
- 11) 1. Chemical composition of weld metal, %
- 12) Sv-10Kh16N25M5
- 13) 2. Sheets 10 mm thick were welded in quenched and tempered state; the edges were V-shaped with a total angle of 60°C.
- 14) properties of welds formed by automatic welding of steel 06N3 under AN26 flux with austenitic wire [63, 131]
- 15) thickness, mm
- 16) edge shaping
- 17) σ_v , kg/mm²
- 18) along molten zone
- 19) in weld-metal zone
- 20) without shaping
- 21) V-shaped
- 22) Sv-10Kh20N15

1 Продолжение

2	3 Толщина, мм	4 Марка сварочной проволоки	5 Разделка кромок	6 Температура испытаний, °С	7 σ _в , кг/мм ²	8 а _н , кг·м/см ² , при надрезе образца			10
						9 в центре шва	10 по зоне сплавления	11 в зоне влияния	
10	11 Св-04Х19Н9	—	—	+20	—	8,0	23,3	24,7	
				—150	—	1,0	7,8	12,1	
				—183	—	0,8	3,9	2,5	
	12 Х20Н80	13 Без разделки	+20	45,3	12,4	17,6	17,2		
			—150	—	9,7	2,0	3,0		
			—183	63,1	7,5	1,5	0,9		
14 Х14Г14Н3Т	15 V-образная	+20	52,4	10,0	14,3	15,4			
		—150	—	1,1	1,1	3,1			
		—183	69,5	0,9	0,6	1,3			
15	16 Св-10Х16Н25М6	15 V-образная	+20	55,1	20,4	23,7	23,3		
			—150	—	13,0	3,1	7,7		
			—170	—	14,1	4,2	4,9		
			—183	86,1	—	—	—		

17 Примечания:

18

1. Химический состав стали, %

19	Металл	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
20	Листа толщиной 10 мм	0,06	0,52	0,30	0,20	3,65	0,009	0,008
	» 15 »	0,07	0,46	0,27	—	3,78	0,010	0,008
	Шва (Св-07Х25Н13)	0,07	0,80	0,45	9,0	8,53	—	—
	» (Св-10Х20Н15)	0,07	0,68	0,47	9,37	10,23	—	—
	» (Х20Н80)	0,06	0,51	0,63	9,64	36,4	—	—
	» (Х14Г14Н3Т)	0,15	9,6	0,82	10,64	3,32	—	—

25 2. Сталь сваривали в закаленном и отпущенном состоянии.

26 Ударная вязкость сварных швов стали 06Н3, полученных автоматической сваркой швов, отпущенных при 550° С [131]

27	Термическая обработка сварных соединений	5	7		
			а _н , кг·м/см ² , при надрезе образца		
		Температура испытаний, °С	в центре шва	в зоне сплавления	в зоне влияния
29	Отпуск при 550° С	+20	19,5	18,7	21,6
		—150	7,0	3,8	8,8
		—170	5,7	3,4	6,1

30 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,070 С; 0,46 Мн; 0,27 Si; 3,78 Ni; 0,14 Cu; 0,010 S; 0,008 P.
2. Листы толщиной 15 мм сваривали в закаленном и отпущенном состоянии проволокой Св-10Х16Н25М6 под флюсом АН-26.

9*

Key to page 248

- 1) continued
- 2) thickness, mm
- 3) type of welding wire
- 4) edge shaping
- 5) test temperature, °C
- 6) σ_v , kg/mm²
- 7) a_n , kg·m/cm², with specimen notch
- 8) centered in weld
- 9) along molten zone
- 10) in weld-metal zone
- 11) Sv-04Kh19N9
- 12) Kh20N80
- 13) without shaping
- 14) Kh14G14N3T
- 15) V-shaped
- 16) Sv-10Kh16N25M6
- 17) Notes.
- 18) 1. Chemical composition of steel, %
- 19) Metal
- 20) sheet 10 mm thick
- 21) weld (Sv-07Kh25N13)
- 22) weld (Sv-10Kh20N15)
- 23) weld (Kh20N80)
- 24) weld (Kh14G14N3T)
- 25) 2. Steel welded in quenched and tempered state
- 26) impact strength of steel 06N3 welds formed by automatic welding of seams tempered at 550°C [131]
- 27) heat treatment of welded joints
- 28) in molten zone
- 29) tempering at 550°C
- 30) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.070 C; 0.46 Mn; 0.27 Si; 3.78 Ni; 0.14 Cu; 0.010 S; 0.008 P. 2. Sheets 15 mm thick were welded in the quenched and tempered state with an Sv-10Kh16N25M6 wire under an AN-26 flux.

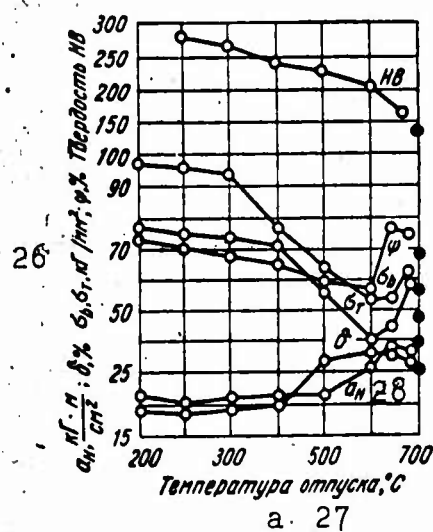
Ударная вязкость швов, полученных сваркой закаленной и отпущенной стали 06Н3 с аустенитными сталями X18Н9Т и X14Г14Н3Т (ЭИ711) [64]

2	3	4	5	6	7						10
					а _и , кг·м/см ² , при надрезе образца						
					8	9 в зоне сплавления		9 в зоне влияния			
						11	12	11	12		
в центре шва											
сталь 06Н3											
аустенитная сталь											
сталь 06Н3											
аустенитная сталь											
13	06Н3 + X18Н9Т	10+10	ЭА-395/9 14 Св-10Х16Н25М6	+20	56,9	16,9	24,7	17,4	26,8	20,0	
				-150	—	11,2	2,0	13,2	18,9	20,0	
				-183	82,8	13,2	2,2	16,8	—	18,2	
				-196	—	6,0	—	12,4	16,6	19,2	
16	06Н3 + X14Г14Н3Т (ЭИ711)	10+12	ЗИО-8 17 Св-07Х25Н13	+20	—	15,5	—	—	—	—	
				-183	—	7,3	2,3	13,4	9,6	20,6	

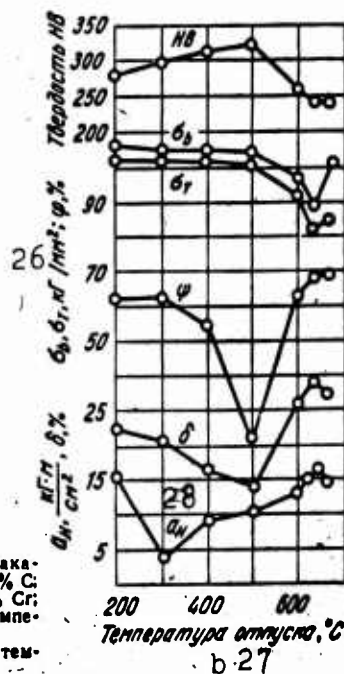
9 Примечания: 20 1. Химический состав стали, %

21	Сталь	C	Mn	Si	Ni	Cr	Ti	S	P
22	06Н3	0,05	0,45	0,25	3,74	0,11	—	0,011	0,010
23	X18Н9Т	0,08	1,25	0,66	9,60	17,27	0,6	0,007	0,032
24	X14Г14Н3Т	0,07	13,40	0,46	3,05	13,85	0,25	0,006	0,017

25 2. Сварные соединения термической обработке не подвергались; сварка односторонняя с подваркой в соединении 06Н3 + X18Н9Т без вырубки, а в соединении 06Н3 + X14Г14Н3Т с вырубкой корня шва.



а. 27

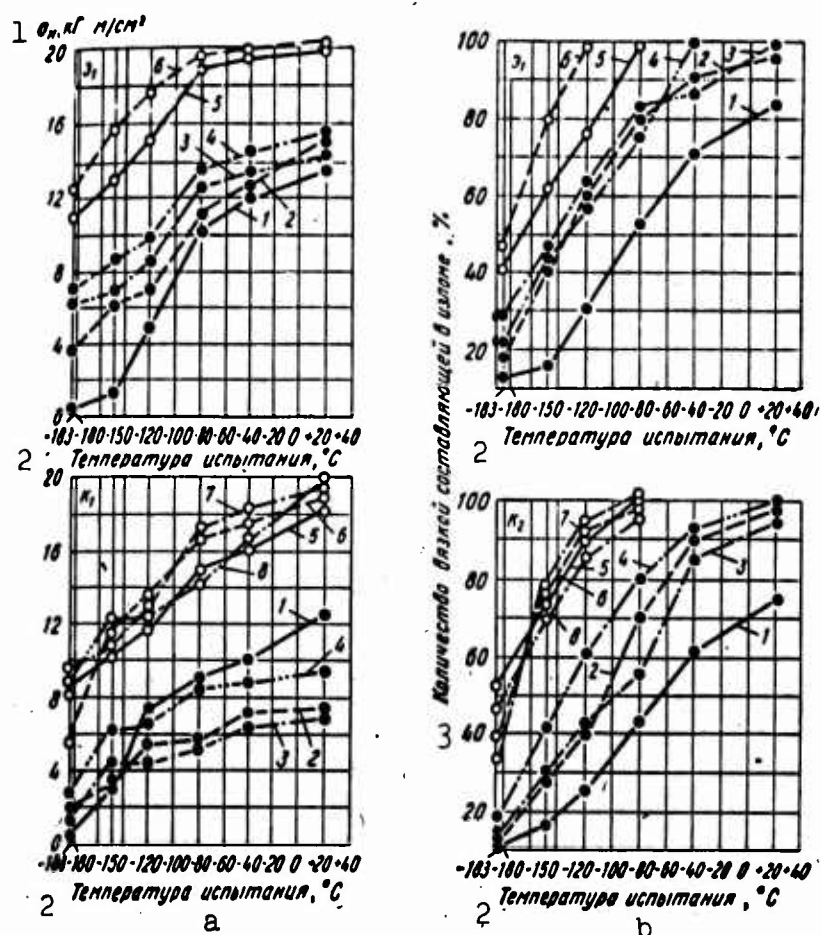


б. 27

29. Рис. 50. Механические свойства листа, закаленного с 860° С в воде, из стали 06Н3 (0,05% С; 0,25% Si; 0,45% Mn; 3,74% Ni; 0,04% Cr; 0,010% P; 0,010% S) в зависимости от температуры отпуска:
а — при температуре +20° С; б — при температуре -183° С [53]

Key to page 250

- 1) impact strength of welds obtained by welding quenched and tempered steel 06N3 with austenitic steels Kh18N9T and Kh14G14N3T (EI711) [64]
- 2) type of steel welded
- 3) sheet thickness, mm
- 4) type of electrode and electrode wire
- 5) test temperature, °C
- 6) σ_v , kg/mm²
- 7) a_n , kg·m/cm², with specimen notch
- 8) centered in weld
- 9) in molten zone
- 10) in weld-metal zone
- 11) steel 06N3
- 12) austenitic steel
- 13) 06N3 + Kh18N9T
- 14) EA-395/9
- 15) Sv-10Kh16N25M6
- 16) 06N3 + Kh14G14N3T
- 17) ZIO-8
- 18) Sv-07Kh25N13
- 19) Notes.
- 20) 1. Chemical composition of steel, %
- 21) steel
- 22) 06N3
- 23) Kh18N9T
- 24) Kh14G14N3T
- 25) 2. Welded joints were not subjected to heat treatment; welding was one-sided with root welding in the 06N3+Kh18N9T joint without cutting out the root of the weld, and in the 06N3+Kh14G14N3T joint with the weld root cut out.
- 26) a_n , kg·m/cm²; δ , %; σ_v , σ_t , kg/mm²; ψ , %; hardness, HB
- 27) tempering temperature, °C
- 28) a_n
- 29) Fig. 50. Mechanical properties of steel 06N3 (0.05% C, 0.25% Si; 0.45% Mn; 3.74% Ni; 0.04% Cr; 0.010% P; 0.010% S) sheet quenched from 860°C in water as function of tempering temperature. a) at temperature of +20°C; b) at temperature of -183°C [88]



4 Рис. 51. Ударная вязкость (а) и количество вязкой составляющей в изломе (б) стали 06НЗ, закаленной с 860° С в воде, в зависимости от температуры отпуска и температуры испытания, °С:
1 — нормализация; 2 — 300; 3 — 400; 4 — 500; 5 — 600; 6 — 620; 7 — 640; 8 — 660 [88]

5 Химический состав стали, %

6 Обозна- чение	7 Металл	С	Si	Mn	Ni	Cr	S	P
8 Э ₁	Лист толщиной 10 мм	0,05	0,25	0,45	3,74	0,04	0,010	0,010
К ₁	» » »	0,03	0,37	0,53	3,75	0,06	0,009	0,012

Сталь Э₁ выплавлена в электропечи; сталь К₁ выплавлена в конвертере с продувкой ки-
слородом и обработкой синтетическим шлаком в ковше

Key to page 252

- 1) a_n , kg·m/cm²
- 2) test temperature, °C
- 3) percentage viscous component in fracture surface
- 4) Fig. 51. Impact strength (a) and amount of viscous component in fracture of steel 06N3 quenched from 860°C in water as functions of tempering temperature and test temperature, °C.
1) Normalizing; 2) 300; 3) 400; 4) 500; 5) 600; 7) 640;
8) 660 [88]
- 5) chemical composition of steel, %
- 6) designation
- 7) metal
- 8) E₁
- 9) sheet 10 mm thick
- 10) Steel E₁ melted in electric furnace; steel K₂ melted in a converter with oxygen blow and treated with synthetic slag in the ladle.

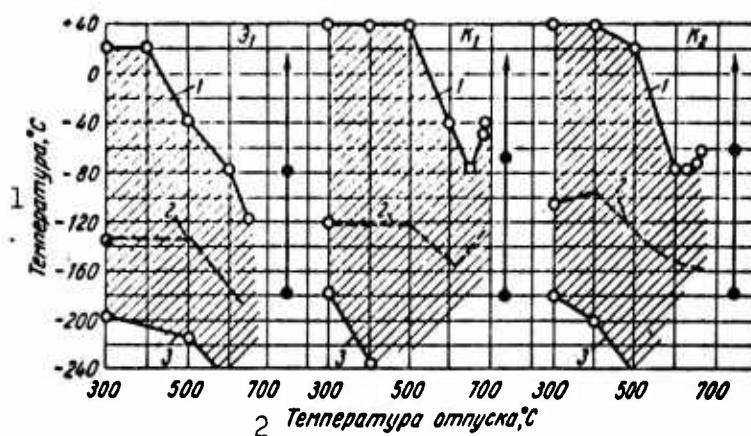


Рис. 52. Порог хладноломкости стали 06НЗ в зависимости от температуры отпуска. Стрелкой показана температура перехода в хрупкое состояние стали 06НЗ в состоянии нормализации: $Э_1$ — выплавлена в электропечи; $К_1$, $К_2$ — выплавлена в конвертере [88]; 1—100; 2—50; 3—0% (вязкая составляющая в изломе образца)

4 Сталь 20Х

5 1. Свойства стали при +20° С по ГОСТ 4543—61

6 Химический состав, %

C	Si	Mn	Cr	P	S	Cu	Ni
0,17—0,23	0,17—0,37	0,50—0,80	0,70—1,00	0,035	0,035	0,20	0,25

8 Механические свойства

9 Термическая обработка	10 HV кг/мм ² не более	11 σ_T кг/мм ²	12 σ_B кг/мм ²	13 ψ %	14 δ_5 %	15 $\sigma_{0.2}$ кг/мм ²
14 Закалка с 880° С и с 770—820° С в воде или масле; отпуск 180° С с охлаждением на воздухе или в масле . . .	179	65	80	11	40	6

15 Примечание. Твердость дана для стали в отожженном или отпущенном состоянии.

16 Назначение — для изготовления деталей простой конфигурации: червяков, плунжеров, деталей, работающих при больших скоростях и нагрузках с трением.

Key to page 254

- 1) temperature, °C
- 2) tempering temperature, °C
- 3) Fig. 52. Threshold of cold shortness of steel 06N3 as function of tempering temperature. The temperature of transition of normalized steel 06N3 into the brittle state is indicated by arrow. E₁) melted in electric furnace; K₁, K₂) melted in converter [88]. 1) 100; 2) 50; 3) 0% (viscous component in specimen fracture.
- 4) Steel 20Kh
- 5) I. Properties of steel at +20°C according to GOST 4543-61
- 6) chemical composition, %
- 7) not above
- 8) mechanical properties
- 9) heat treatment
- 10) HB, kg/mm² not above
- 11) σ_t , kg/mm²
- 12) σ_v , kg/mm²
- 13) a_n , kg·m/cm²
- 14) quenching from 880°C and from 770-820°C in water or oil; tempering at 180°C with cooling in air or in oil
- 15) Note. Hardness is given for the steel in the annealed or tempered state
- 16) Application - for production of components of simple design: worms, plungers of components operating at high speeds and under loads with friction

1 II. Механические свойства при низких температурах

2 Ударная вязкость (данные Института нефте- и углехимического синтеза)

3 Состояние материала	4 a_H , кг·м/см ² , при температуре, °C			
	+20	0	-20	-40
5 Горячекатаный	8,9—14,9 12,4	7,9—10,6 9,6	8,7—12,0 9,8	8,0—9,3 8,6
6 Отожженный	15,3—18,3 16,8	13,4—15,7 14,5	7,4—11,0 9,2	6,7—8,4 7,6
7 Нормализованный	22,6—24,1 23,3	24,0—24,2 24,1	17,5—23,2 20,0	17,2—21,2 18,9
8 Закаленный и отпущенный	28,6—29,2 28,9	28,9—29,2 29,0	28,6—29,5 29,0	28,3—29,3 28,8

9 Продолжение

3 Состояние материала	4 a_H , кг·м/см ² , при температуре, °C			5 $T_{кр}$, °C, при $a_{H_{мин}} \leq 10$ ≤ 4 кг·м/см ²
	-60	-80	-100	
5 Горячекатаный	0,6—3,3 2,2	0,5—1,0 0,8	0,5 0,5	-60
6 Отожженный	1,6—5,5 3,3	0,4—0,8 0,6	0,4—0,7 0,5	-60
7 Нормализованный	15,2—16,5 16,8	0,4—13,7 5,0	1,0—11,0 4,5	-80
8 Закаленный и отпущенный	26,6—28,0 27,3	22,6—28,0 25,8	19,4—28,0 23,1	11 Ниже -100

12 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,20 C; 0,68 Mn; 0,27 Si; 0,28 Cr; 0,016 P; 0,026 S.
2. Для исследований применяли пруток диаметром 115 мм.
3. В числителе приведены пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

13 Сталь 30X

14 I. Свойства при +20°C по ГОСТ 4543—81

15 Химический состав, %

C	Mn	Si	Cr	S	P	Ni	Cu
16 не более							
0,25—0,33	0,50—0,80	0,17—0,37	0,80—1,10	0,035	0,035	0,25	0,20

Key to page 256

- 1) II. Mechanical properties at low temperatures
- 2) impact strength (data of the Institute of Petrochemical and Coal Tar Synthesis)
- 3) material state
- 4) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 5) hot-rolled
- 6) annealed
- 7) normalized
- 8) quenched and tempered
- 9) continued
- 10) t_{kr} , $^{\circ}\text{C}$, at $a_{n\min} \leq 4 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 11) below -100
- 12) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.20 C; 0.66 Mn; 0.27 Si; 0.28 Cr; 0.016 P; 0.026 S. 2. A rod 115 mm in diameter was used for the studies. 3. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.
- 13) Steel 30Kh
- 14) I. Properties at $+20^{\circ}\text{C}$ according to GOST 4543-61
- 15) chemical composition, %
- 16) not above

1 Механические свойства

2 Термическая обработка	3 $\sigma_{\text{тп}}$ кг/мм ² не более	4 $\sigma_{\text{в}}$ кг/мм ²	5 $\sigma_{\text{с}}$ кг/мм ²	6 δ %	7 ψ %	8 $\alpha_{\text{к}}$ кг/см ²
		7 не менее				
8 Закалка с 860°С в масло, отпуск 500°С с охлаждением в воде или масле	187	90	70	12	45	7

9 Примечание. Твердость дана для стали в отожженном или отпущенном состоянии.

10 Назначение — для изготовления осей валков, рычагов, болтов, гаек и других некрутящихся деталей, которые подвергаются закалке и отпуску и должны обладать большей прочностью по сравнению с деталями из углеродистой стали.

11 II. Механические свойства при низких температурах

12 Ударная вязкость [104]

13 Термическая обработка	14 $\alpha_{\text{н}}$, кг·м/см ² , при температуре, °С			
	+15	-20	-40	-70
15 Нормализация	15,2	13,0	10,2	7,3
16 Закалка с 860°С в масло, отпуск при 200°С в масле	4,3	3,5	3,5	3,4
17 То же, с отпуском при различных температурах, °С:				
250	4,0	3,7	3,4	3,0
400	4,1	3,7	3,6	2,3
500	9,9	7,8	6,5	4,9
600	16,7	15,7	15,5	9,2

18 Примечание. Химический состав стали, %: 0,30 С; 0,43 Мн; 0,24 Si; 1,01 Cr; 0,017 S; 0,02 P.

19 Сталь 40Х

20 I. Свойства при +20°С по ГОСТ 4543—61

21 Химический состав, %

C	Mn	Si	Cr	S	P	Ni	Cu
				22 не более			
0,36—0,44	0,50—0,80	0,17—0,37	0,80—1,10	0,035	0,035	0,25	0,20

Key to page 258

- 1) mechanical properties
- 2) heat treatment
- 3) HB, kg/mm² not above
- 4) σ_v , kg/mm²
- 5) σ_t , kg/mm²
- 6) a_n , kg·m/cm²
- 7) not below
- 8) quenching from 860°C in oil, 500°C tempering with cooling in water or oil
- 9) Note. Hardness is given for the steel in the annealed or tempered state
- 10) Application - for production of roller axles, levers, bolts, nuts and other small components not subject to quenching and tempering and requiring greater strength as compared with parts made from carbon steel.
- 11) II. Mechanical properties at low temperatures
- 12) impact strength [104]
- 13) heat treatment
- 14) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 15) normalizing
- 16) quenching from 860°C in oil, tempering at 200°C in oil
- 17) same, with tempering at various temperatures, °C
- 18) Note. Chemical composition of steel, %:
- 19) Steel 40Kh
- 20) I. Properties at +20°C according to GOST 4543-61
- 21) chemical composition, %
- 22) not above

1 Механические свойства

2 Термическая обработка	3 HV кг/мм ² не более	4 σ_B кг/мм ²	5 σ_T кг/мм ²	6 %	7 %	8 $\alpha_{\text{изл}}$ кг-м/см ²
8 не менее						
7 Закалка с 850°С в масло, отпуск при 500°С с охлаждением в воде или масле	217	100	80	10	45	6

9 Примечание. Твердость дана для отожженной или отпущенной стали.

10 Назначение — для изготовления деталей, подвергающихся закалке и отпуску и работающих на износ при средних окружных скоростях и средних нагрузках (валы, оси, коленчатые валы, рычаги, шестерни, пальцы, болты, шпильки, втулки и др.).

11 II. Физические свойства при низких температурах

12 Коэффициент линейного расширения

13 Интервал температур, °С	14 $\alpha \cdot 10^6$, 1/град	13 Интервал температур, °С	14 $\alpha \cdot 10^6$, 1/град
+20—(+100)	13,4	+20—(−183)	9,1

15 III. Механические свойства при низких температурах

16 Прочность при растяжении

2 Термическая обработка	17 Температура испытаний, °С	4 σ_B кг/мм ²	5 σ_T кг/мм ²	6 %	7 %	18 Литература
19 Закалка с 850°С в масло, отпуск при 550°С	+20	117,1	108,8	14,3	54,9	[61]
	−50	123,4	113,3	15,3	55,2	
	−74	125,0	115,2	15,8	54,2	
	−193	158,7	155,6	15,0	45,0	
20 Закалка с 850°С в масло, отпуск при 460°С (HRC=38—40)	+20	125	115	—	—	[78]
	−60	134	123	—	—	
21 Закалка с 850°С в масло с последующим отпуском при 200°С (HRC = 49—51)	+20	194	176	—	—	[78]
	−60	202	194	—	—	

22 Примечание. Химический состав стали, % [78]: 0,39 С; 0,58 Mn; 0,27 Si; 0,87 Cr; 0,019 Р; 0,012 S.

Key to page 260

- 1) mechanical properties
- 2) heat treatment
- 3) HB, kg/mm^2 not above
- 4) σ_v , kg/mm^2
- 5) σ_t , kg/mm^2
- 6) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m/cm}^2$
- 7) quenching from 850°C in oil, tempering at 500°C with cooling in water or oil
- 8) not below
- 9) Note. Hardness is given for the annealed or tempered steel.
- 10) Application - for production of components subjected to quenching and tempering and operating under wear at moderate peripheral speeds and under moderate loads (shafts, axles, crankshafts, levers, gears, pins, bolts, studs, bushings, etc.)
- 11) II. Physical properties at low temperatures
- 12) temperature interval, $^\circ\text{C}$
- 14) $\alpha \cdot 10^6$, deg^{-1}
- 15) III. Mechanical properties at low temperatures
- 16) tensile strength
- 17) test temperature, $^\circ\text{C}$
- 18) source
- 19) quenching from 850°C in oil, tempering at 550°C
- 20) quenching from 850°C in oil, tempering at 460°C (HRC = 38-40)
- 21) quenching from 850°C in oil with subsequent tempering at 200°C (HRC = 49-51)
- 22) Note. Chemical composition of steel, % [78]: 0.39 C; 0.58 Mn; 0.27 Si; 0.87 Cr; 0.018 P; 0.012 S.

1 Влияние термической обработки на ударную вязкость (данные Института нефте- и углехимического синтеза)

2 Диаметр прутка, мм	3 Состояние материала	4 σ_u , кг·м/см ² , при температуре, °C							5 $T_{кр}$, при σ_u мин, °C
		+20	0	-20	-40	-60	-80	-100	
18	6 Горячекатаный	3,0—3,9	1,9—3,0	2,2—3,0	1,9—3,2	1,2—1,6	—	—	Выше 10
	7 Отожженный	3,4 5,3—6,0	2,6 4,5—5,2	2,6 4,0—4,0	2,4 3,0—3,7	1,4 2,2—3,0	0,5—0,8	0,6—0,8	+20
	8 Нормализованный	5,6 5,7—5,8	4,8 4,5—4,8	4,0 3,5—4,5	3,3 3,5—3,7	2,6 3,2—3,5	0,6 1,2—2,2	0,7 1,0—1,0	-20
	9 Закаленный и отпущенный	5,7 11,2—11,2	4,6 9,4—12,0	4,0 8,8—9,3	3,6 8,0—8,2	3,3 5,4—6,3	1,7 4,6—5,0	1,0 4,0—4,3	-100
		11,2	10,6	9,0	8,1	5,8	4,8	4,0	
130	6 Горячекатаный	1,3—2,3	1,9—3,5	1,1—1,8	0,3—0,6	0,8—1,1	0,4—0,6	0,5	Выше 10
	7 Отожженный	1,8 4,1—5,0	2,8 2,5—4,8	1,4 3,9—4,0	0,4 2,2—3,3	0,9 2,3—2,6	0,5 0,6—0,9	0,5 0,8—1,3	+20
	8 Нормализованный	4,6 4,6—9,0	3,8 7,4—7,4	3,9 5,4—6,8	2,8 4,4—6,0	2,4 1,3—3,8	0,7 1,2—1,5	1,0 0,5—1,8	-60
	9 Закаленный и отпущенный	7,2 9,8—14,7	7,4 10,0—10,5	6,2 8,6—10,5	5,2 7,5—8,1	2,6 4,7—5,0	1,3 2,4—3,8	1,1 1,5—3,5	0
		12,1	10,3	9,6	7,8	4,8	3,1	2,5	-80

11 Примечания:

12 1. Химический состав стали, %

2 Диаметр прутка мм	C	Mn	Si	Cr	P	S	2 Диаметр прутка мм	C	Mn	Si	Cr	P	S
18	0,35	0,64	0,21	0,93	0,023	0,020	130	0,37	0,69	0,25	1,12	0,020	0,025

13 3. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

Key to page 262

- 1) Effect of heat treatment on impact strength (data of the Institute of Petrochemical and Coal Tar Synthesis)
- 2) rod diameter, mm
- 3) material state
- 4) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 5) t_{kr} , °C at $a_{nmin} \leq 4$ kg·m/cm²
- 6) hot-rolled
- 7) annealed
- 8) normalized
- 9) quenched and tempered
- 10) above +20
- 11) Notes.
- 12) 1. Chemical composition of steel, %
- 13) 2. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.

1 Влияние температуры отпуска на ударную вязкость закаленной стали

2 Термическая обработка	3 a_H , кг·м/см ² , при температуре, °C								4 Литера-тура
	+20	-25	-40	-50	-60	-70	-100	-106	
5 Закалка с 850° C в масло, отпуск при 200° C	3,9	—	—	—	2,8	—	—	—	[78]
6 Отпуск, 460° C	9,0	—	—	—	5,2	—	—	—	
7 Отпуск, 550° C	11,0	—	—	6,8	—	6,9	5,8	1,3	[61]
8 Отпуск, 580° C » 650° C	9,3	8,4	—	—	—	5,5	—	—	[107]
	16,3	15,1	10,9	—	—	8,7	—	—	

9 Примечание: Химический состав стали, % [78]: 0,3 C; 0,58 Mn; 0,27 Si; 0,87 Cr; 0,018 P; 0,012 S.

10 Ударная знакопеременная усталость [78]

2 Термическая обработка	11 Температура испытания °C	12 a_H , кг·м/см ²	13 Предел ударной усталости σ_H , кг/мм ²	
			14 $N=3 \cdot 10^5$ циклов	14 $N=1 \cdot 10^6$ циклов
15 Закалка с 850° C, отпуск при 460° C, (HRC=38—40)	+20	9,0	222	125
	-60	5,2	187	99
16 Закалка с 850° C, отпуск при 200° C, (HRC=49—51)	+20	3,9	181	91
	-60	2,8	154	85

17 Примечания: 1. Химический состав стали: %: 0,39 C; 0,58 Mn; 0,27 Si; 0,87 Cr; 0,018 P; 0,012 S.
2. Образец прямоугольного сечения консольный.

Key to page 264

- 1) Influence of tempering temperature on impact strength of hardened steel
- 2) heat treatment
- 3) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 4) source
- 5) quenching from 850°C in oil, tempering at 200°C
- 6) 460°C tempering
- 7) 550°C tempering
- 8) 580°C tempering
- 9) Note. Chemical composition of steel, % [78]
- 10) alternating-sign impact fatigue [78]
- 11) test temperature, °C
- 12) a_n , kg·m/cm²
- 13) impact-fatigue limit σ_n , kg/mm²
- 14) cycles
- 15) quenching from 850°C, tempering at 460°C (HRC = 38-40)
- 16) quenching from 850°C, tempering at 200°C (HRC = 49-51)
- 17) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.39 C; 0.58 Mn; 0.27 Si; 0.87 Cr; 0.018 P; 0.012 S. 2. Cantilevered rectangular specimen.

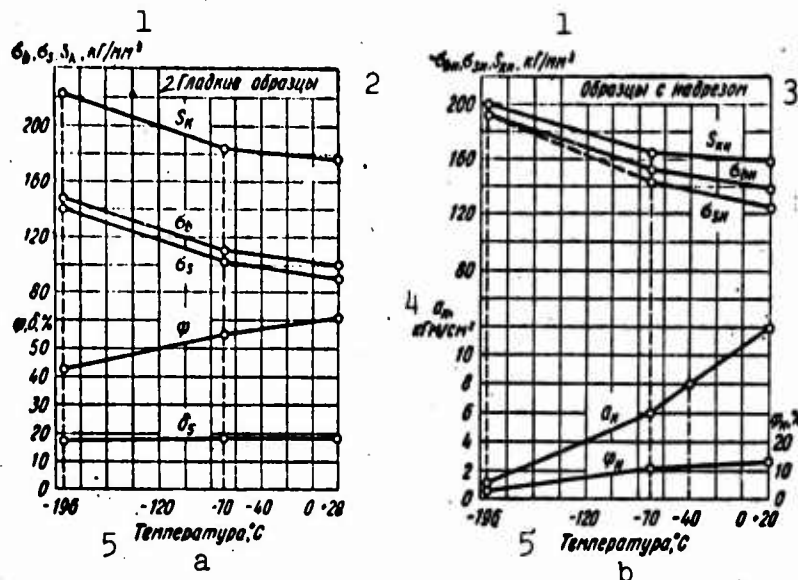


Рис. 53. Влияние низких температур на механические свойства стали 38ХА, закаленной с 860° С в масле и отпущенной при 550° С. Образцы гладкие диаметром 10 мм с надрезом: $D_0 = 10$ мм; $d_H = 8$ мм; угол надреза 60°; $r_H = 0,3$ мм [112]

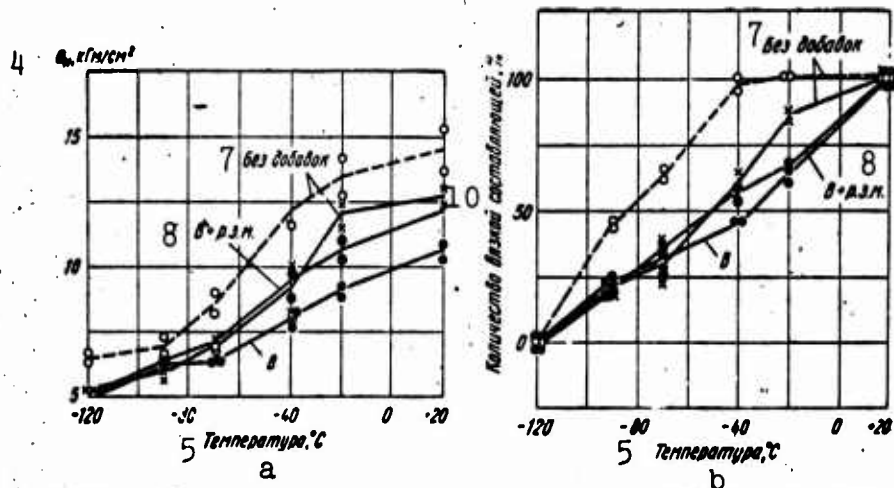
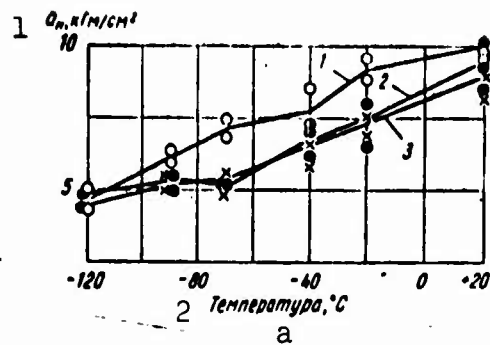


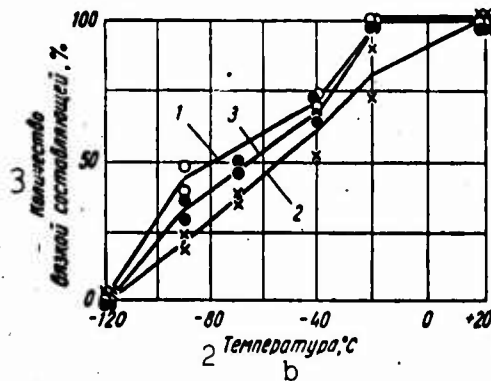
Рис. 54. Влияние бора и микрометалла на склонность стали 40Х к обратной отпускной хрупкости, оцененной ударной вязкостью (а) и количеством вязкой составляющей (б): — — — — — неохрупченное состояние: закалка с 850° С в масле, отпуск при 650° С с охлаждением в масле; — — — — — охрупченное состояние: то же, и отпуск при 520° С в течение 16 ч [108]

Key to page 266

- 1) kg/mm^2
- 2) smooth specimens
- 3) notched specimens
- 4) $a_n, \text{kg}\cdot\text{m/cm}^2$
- 5) temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 6) Fig. 53. Effect of low temperatures on mechanical properties of steel 38KhA quenched from 860°C in oil and tempered at 550°C . Smooth specimens are 10 mm in diameter, and for notched specimens: $D_0 = 10 \text{ mm}$; $d_n = 8 \text{ mm}$; 60° notch angle; $r_n = 0.1 \text{ mm}$ [112]
- 7) without additives
- 8) B + rare earth metals
- 9) Fig. 54. Influence exerted by boron and misch metal on tendency of steel 40Kh to reversible temper brittleness, evaluated from impact strength (a) and amount of viscous component (b). --- nonbrittle state: quenching from 850°C in oil, tempering at 650°C with cooling in oil; — brittle state: same, and tempering at 520°C for 16 hours [108]
- 10) amount of viscous component, %

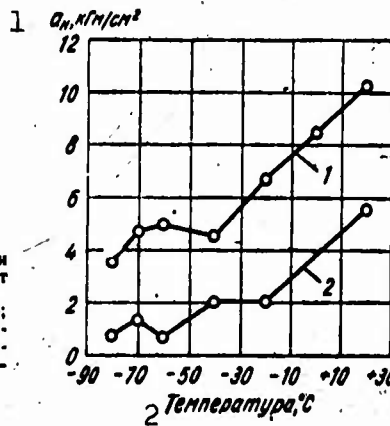


a



b

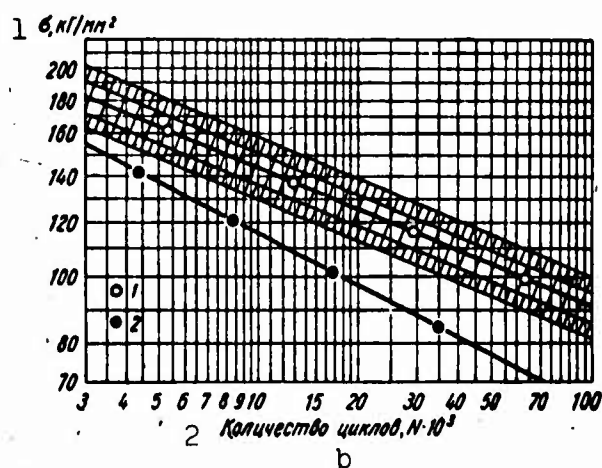
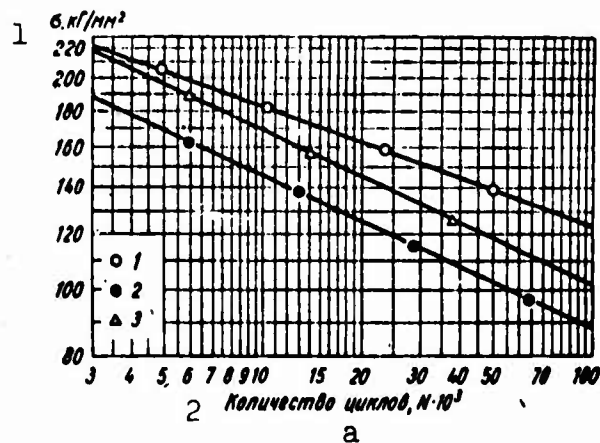
4 Рис. 55. Влияние бора и нишметалла на ударную вязкость (а) и количество вязкой составляющей (б) стали 40X, закаленной с 850° С в масле и отпущенной при 550° С в течение 2 ч с охлаждением в воде:
1 — без добавок; 2 — с бором; 3 — с бором и нишметаллом [108]



5 Рис. 56. Ударная вязкость основного металла и околошовной зоны стали 40X в зависимости от температуры испытания:
1 — основной металл (пластина толщиной 16 мм); 2 — околошовная зона (оптимальный режим сварки). Термическая обработка пластин перед сваркой: закалка в 860° С и отпуск при 560—620° С [76]

Key to page 268

- 1) a_n , kg·m/cm²
- 2) temperature, °C
- 3) amount of viscous component, %
- 4) Fig. 55. Influence exerted by boron and misch metal on impact strength (a) and amount of viscous component (b) of steel 40Kh quenched from 850°C in oil and tempered at 550°C for 2 hours with cooling in water. 1) without additives; 2) with boron; 3) with boron and misch metal [108]
- 5) Fig. 56. Impact strength of base metal and around-the-weld zone of steel 40Kh as function of test temperature. 1) base metal (plate 16 mm thick); 2) around-the-weld zone (optimum welding conditions). Heat treatment of plate before welding: quenching from 860°C and tempering at 560-620°C [76].



3 Рис. 57. Ударная усталость (знакопеременная) термически обработанной стали 40X. Образцы консольные прямоугольного сечения [78]: (1 — неупрочненные при $+20^\circ \text{C}$; 2 — неупрочненные при -60°C ; 3 — упрочненные при -60°C); а — 38—40HRC; б — 49—51HRC при $+20$ и -60°C

4 Сталь 40ХН

5 I. Свойства при $+20^\circ \text{C}$ по ГОСТ 4543—81

6 Химический состав, %

C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P	Cu
					7 не более		
0,36—0,44	0,50—0,80	0,17—0,37	0,45—0,75	1,0—1,40	0,035	0,035	0,20

Key to page 270

- 1) kg/mm^2
- 2) number of cycles, $N \cdot 10^3$
- 3) Fig. 57. Impact fatigue (alternating-sign) of heat-treated steel 40Kh. Cantilevered rectangular specimens [78]: (1) unhardened at $+20^\circ\text{C}$; 2) unhardened at -60°C ; 3) hardened at -60°C). a) 38-40 HRC; b) 49-51 HRC at $+20$ and -60°C
- 4) Steel 40KhN
- 5) I. Properties at $+20^\circ\text{C}$ according to GOST 4543-61
- 6) chemical composition, %
- 7) not above

1 Механические свойства

2 Термическая обработка	3 $\sigma_{0.2}$ кг/мм ² не более	4 $\sigma_{0.2}$ кг/мм ²	5 $\sigma_{0.2}$ кг/мм ²	6 δ %	7 ψ %	8 K_{IC} кг/мм ^{3/2}
		7 не менее				
8 Закалка с 820°С в воде или масле, отпуск при 500°С с охлаждением в воде или масле	217	100	80	11	45	7

9 Примечание. Твердость дана для отожженной или отпущенной стали.

10 Назначение — для изготовления деталей, работающих при средних скоростях и средних удельных давлениях при наличии ударных нагрузок (коленчатые валы, шатуны, шестерни).

11 II. Механические свойства при низких температурах

12 Ударная вязкость (данные Института нефте- и углехимического синтеза)

13 Вид полуфабриката	14 Состояние материала	15 $\sigma_{0.2}$, кг/мм ² , при температуре, °С					16 K_{IC} , при $T_{0.2}$, °С
		+20	0	-20	-40	-60	
20 Поковка диск 200×30 мм	17 Без термообработки	$\frac{5}{5}$	$\frac{3,2-4,2}{3,7}$	$\frac{1,8-3,7}{2,7}$	$\frac{1,4-1,8}{1,6}$	$\frac{0,5-1,5}{1,1}$	0
	18 Отожженный	$\frac{5,4}{5,4}$	$\frac{5,3}{5,3}$	$\frac{4,5}{4,5}$	$\frac{3,3-3,7}{3,5}$	$\frac{3,3-3,6}{3,4}$	-30
	19 Нормализованный	$\frac{4,2}{4,2}$	$\frac{7,3}{7,3}$	$\frac{4,8-6,0}{5,4}$	$\frac{4,4-4,8}{4,6}$	$\frac{3,6-4,1}{3,8}$	-60
	21 Закаленный и отпущенный	$\frac{11,7}{11,7}$	$\frac{11,8}{11,8}$	$\frac{11,8}{11,8}$	$\frac{9,2-9,8}{9,5}$	$\frac{7,5-9,6}{8,2}$	Нижне -60 22

23 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,40 С; 0,68 Мп; 0,27 Si; 0,69 Cr; 1,33 Ni; 0,24 Cu; 0,021 P; 0,021 S.
2. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

Key to page 272

- 1) mechanical properties
- 2) heat treatment
- 3) HB, kg/mm² not above
- 4) σ_v , kg/mm²
- 5) σ_t , kg/mm²
- 6) a_n , kg·m/cm²
- 7) not below
- 8) quenching from 820°C in water or oil, tempering at 500°C with cooling in water or oil
- 9) Note. Hardness is given for the annealed or tempered steel
- 10) Application - for production of components operating at moderate speeds and under moderate specific pressures in the presence of impact loading (crankshafts, connecting rods and pinions)
- 11) II. Mechanical properties at low temperatures
- 12) impact strength (data of Institute of Petrochemical and Coal Tar Synthesis)
- 13) type of semiproduct
- 14) material state
- 15) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 16) t_{kr} , °C, at $a_{n_{min}} \leq 4$ kg·m/cm²
- 17) without heat treatment
- 18) annealed
- 19) normalized
- 20) forged plate 200 × 30 mm
- 21) quenched and tempered
- 22) below -60
- 23) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.40 C; 0.68 Mn; 0.27 Si; 0.69 Cr; 1.23 Ni; 0.24 Cu; 0.021 P; 0.021 S. 2) The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.

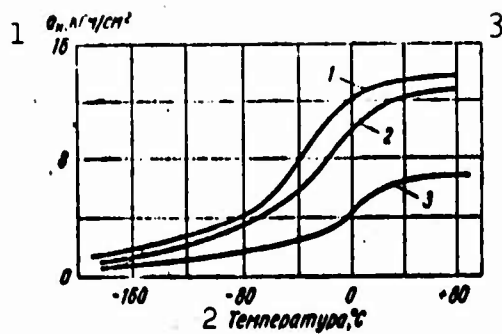


Рис. 58. Ударная вязкость стали 40XН (0,39% С; 0,33% Si; 0,69% Mn; 1,25% Cr; 1,66% Ni) в зависимости от состояния и температуры испытания: 1 — вязкое состояние; 2 — промежуточное состояние; 3 — хрупкое состояние [110]

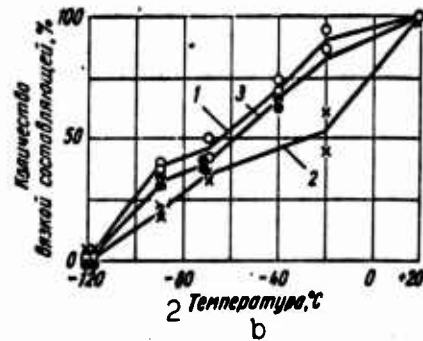
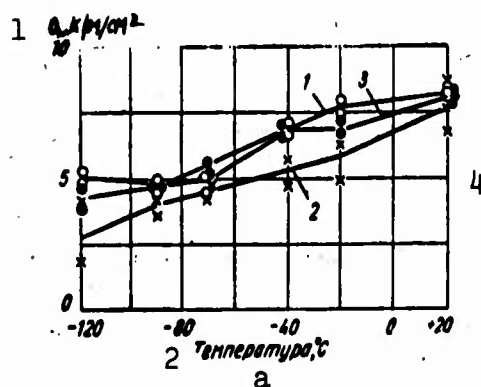


Рис. 59. Влияние бора и микроалloyа на ударную вязкость (а) и количество вязкой составляющей (б) стали 40XН, закаленной с 850° С в масле и отпущенной при 550° С в течение 2 ч с охлаждением в воде: 1 — без добавок; 2 — с бором; 3 — с бором и микроалloyом [108]

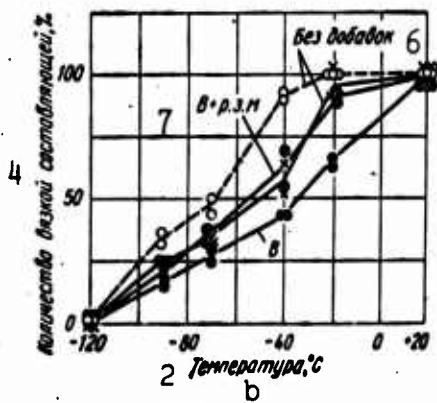
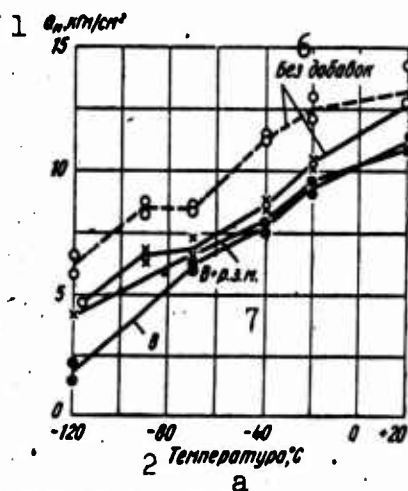


Рис. 60. Влияние бора и микроалloyа на склонность стали 40XН к обратной отпускной хрупкости, оцененной ударной вязкостью (а) и количеством вязкой составляющей (б): — — — — — исходное состояние (закалка в масле с 850° С, отпуск при 650° С с охлаждением в воде); — — — — — охрупченное состояние: то же, и отпуск при 620° С в течение 16 ч [108]

Key to page 274

- 1) a_n , kg·m/cm²
- 2) temperature, °C
- 3) Fig. 58. Impact strength of steel 40KhN (0.39% C, 0.33% Si, 0.59% Mn; 1.25% Cr; 1.56% Ni) as function of state and test temperature. 1) viscous state; 2) semiviscous state; 3) brittle state [110]
- 4) amount of viscous component
- 5) Fig. 59. Influence of boron and misch metal on impact strength (a) and amount of viscous component (b) in steel 40KhN quenched from 850°C in oil and tempered at 550°C for 2 hours with cooling in water. 1) without additive; 2) with boron; 3) with boron and misch metal [108]
- 6) without additives
- 7) B + r.e.m.
- 8) Fig. 60. Influence exerted by boron and misch metal on tendency of steel 40KhN to reversible temper brittleness, evaluated from impact strength (a) and amount of viscous component (b). --- nonbrittle state (quenching in oil from 850°C, tempering at 650°C with cooling in water) — brittle state: same, and tempering at 520°C for 16 hours [108]

1 Сталь 12ХН2

2 I. Свойства при +20°С по ГОСТ 4543—61

3 Химический состав, %

C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P	Cu
4 не более							
0,09—0,16	0,30—0,60	0,17—0,37	0,60—0,90	1,50—1,90	0,035	0,035	0,20

5 Механические свойства

6 Термическая обработка	7 НВ кг/мм² не более	8 кг/мм²	9 кг/мм²	10 %	11 %	12 кг/см²
12 не менее						
11 Закалка с 860°С и 760—810°С в масле или воде, отпуск при 180°С с охлаждением в масле или на воздухе	207	80	60	12	50	9

13 Примечание. Твердость дана для отожженной или отпущенной стали.

14 Назначение — для изготовления ответственных деталей сложной конфигурации (шестерни, валов, поршневых колец и т. п.).

15 II. Механические свойства при низких температурах

16 Прочность при растяжении [5]

17 Изделие	6 Термическая обработка	18 Температур, °С	8 кг/мм²	10 %	11 %
19 Прутки	20 Отжиг при 680°С в течение часа	+17	49	27	75
		—196	89	19	22
		—253	101	27	0
	21 Отжиг при 800°С в течение часа	+17	51	25	75
		—196	86	20	52
		—253	119	0	2

22 Примечание. Химический состав стали, %: 0,18 С; 0,43 Мн; 0,25 Si; 0,77 Cr; 1,62 Ni; 0,0147 S; 0,031 P.

10 С. И. Гудков 1028

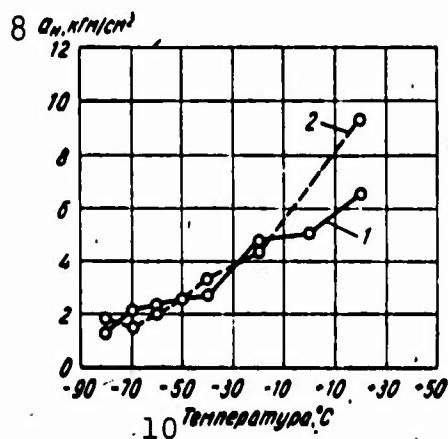
Key to page 276

- 1) Steel 12KhN2
- 2) I. Properties at +20°C according to GOST 4543-61
- 3) chemical composition, %
- 4) not above
- 5) mechanical properties
- 6) heat treatment
- 7) HB, kg/mm² not above
- 8) σ_v , kg/mm²
- 9) σ_t , kg/mm²
- 10) a_n , kg·m/cm²
- 11) quenching from 860°C and 760-810°C in oil or water, tempering at 180°C with cooling in oil or in air
- 12) not below
- 13) Note. Hardness is given for the annealed or tempered steel.
- 14) Application - for production of dependable components of complex design (pinions, shafts, piston rings, etc.)
- 15) II. Mechanical properties at low temperatures
- 16) tensile strength
- 17) article
- 18) temperature, °C
- 19) rod
- 20) annealing at 680°C for 1 hour
- 21) annealing at 800°C for 1 hour
- 22) Note. Chemical composition of steel, %: 0.18 C; 0.43 Mn; 0.25 Si; 0.77 Cr; 1.62 Ni; 0.0147 S; 0.031 P.

1 Ударная вязкость [36]

2 Изделие	3 Термическая обработка	4 a_n , кг·м/см ² , при температуре, °C	
		+20	-183
5 Пруток	6 Закалка с 850° С, отпуск при 600° С	21,5	3,6

7 Примечание. Химический состав стали, %: 0,12 С; 1,0 Сг; 2,26 Ni.



9 Рис. 61. Ударная вязкость основного металла и околошовной зоны стали 12ХНЗ (0,17% С; 0,55% Мп; 0,28% Si; 1,02% Сг; 1,63% Ni; 0,022% S; 0,026% Р) в зависимости от температуры испытания: 1 — основной металл (пластина толщиной 16 мм), 2 — околошовная зона (оптимальный режим сварки) [76]

11 Сталь 12ХНЗА

12 I. Свойства при +20° С по ГОСТ 4543—61

13 Химический состав, %

C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P	Cu
					18 не более		
0,09—0,16	0,30—0,60	0,17—0,37	0,60—0,90	2,75—3,15	0,025	0,025	0,20

14 Механические свойства

3 Термическая обработка	15 H_B кг/мм ² не более	16 σ_B , кг/мм ²	17 σ_T , кг/мм ²	18 δ , %	19 ψ , %	20 α_K , м/см ²
		19 не менее				
20 Закалка с 860° С и с 760—810° С в масле или воде, отпуск при 180° С с охлаждением в масле или на воздухе	217	95	70	11	55	9

21 Примечание. Твердость дана для отожженной или отпущенной стали.

22 Назначение — для изготовления цементируемых или закаленных ответственных деталей сложной формы, работающих в условиях износа на трение при наличии ударных нагрузок.

Key to page 278

- 1) impact strength [36]
- 2) article
- 3) heat treatment
- 4) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 5) rod
- 6) quenching from 850°C , tempering at 600°C
- 7) Note. Chemical composition of steel, %: 0.12 C, 1.0 Cr and 2.26 Ni.
- 8) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 9) Fig. 61. Impact strength of base metal and around-the-weld zone of steel 12KhN2 (0.17% C; 0.55% Mn; 0.28% Si; 1.02% Cr; 1.63% Ni; 0.022% S; 0.026% P) as function of test temperature. 1) base metal (plate 16 mm thick); 2) around-the-weld zone (optimum welding conditions) [76]
- 10) temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 11) Steel 12KhN3A
- 12) I. Properties at $+20^{\circ}\text{C}$ according to GOST 4543-61
- 13) chemical composition, %
- 14) mechanical properties
- 15) HB, kg/mm^2 not above
- 16) σ_v , kg/mm^2
- 17) σ_t , kg/mm^2
- 18) not above
- 19) not below
- 20) quenching from 860°C and from $760-810^{\circ}\text{C}$ in oil or water, tempering at 180°C with cooling in oil or in air
- 21) Note. Hardness is given for the annealed or tempered steel
- 22) Application - for production of dependable carburizing or hardened components of complex shape working in friction in the presence of impact loading

1 II. Физические свойства при низких температурах

2 Теплопроводность [60]

3 Температура, °C	4 λ , вт/м·град
+23	43,96
-195	9,67
-255	3,33

5 Примечание. Химический состав стали, %:
0,12 C; 0,54 Mn; 0,28 Si; 0,93 Cr; 3,50 Ni; 0,033 S; 0,032 P.

6 III. Механические свойства при низких температурах

7 Прочность при растяжении

8 Вид полуфабриката	9 Состояние материала	10 Температура испытания, °C	11 σ_B , кг/мм ²	12 σ_T , кг/мм ²	13 δ_2 , %	14 ψ , %	15 Литература
17 Прутки диаметром 20 мм	14 В состоянии поставки	+20 -183	95,0 118,0	73,0 97,0	22,5 15,0	61,0 —	[113]
	15 Нормализация при 860—880° C	+20 -183	80,0 120,0	44,0 92,0	25,0 24,0	54,0 47,0	
	16 Закалка с 860—870° C в воде с последующим отпуском при 600° C	+20 -183	91,0 122,0	85,5 116,0	20,5 22,0	72,0 57,0	
	18 То же, при различных температурах отпуска, °C:						
	650	+20 -183	81,0 115,0	71,0 107,0	21,5 —	74,0 55,0	
	700	+20 -183	84,0 114,0	58,0 94,0	22,0 25,0	65,0 57,0	
	750	+20 -183	79,0 117,0	56,0 93,0	24,0 26,0	65,0 57,0	
	19 Отжиг при 680° C в течение часа	+17 -196 -253	56,0 97,0 106,0	—	22,0 22,0 6,0	73,0 56,0 60,0	
	20 Отжиг при 800° C в течение часа	+17 -196 -253	64,0 109,0 119,0	—	21,0 19,0 3,0	54,0 30,0 4,0	
22 Цилиндр детандера ДВД-10	23 Цементация, закалка в масле, отпуск при 200° C в течение 3 ч (образцы вырезали после всех обработок)	+20 -183	89,0 126	73,8 103,1	16,8 21,3	70,7 63,5	[113]

24 Примечание.

25 Химический состав стали, %

8 Вид полуфабриката	C	Si	Mn	Cr	Ni
17 Прутки диаметром 20 мм	0,12	0,35	0,58	0,9	2,87
	0,14	0,29	0,48	0,98	3,28

10°

Key to page 280

- 1) II. Physical properties at low temperature
- 2) thermal conductivity [60]
- 3) temperature, °C
- 4) λ , W/m·degree
- 5) Note. Chemical composition of steel, %: 0.12 C; 0.54 Mn; 0.28 Si; 0.93 Cr; 3.50 Ni; 0.033 S; 0.032 P.
- 6) III. Mechanical properties at low temperatures
- 7) tensile strength
- 8) type of semiproduct
- 9) material state
- 10) test temperature, °C
- 11) σ_v , kg/mm²
- 12) σ_t , kg/mm²
- 13) source
- 14) in as-delivered state
- 15) normalizing at 860-880°C
- 16) quenching from 860-870°C in water with subsequent tempering at 600°C
- 17) rod 20 mm in diameter
- 18) same, tempering at various temperatures, °C
- 19) annealing at 680°C for 1 hour
- 20) annealing at 800°C for 1 hour
- 21) rod
- 22) cylinder of DVD-10 refrigerator
- 23) casehardening, quenching in oil, tempering at 200°C for 3 hours (specimens were cut out after completion of treatment)
- 24) Note.
- 25) chemical composition of steel, %

7 Влияние термической обработки на ударную вязкость
(данные Института нефте- и углехимического синтеза)

2 Состояние материала	3 σ_u , кг·м/см ² , при температуре, °C							4 $T_{кр}$ при σ_u мин, °C
	+20	0	-20	-40	-60	-80	-100	
5 Горячекатаный	$\frac{17,0}{17,0}$	$\frac{11-13,2}{12,1}$	$\frac{10,9-12,0}{11,4}$	$\frac{7,3-8,5}{7,9}$	$\frac{6,2-7,8}{7,0}$	$\frac{5,0-7,3}{6,1}$	$\frac{2,2-4,4}{3,3}$	-90
6 Нормализованный	$\frac{11,0-12,4}{11,7}$	$\frac{9,0-12,0}{9,8}$	$\frac{8,2-9,2}{8,7}$	$\frac{5,6-7,3}{6,4}$	$\frac{5,5-6,0}{5,7}$	$\frac{4,8-4,8}{4,8}$	$\frac{3,8-5,0}{4,4}$	-100
7 Отожженный	$\frac{26,3-26,6}{26,4}$	$\frac{26,3-26,3}{26,3}$	$\frac{24,4-25,6}{25,0}$	$\frac{20,6-22,2}{21,4}$	$\frac{18,7-20,2}{19,4}$	$\frac{13,9-15,6}{14,7}$	$\frac{15,8-19,5}{17,6}$	Ниже 11 -100
8 Нормализованный и отпущенный при 650° C	$\frac{26,6-27,2}{26,9}$	$\frac{27,2-29,5}{28,4}$	$\frac{26,6-27,2}{26,9}$	$\frac{27,4-29,1}{28,2}$	$\frac{21,0-22,3}{21,6}$	$\frac{17,0-22,6}{19,8}$	$\frac{21,4-23,2}{22,3}$	Ниже 11 -100
9 Нормализованный и отпущенный при 500° C	$\frac{18,6-22,1}{20,3}$	$\frac{19,2-19,5}{19,3}$	$\frac{19,6-19,9}{19,7}$	$\frac{16,5}{16,5}$	$\frac{14,8-15,5}{15,1}$	$\frac{8,0-13,2}{10,6}$	$\frac{10,7-11,0}{10,8}$	Ниже 11 -100
10 Закаленный и отпущенный	$\frac{27,4-28,3}{27,8}$	$\frac{22,6-28,0}{26,5}$	$\frac{26,8-28,7}{27,7}$	$\frac{25,6-26,7}{26,1}$	$\frac{21,5-23,8}{22,6}$	$\frac{22,6}{22,6}$	$\frac{20,0-25,0}{20,2}$	Ниже 11 -100

12 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,13 C; 0,46 Mn; 0,28 Si; 0,65 Cr; 3,25 Ni; 0,018 P; 0,014 S.
2. Для исследований применяли пруток диаметром 30 мм.
3. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

Key to page 282

- 1) Effect of heat treatment on impact strength (data of the Institute of Petrochemical and Coal Tar Synthesis)
- 2) material state
- 3) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 4) t_{kr} , $^{\circ}\text{C}$, at $a_{n_{min}} \leq 4 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 5) hot-rolled
- 6) normalized
- 7) annealed
- 8) normalized and tempered at 650°C
- 9) normalized and tempered at 500°C
- 10) quenched and tempered
- 11) below -100
- 12) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.13C; 0.47 Mn; 0.28 Si; 0.65 Cr; 3.25 Ni; 0.018 P; 0.014 S. 2. A rod 30 mm in diameter was used for the studies. 3. The limits are given in the numerator and the average impact-strength values in the denominator.

1 Влияние температуры отпуска на ударную вязкость [113]

2 Термическая обработка	3 a_n , кг·м/см ² , при температуре, °C				
	+20	-78	-120	-183	-196
4 Закалка с 860° С в воде, отпуск при 500° С	18,3—20,0	6,9—8,3	6,2—7,5	2,1—2,5	1,7—3,0
5 То же, с отпуском при различных температурах, °C:					
550	21,3—24,5	7,6—9,9	5,2—8,9	1,7—2,0	1,7—2,2
600	21,8—23,5	13,4—18,0	8,2—13,5	1,6—2,0	1,8—3,1
650	24,0—32,5	18,4—19,3	17,5—19,3	6,2—7,2	1,7—2,5
700	14,0—18,2	12,0—14,0	10,0—12,5	4,0—4,7	3,1—5,4
750	9,75—20,4	5,4—15,0	4,7—12,3	2,2—5,2	1,5—2,5

6 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,10 С; 0,44 Мп; 0,30 Si; 3,06 Ni; 0,88 Cr.
2. Для исследований применяли прутки диаметром 30 мм.

7 Ударная вязкость стали в зависимости от термической обработки [113]

8 Вид полуфабриката	2 Термическая обработка	3 a_n , кг·м/см ² , при температуре, °C		
		+20	-100	-183
12 Пруток диаметром 20 мм	9 В состоянии поставки	12,5	—	0,75
	10 Нормализация 860—880°	9,0	—	1,2
	11 Закалка 860—870° С в воде с отпуском при различных температурах, °C:			
	600	21,0	—	2,8
	650	19,0	—	4,2
	700	15,0	—	4,2
	750	17,0	—	4,3
	13 Закалка с 870° С в масле с отпуском при различных температурах, °C:			
	200	10,4	—	2,0
	600	22,0	—	5,6
	650	24,0	—	7,1
	700	13,6	—	2,8
	750	11,8	—	1,0
4 Цилиндр детали ДВД-10	15 Цементация, закалка в масле, отпуск при 200° С в течение 3 ч (надрез образца сделан после всех обработок)	18,7	9,3	1,71

16 Примечание. Химический состав стали, %: 0,12 С; 0,35 Si; 0,58 Мп; 0,9 Cr; 2,87 Ni.

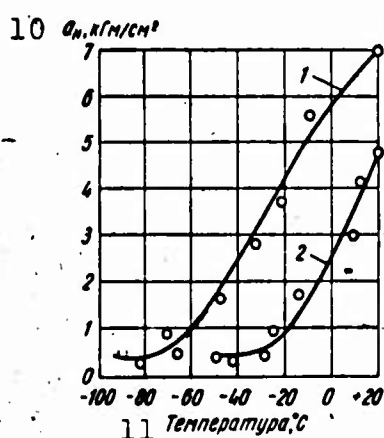
Key to page 284

- 1) Effect of tempering temperature on impact strength [113]
- 2) heat treatment
- 3) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 4) quenching from 860°C in water, tempering at 500°C
- 5) same, with tempering at various temperatures, °C
- 6) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.16 C; 0.44 Mn; 0.30 Si; 3.06 Ni; 0.86 Cr. 2. A rod 30 mm in diameter was used for the studies.
- 7) steel impact strength as function of heat treatment [113]
- 8) type of semiproduct
- 9) in as-delivered state
- 10) 860-800°C normalizing
- 11) quenching from 860-870°C in water with tempering at various temperatures, °C
- 12) rod 20 mm in diameter
- 13) quenching from 870°C in oil with tempering at various temperatures, °C
- 14) cylinder of DVD-10 refrigerator
- 15) casehardening, quenching in oil, tempering at 200°C for 3 hours (specimen notching after completion of treatment)
- 16) Note. Chemical composition of steel, %

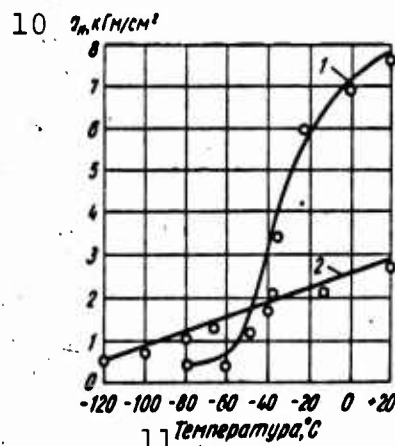
1 Ударная вязкость цементированной стали [113]

2 Изделие	3 Термическая обработка	4 a_{11} , кг·м/см ² , при тем- пературе, °С	
		+20	-183
6 Прутки диаме- тром 20 мм	5 Цементация, закалка в масле с последующим отпуском (надрез об- разца цементирован)	3,75	0,57
	7 То же (надрез образца сделан по- сле всех обработок)	6,75	0,66
	8 Режим аналогичен применяемо- му при цементации	20,5	9,7

9 Примечания: Химический состав стали, %: 0,12 С; 0,35 Si; 0,58 Mn; 0,9 Cr;
2,67 Ni.



12 Рис. 62. Изменение характера температурной кривой ударной вязкости прутка диаметром 30 мм из стали 12XНЗ (0,12% С; 0,41% Мп; 0,29% Si; 0,041% S; 0,037% Р; 0,97% Cr; 3,1% Ni) в зависимости от скорости охлаждения после отпуска:
1 — закалка с 880° С, отпуск 2 ч при 600° С, охлаждение в воде; 2 — закалка с 880° С, отпуск 3 ч при 600° С, охлаждение с печью [117]



13 Рис. 63. Изменение характера температурной кривой ударной вязкости прутка диаметром 30 мм из стали 12XНЗ (0,12% С; 0,41% Мп; 0,29% Si; 0,041% S; 0,037% Р; 0,97% Cr; 3,1% Ni) в зависимости от скорости охлаждения после нагрева выше точки A_{c1} :
1 — закалка в воде с 880° С; 2 — отжиг при 880° С, охлаждение с печью [117]

Key to page 286

- 1) impact strength of casehardened steel [113]
- 2) article
- 3) heat treatment
- 4) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 5) casehardening, quenching in oil with subsequent tempering (specimen notch is casehardened)
- 6) rod 20 mm in diameter
- 7) same (specimen notched after final treatment)
- 8) procedure similar to that used with casehardening
- 9) Notes. Chemical composition of steel, %: 0.12 C; 0.35 Si; 0.58 Mn; 0.9 Cr; 2.87 Ni.
- 10) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 11) temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 12) Fig. 62. Change in character of temperature curve of impact strength of steel 12KhN3 rod (0.12% C; 0.41% Mn; 0.29% Si; 0.041% S; 0.037% P; 0.97% Cr; 3.1% Ni) 30 mm in diameter as function of cooling rate after tempering. 1) quenching from 880°C , tempering for 2 hours at 600°C , cooling in water; 2) quenching from 880°C , tempering for 2 hours at 600°C , cooling with furnace [117]
- 13) Fig. 63. Change in character of temperature curve of impact strength of steel 12KhN3 rod (0.12% C; 0.41% Mn; 0.29% Si; 0.041% S; 0.037% P; 0.097% Cr; 3.1% Ni) 30 mm in diameter as function of cooling rate after heating above A_{c3} point. 1) quenching in water from 880°C ; 2) annealing at 880°C , cooling with furnace [117]

1 Сталь 30ХН3А

2 I. Свойства при +20°С по ГОСТ 4543—81

3 Химический состав, %

C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P	Cu
					4 не более		
0,27—0,34	0,30—0,60	0,17—0,37	0,60—0,90	2,75—3,15	0,025	0,025	0,20

5 Механические свойства

6 Термическая обработка	7 НВ кг/мм ² не более	8	9				10
		$\sigma_{\text{в}}$ кг/мм ²	$\sigma_{\text{т}}$ кг/мм ²	δ , %	ψ , %	$\alpha_{\text{к}}$ кг·м/см ²	
		12 не менее					
11 Закалка с 820° С в масле, отпуск при 530° С с охлаждением в воде или масле	241	100	80	10	50	8	

13 Примечание. Твердость дана для отожженной или отпущенной стали.

14 Назначение — для изготовления крупных ответственных изделий, подвергаемых закалке и высокому отпуску (цилиндры, валы, червяки); прокаливается в очень больших сечениях.

15 II. Механические свойства при низких температурах

16 Прочность при растяжении [113]

17 Вид полуфабриката	6 Термическая обработка	18 Температура испытания, °С	8 σ _в , кг/мм²	9 σ _т , кг/мм²	δ ₅ , %	ψ ₅ , %
20 Прутки диаметром 20 мм	19 Закалка с 840°С в масле, отпуск при 600°С в течение 30 мин и охлаждение в масле	+ 20	91,5	83,0	20,0	68,0
		—183	127,5	118,0	23,5	54,0
	21 То же, с отпуском при различных температурах, °С и времени выдержки:					
		22 600, 2 ч	+ 20	90,0	80,0	22,5
			—183	128,0	114,0	26,0
		23 625, 30 мин	+ 20	90,0	81,0	21,0
			—183	126,0	117,0	25,0
		24 625, 2 ч	+ 20	89,0	74,0	24,0
			—183	124,0	110,0	28,0

Key to page 288

- 1) Steel 30KhN3A
- 2) I. Properties at +20°C according to GOST 4543-61
- 3) chemical composition, %
- 4) not above
- 5) mechanical properties
- 6) heat treatment
- 7) HB, kg/mm², not above
- 8) σ_v , kg/mm²
- 9) σ_t , kg/mm²
- 10) a_n , kg·m/cm²
- 11) quenching from 820°C in oil, tempering at 530°C with cooling in water or oil
- 12) not below
- 13) Note: hardness given is for the annealed or tempered steel
- 14) Application - for production of large dependable parts subject to quenching and high tempering (cylinders, shafts, worms); hardened in very large sections
- 15) II. Mechanical properties at low temperatures
- 16) tensile strength [113]
- 17) type of semiproduct
- 18) test temperature, °C
- 19) quenching from 840°C in oil, tempering at 600°C for 30 minutes and cooling in oil
- 20) rod 20 mm in diameter
- 21) same, with tempering at various temperatures, °C and holding times
- 22) 600, 2 hours
- 23) 625, 30 minutes
- 24) 625, 2 hours

1 Продолжение

2 Вид полуфабриката	3 Термическая обработка	4 Температура испытания, °C	5 σ_B , кг/мм ²	6 σ_T , кг/мм ²	7 δ , %	8 ψ , %
8 Прутки диаметром 20 мм	7 Закалка с 840°С в масло с отпуском при различных температурах, °С и времени выдержки:					
	650, 30 мин 9	+ 20	86,0	70,0	22,5	65,0
		-183	123,0	114,0	26,0	55,0
	650, 2 ч 10	+ 20	84,0	72,0	23,0	65,0
		-183	120,0	111,0	27,5	60,0
	675, 30 мин 11	+ 20	87,0	—	24,0	66,0
		-183	124,0	—	27,0	55,0
	675, 2 ч 12	+ 20	82,0	61,0	24,0	67,5
		-183	121,5	96,0	25,5	54,6
	700, 30 мин 13	+ 20	92,0	56,6	22,0	56,0
		-183	131,0	89,0	23,0	44,0
	700, 2 ч 14	+ 20	100,0	60,0	21,0	49,5
		-183	134,0	92,0	18,5	54,0
15 Прутки диаметром 50 мм	650, 2 »	+ 20	82,4	68,7	23,8	67,2
		-183	120,0	105,0	26,1	53,3
	675, 2 »	+ 20	81,8	63,2	25,9	68,0
		-183	117,6	98,0	27,0	56,5

16 Примечание. Химический состав стали, %: 0,32 С; 0,27 Si; 0,40 Mn; 0,85 Cr; 2,95 Ni.

17 Влияние температуры отпуска на ударную вязкость

18 Диаметр прутка, мм	3 Термическая обработка	19 σ_u , кг·м/см ² , при температуре, °С				20 Лагера-тура
		+20	-40	-70	-183	
20	21 Закалка с 820°С в масло, отпуск 200°С	8,1	7,8	7,4		[104]
	22 То же, с отпуском при различных температурах, °С:					
	250	8,2	7,1	7,5	—	
	300	6,2	4,5	3,8		
	400	5,2	3,8	2,8		
	500	12,5	8,9	7,3		
	600	19,6	18,6	18,3		

Key to page 290

- 1) continued
- 2) type of semiproduct
- 3) heat treatment
- 4) test temperature, °C
- 5) σ_v , kg/mm²
- 6) σ_t , kg/mm²
- 7) quenching from 840°C in oil with tempering at various temperatures, °C and holding times
- 8) rod 20 mm in diameter
- 9) 650, 30 minutes
- 10) 650, 2 hours
- 11) 675, 30 minutes
- 12) 675, 2 hours
- 13) 700, 30 minutes
- 14) 700, 2 hours
- 15) rod 50 mm in diameter
- 16) Note. Chemical composition of steel, %:
- 17) effect of tempering temperature on impact strength
- 18) rod diameter, mm
- 19) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 20) source
- 21) quenching from 820°C in oil, 200°C tempering
- 22) same, with tempering at various temperatures, °C

1 Продолжение

2 Диаметр прутка, мм	3 Термическая обработка	4 σ_n , кг·м/см ² , при тем- пературе, °С				5 Темпера- тура
		+20	-40	-70	-183	
20°	6 Закалка с 820°С в масло с отпуском при различных тем- пературах, °С:	15,0	—	—	4,0	[113]
	600, 30 мин 7	15,5	—	—	3,0	
	600, 2 ч 8	16,5	—	—	5,0	
	625, 30 мин 7	17,5	—	—	4,6	
	625, 2 ч 8	—	—	—	—	
	650, 30 мин 7	20,0	—	—	4,8	
	650, 2 ч 8	18,0	—	—	5,4	
	675, 30 мин 7	19,0	—	—	5,3	
	675, 2 ч 8	18,5	—	—	6,1	
	700, 30 мин 7	13,0	—	—	4,3	
	700, 2 ч 8	9,1	—	—	3,1	
50	650, 2 ч 8	20,3	—	—	5,2	
	675, 2 ч 8	18,5	—	—	6,4	

9 Примечание:

10 Химический состав стали, %

2 Диаметр прутка мм	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P
20	0,28	0,13	0,38	0,78	2,99	0,015	0,024
20°, 50°	0,32	0,27	0,40	0,85	2,95	—	—

11 Сталь 34ХНЗМ

12 I. Свойства при +20°С по ТУ МТМ

13 Химический состав, %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	P	S	ТУ МТМ 14
						не более 15		
0,3—0,4	0,17—0,37	0,5—0,8	0,7—1,1	2,75—3,25	0,25—0,4	0,03	0,035	20-2—54

Key to page 292

- 1) continued
- 2) rod diameter, mm
- 3) heat treatment
- 4) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 5) source
- 6) quenching from 820°C in oil with tempering at various temperatures, °C
- 7) minutes
- 8) hours
- 9) note
- 10) chemical composition of steel, %
- 11) Steel 34KhN3M
- 12) I. Properties at +20° according to TU MTM [Heavy Machinery Ministry Technical Specifications]
- 13) chemical composition, %
- 14) TU MTM
- 15) not above

1 Механические свойства

2	Вид полуфабри- ката	3	Положение образцов	4	5	6	7	ТУ, МТМ
				$\sigma_{\text{в}}^{\text{н}} / \text{кг/мм}^2$	$\sigma_{\text{т}}^{\text{н}} / \text{кг/мм}^2$	$\delta, \%$	$\psi, \%$	
				11 не менее				
8	Поковки	9	Продольное Поперечное 10	70	82	14	40	6
				70	83	13	35	5
								20-4-54 20-5-54

12 Назначение — для изготовления наиболее ответственных деталей турбин и компрессорных машин; поковки валов и цельнокованных роторов турбин, работающих при температурах до 400° С

13 II. Механические свойства при низких температурах

14 Прочность при растяжении
(данные Иркутского Гипронефтемаша)

15	Термическая обработка	Темпера- тура 16	5 $\sigma_{\text{в}}$ кг/мм ²	4 $\sigma_{\text{т}}$ кг/мм ²	δ , %	ψ , %
17	Закалка с 850—870° С в масле, отпуск 610—620° С	20	90,9	75,5	17,2	54,4
		0	93,0	76,1	18,1	52,9
		-20	95,1	75,8	15,8	45,6
		-40	100,8	83,3	17,4	49,1
		-50	106,1	88,1	19,0	52,6
		-60	102,4	81,9	18,1	54,6
		-70	103,0	83,3	16,8	48,0
		-80	103,2	83,3	17,3	47,7
		-100	109,8	92,0	19,5	48,2

18 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,36 С; 0,27 Si; 0,48 Mn; 1,02 Cr; 0,05 Ni; 0,025 S; 0,028 P.
2. Для исследований применяли заготовку диаметром 300 мм.

19 Модуль упругости

16	Темпера- тура, °С	20 E, кг/мм ²	16	Темпера- тура, °С	20 E, кг/мм ²	16	Темпера- тура, °С	20 E, кг/мм ²
	20	20 050		-76	20 450		-196	20 950

21 Примечание. Химический состав стали тот же, что и в предыдущей таблице.

Key to page 294

- 1) mechanical properties
- 2) type of semiproduct
- 3) specimen position
- 4) σ_t , kg/mm²
- 5) σ_v , kg/mm²
- 6) a_n , kg·m/cm²
- 7) TU MTM
- 8) forgings
- 9) lengthwise
- 10) crosswise
- 11) not below
- 12) Application - for production of turbine and compressor components of highest dependability; shaft forgings and all-forged turbine rotors operating at temperatures up to 400°C
- 13) II. Mechanical properties at low temperatures
- 14) tensile strength (data of Irkutsk Giproneftemash [State Scientific Research and Planning Institute for Petroleum-Refinery Equipment])
- 15) heat treatment
- 16) temperature, °C
- 17) quenching from 850-870°C in oil, tempering at 510-620°C
- 18) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.36 C; 0.27 Si; 0.48 Mn; 1.02 Cr; 3.05 Ni; 0.025 S; 0.028 P. 2) A blank 300 mm in diameter was used for the studies.
- 19) elastic modulus
- 20) E, kg/mm²
- 21) Note: Chemical composition of steel is the same as that in the preceding table.

1 Ударная вязкость

2 Термическая обработка	3 a_K , кг·м/см ² , при температуре, °С						
	20	0	-20	-40	-60	-80	-100
4 Закалка с 850—870° С в масле, отпуск 610—620° С . . .	10,7	9,3	6,5	7,4	7,4	6,0	5,2

5 Примечания: 1. Состав стали тот же, что и в предыдущих двух таблицах.
2. Для исследований применяли заготовку диаметром 300 мм.

6 Влияние длительной выдержки в интервале температур от -183 до -80° С на механические свойства стали 34ХН3М (данные Иркутского Гипропетмаша)

7 Термическая обработка	8 Температура испытания, °С	9 Время выдержки, тыс. ч	10 σ_B , кг/мм ²	11 σ_T , кг/мм ²	12 ψ , %	13 ϕ_2 , %	14 a_K , кг·м/см ²
13 Закалка 850—870° С, охлаждение в масле, отпуск 610—620° С	20	0	90,9	75,4	54,7	17,2	10,7
		7,8	91,9	80,3	64,3	18,2	10,6
		10,2	93,0	76,4	66,5	20,1	12,5
	0	0	93,0	76,1	54,8	18,0	9,3
		7,8	92,4	75,8	62,5	18,2	9,4
		10,2	94,5	77,6	65,1	19,5	13,6
	-20	0	95,1	75,9	45,7	15,6	6,5
		7,8	97,1	80,8	61,5	19,6	7,5
		10,2	99,6	82,9	65,1	20,6	11,7
	-40	0	100,8	83,3	49,2	17,4	7,4
		7,8	101,4	82,6	60,2	19,6	7,0
		10,2	101,8	83,7	65,1	20,1	11,1
	-60	0	102,4	81,9	54,6	18,1	5,4
		7,8	103,3	82,1	60,9	19,4	6,3
		10,2	102,8	80,6	63,1	20,3	10,3
	-80	0	103,2	83,2	47,7	17,3	6,0
		7,8	105,6	84,8	60,0	19,7	6,3
		10,2	106,3	86,5	61,4	20,4	9,0
	-100	0	111,5	90,3	48,2	19,5	5,2
		7,8	108,4	90,6	54,7	20,5	5,7
		10,2	109,8	91,5	69,5	20,8	7,0

14 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,36 С; 0,48 Мн; 0,27 Si; 1,02 Cr; 1,06 Ni; 0,025 S; 0,028 P.
2. Для исследований применяли заготовку диаметром 300 мм.

Key to page 296

- 1) impact strength
- 2) heat treatment
- 3) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 4) quenching from $850-870^{\circ}\text{C}$ in oil, $610-620^{\circ}\text{C}$ tempering
- 5) Notes. 1. Chemical composition of steel is the same as that in the preceding two tables. 2) A blank 300 mm in diameter was used for the studies.
- 6) Influence of prolonged holding in the temperature interval from -183 to -80°C on mechanical properties of steel 34KhN3M (data of Irkutsk Giproneftemash)
- 7) heat treatment
- 8) test temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 9) holding time, thousands of hours
- 10) σ_v , kg/mm^2
- 11) σ_t , kg/mm^2
- 12) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 13) hardening at $850-870^{\circ}\text{C}$, cooling in oil, $610-620^{\circ}\text{C}$ tempering
- 14) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.36 C; 0.48 Mn; 0.27 Si; 1.02 Cr; 3.05 Ni; 0.025 S; 0.028 P. 2. A blank 300 mm in diameter was used for the studies.

1 Сталь 18Х2Н4ВА (18ХНВА)

2 I. Свойства стали при +20°С по ГОСТ 4543-81

3 Химический состав, %

C	Si	Mn	Cr
0,14—0,20	0,17—0,37	0,25—0,55	1,35—1,65

Ni	W	S	P	Cu
4,00—4,40	0,80—1,20	0,025	0,025	0,20

4 Механические свойства

5 Термическая обработка	6 HВ, кг/мм ²	7	8	δ, %	ψ, %	a _к , мм/см ²
		σ _в , кг/мм ²	σ _т , кг/мм ²			
		10 не менее				
1 Закалка с 950 и 850° С, охлаждение на воздухе, отпуск 180° С, охлаждение на воздухе или в масле	≥269	115	85	12	50	10
2 Закалка с 950° С, охлаждение на воздухе и с 860° С охлаждение в масле, отпуск 525—575° С охлаждение на воздухе	—	105	80	12	50	12

13 Примечание. Твердость дана для отожженной или отпущенной стали.

14 Назначение — применяют в цементованном или термически обработанном состоянии для изготовления крупных ответственных деталей (коленчатых валов, шатунов, шестерен, вращающихся и других деталей).

15 II. Механические свойства при низких температурах

16 Прочность при растяжении

5 Термическая обработка	17 Температура °С	σ _в , кг/мм ²	σ _т , кг/мм ²	8 δ, %		18 Литература
19 Закалка с 860°С с охлаждением на воздухе, отпуск 180°С	+20	134	—	13,1	54,0	[116]
	—70	143	—	13,3	57,0	
	—196	173	—	14,0	48,5	
20 Закалка с 820°С с охлаждением на воздухе, отпуск 550°С	+20	99,7	91,6	17,6	64,3	[68]
	—40	103,3	93,8	17,4	64,1	
	—70	105,6	97,2	17,3	53,0	

21 Примечания: 1. Химический состав стали [68], %: 0,19 С; 0,49 Мн; 0,20 Si; 1,32 Cr; 4,09 Ni; 0,87 W; 0,010 S; 0,036 P.
2. Для исследований применяли прутки диаметром 20 мм [68].

Key to page 298

- 1) Steel 18Kh2N4VA (18KhNVA)
- 2) I. Properties of steel at +20°C according to GOST 4543-61
- 3) chemical composition, %
- 4) mechanical properties
- 5) heat treatment
- 6) HB, kg/mm²
- 7) σ_v , kg/mm²
- 8) σ_t , kg/mm²
- 9) a_n , kg·m/cm²
- 10) not below
- 11) quenching from 950 and 850°C, cooling in air, 180°C tempering, cooling in air or in oil
- 12) quenching from 950°C, cooling in air and from 860°C cooling in oil, tempering at 525-575°C, cooling in air
- 13) Note. Hardness given is for the annealed or tempered steel
- 14) Application - in casehardened or heat-treated state for production of dependable large-scale components (crankshafts, connecting rods, pinions, fasteners and other components)
- 15) II. Mechanical properties at low temperatures
- 16) tensile strength
- 17) temperature, °C
- 18) source
- 19) quenching from 860°C with cooling in air, 180°C tempering
- 20) quenching from 820°C with cooling in air; 550°C tempering
- 21) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: [68]: 0.19 C; 0.49 Mn; 0.20 Si; 1.32 Cr; 4.09 Ni; 0.87 W; 0.010 S; 0.036 P.
2. A rod 20 mm in diameter was used for the studies [68].

1 Модуль сдвига [68]

2 Термическая обработка	3 Температура, °C	4 σ , кг/мм ²
5 Закалка с 820° C в масле, отпуск 550° C с охлаждением в масле	+20 -70	8636 9525
6 Примечание. Химический состав стали, %: 0,19 C; 0,49 Mn; 0,20 Si; 1,32 Cr; 4,09 Ni; 0,87 W; 0,010 S; 0,036 P.		

7 Ударная вязкость

2 Термическая обработка 2	8 a_n , кг·м/см ² , при температуре, °C						9 Температура
	+20	0	-40	-70	-100	-196	
10 Закалка с 850° C в масле, отпуск 170° C	11,5	—	—	9,2	—	4,3	[141]
5 Закалка с 820° C в масле, отпуск 550° C с охлаждением в масле	11,7	9,95	9,10	7,76	5,72	4,0	[68]
11 Примечания: 1. Химический состав стали [68], %: 0,19 C; 0,49 Mn; 0,20 Si; 1,32 Cr; 4,09 Ni; 0,87 W; 0,010 S; 0,036 P. 2. Для исследований применяли прутки 20 мм [68].							

12 Влияние электрошлакового переплава стали 18Х2Н4ВА на ударную вязкость при низких температурах [118]

13 Направление вырезки образцов	8 a_n , кг·м/см ² , при температуре, °C		
	+20	-20	-60
14 Продольные	15,3—16,1 18,6—20,8	11,5—12,0 15,0—15,3	9,8—10,0 11,5—11,8
15 Поперечные	7,6—9,7 17,1—17,8	16 Не определяли 14,1—15,4	9,4—10,0

17 Продолжение

13 Направление вырезки образцов	8 a_n , кг·м/см ² , при температуре, °C		
	-80	-100	-140
14 Продольные	8,0—9,0 11,0	7,0—7,5 11,3—11,5	5,5—6,0 7,5—9,5
15 Поперечные	8,6—9,6	7,9—8,1	4,0—5,9

18 Примечания: 1. Химический состав стали до переплава, %: 0,15 C; 1,3 Cr; 4,2 Ni; Mn — следы.
2. В числителе — исходное состояние (квадрат 160 мм), в знаменателе — после электрошлакового переплава (квадрат 60 мм); приведены минимальные и максимальные значения ударной вязкости.

Key to page 300

- 1) shear modulus [68]
- 2) heat treatment
- 3) temperature, °C
- 4) G , kg/mm²
- 5) quenching from 820°C in oil, 550°C tempering with cooling in oil
- 6) Note. Chemical composition of steel, %: 0.19 C; 0.49 Mn; 0.20 Si; 1.32 Cr; 4.09 Ni; 0.87 W; 0.010 S; 0.036 P.
- 7) impact strength
- 8) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 9) source
- 10) quenching from 850°C in oil, 170°C tempering
- 11) Notes. 1. Chemical composition of steel [68], %: 0.19 C; 0.49 Mn; 0.20 Si; 1.32 Cr; 4.09 Ni; 0.87 W; 0.010 S; 0.036 P. 2. A rod 200 mm in diameter was used for the studies [68]
- 12) influence of molten-slag arcless electric remelting of steel 18Kh2N4VA on low-temperature impact strength [118]
- 13) direction of specimen cutting
- 14) lengthwise
- 15) crosswise
- 16) not determined
- 17) continued
- 18) Notes. 1. Chemical composition of steel before remelting, %: 0.15 C; 1.3 Cr; 4.2 Ni, traces of Al. 2) The maximum and minimum impact strength values are listed in the numerator for the initial state (160 mm square), and in the denominator for after molten-slag arcless electric remelting (60 mm square).

1 Усталость [68]

2 Термическая обработка	3 Тип образца	5 Температура, °C	4 σ_{-1} , кг/мм ² при $n = 10^7$ циклов
6 Закалка с 820° С в масле, отпуск 550° С, охлаждение в масле	7 Круглый	+20	52,0
		-70	58,0
	8 Круглый с над-резом	+20	28,0
		-70	30,0

10 П р и м е ч а н и я: 1. Химический состав стали тот же, что и в табл. 1 на стр. 187.
2. Предел усталости определен при изгибе с вращением.

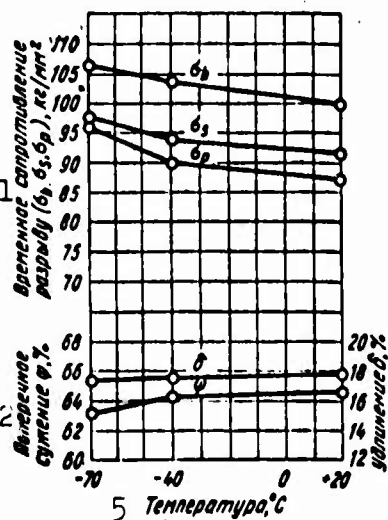


Рис. 64. Влияние низких температур на механические свойства стали 18X214HA, закаленной в масле с 820° С и отпущенной при 550° С [68]

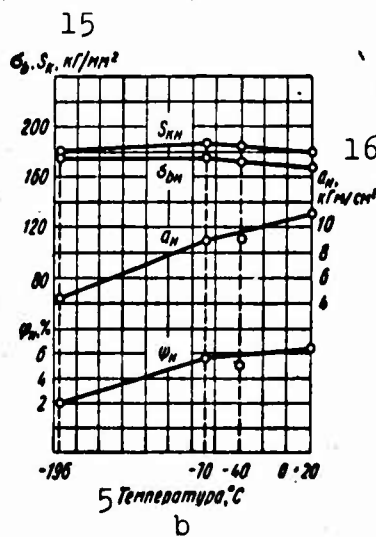
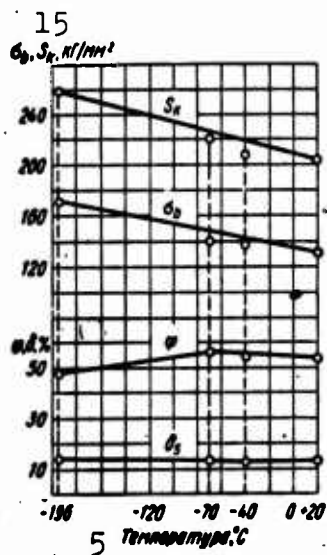
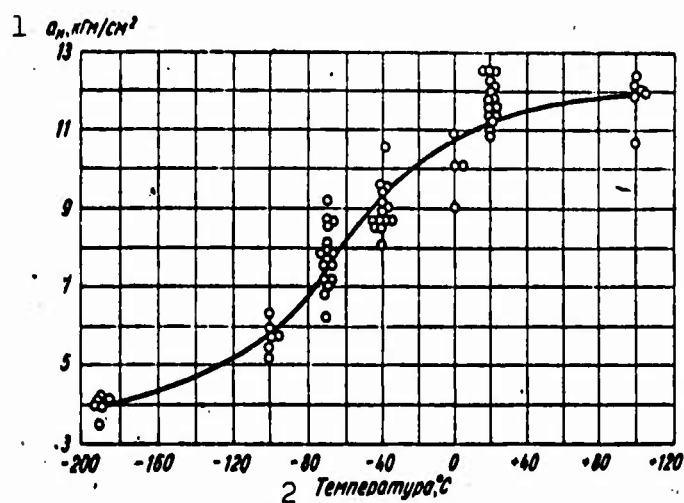


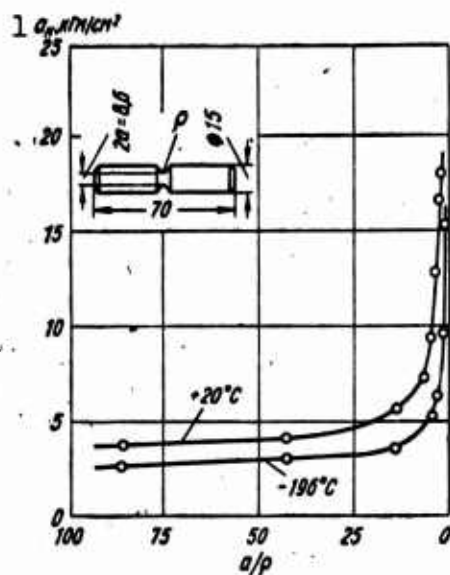
Рис. 65. Влияние низких температур на механические свойства стали 18X2H4BA (18XНВА): а — гладкие образцы; б — образцы с надрезом [112]

Key to page 30

- 1) fatigue [62]
- 2) heat treatment
- 3) specimen type
- 4) σ_1 , kg/mm² for $n = 10^7$ cycles
- 5) temperature, °C
- 6) quenching from 820°C in oil, 550°C tempering, cooling in oil
- 7) circular
- 8) flat
- 9) circular with notch
- 10) Notes. 1. Chemical composition of steel is the same as that in Table 1 on page 157. 2) The fatigue limit is determined for bending with rotation
- 11) short-term tensile strength (σ_b , σ_s , σ_p), kg/mm²
- 12) necking ψ , %
- 13) elongation δ , %
- 14) Fig. 64. Effect of low temperatures on mechanical properties of steel 18Kh2N4VA quenched from 820°C in oil and tempered at 550°C [68]
- 15) σ_b , s_k , kg/mm²
- 16) a_n , kg·m/cm²
- 17) Fig. 65. Effect of low temperatures on mechanical properties of steel 18Kh2N4VA (18KhNVA). a) smooth specimens; b) notched specimens [112]



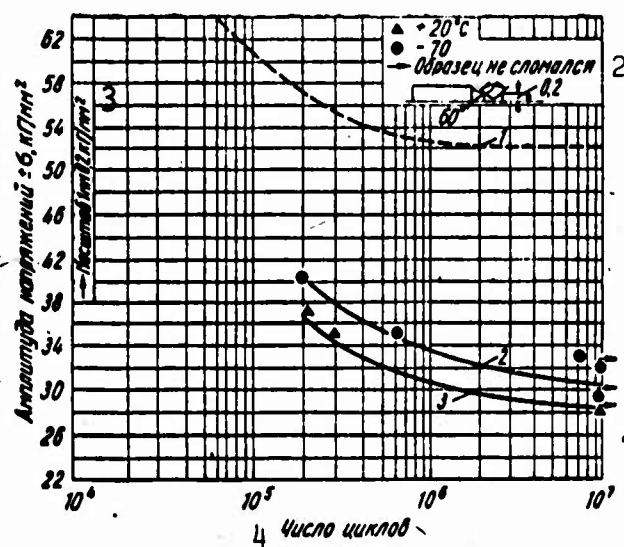
3 Рис. 66. Влияние низких температур на ударную вязкость стали 18X2H4BA, закаленной в масле с 820° С и отпущенной при 550° С [112]



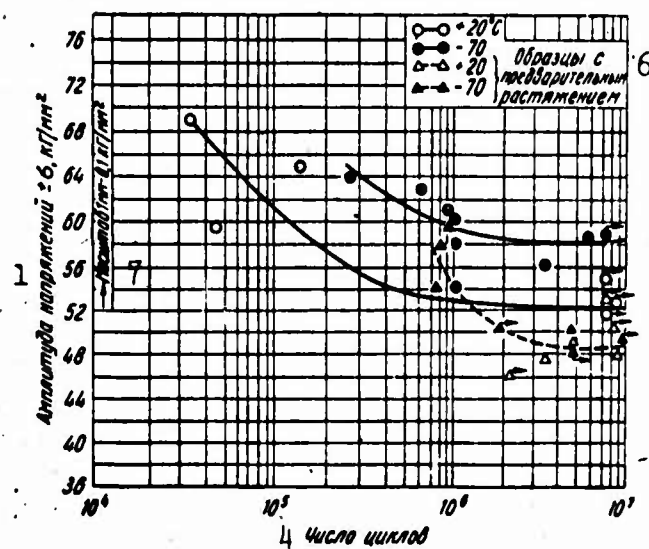
4 Рис. 67. Изменение ударной вязкости стали 18XНМА (0,17% С; 0,28% Si; 0,45% Mn; 1,40% Cr; 4,34% Ni; 0,32% Mo; 0,023% P; 0,014% S) в зависимости от радиуса кривизны в вершине выточки круглых образцов и температуры испытания: 1 — при +20° С; 2 — при -196° С [76]

Key to page 304

- 1) a_n , kg·m/cm²
- 2) temperature, °C
- 3) Fig. 66. Effect of low temperatures on impact strength of steel 18Kh2N4VA quenched from 820°C in oil and tempered at 550°C [112]
- 4) Fig. 67. Change in impact strength of steel 18KhNMA (0.17% C; 0.28% Si; 0.45% Mn; 1.40% Cr; 4.34% Ni; 0.32% Mo; 0.023% P; 0.014% S) as function of radius of curvature at bottom of groove in round specimens and test temperature. 1) at +20°C; 2) at -196°C [75]



5 Рис. 68. Влияние надреза и низких температур на предел усталости стали 18X2H4BA, закаленной в масле с 820° С и отпущенной при 550° С:
1 — гладкий образец, +20° С; 2 — надрезанный образец, -70° С; 3 — надрезанный образец, +20° С [68]

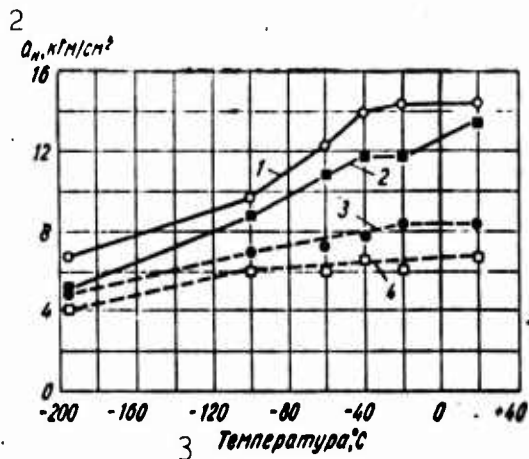


6 Рис. 69. Влияние низких температур на предел усталости стали 18X2H4BA, закаленной с 820° С в масле и отпущенной при 550° С [68]

Key to page 306

- 1) stress amplitude $\pm\sigma$, kg/mm²
- 2) specimen did not fail
- 3) scale: 1 mm = 0.3 kg/mm²
- 4) number of cycles
- 5) Fig. 68. Influence exerted by notching and low temperatures on fatigue limit of steel 18Kh2N4VA quenched in oil from 820°C and tempered at 550°C. 1) smooth specimen, +20°C; 2) notched specimen, -70°C; 3) notched specimen, +20°C [68]
- 6) specimens with preliminary tensioning
- 7) scale: 1 mm = 0.1 kg/mm²
- 8) Fig. 69. Effect of low temperatures on fatigue limit of steel 18Kh2N4VA quenched from 820°C in oil and tempered at 550°C [68]

Рис. 70. Ударная вязкость при низких температурах стали 18Х2Н4ВА, рафинированной синтетическим шлаком (1, 3 — вдоль и поперек волокна) и выплавленной по обычной технологии (2, 4 — вдоль и поперек волокна) [77]



4 Сталь 14ХГС

5 1. Свойства при +20°С по ГОСТ 5058—57

6 Химический состав, %

C	Mn	Si	Cr	Cu	Ni	S	P
				7 не более			
0,11—0,17	0,90—1,30	0,40—0,70	0,50—0,80	0,30	0,30	0,040	0,040

8 Механические свойства

Толщина листа мм	10 σ_b , кг/мм ²	11 σ_T , кг/мм ²	δ_{10} , %	Угол загиба в холодном состоянии	12
	13 не менее				
9					
4—10	50	35	18	180	
11—20	50	34	18		

14 Примечание. Угол загиба определен при толщине оправки (с), равной двойной толщине листа (а).

15 Назначение — для изготовления профилей, используемых в промышленных сооружениях, а также для изготовления газо- и нефтепроводов.

11 С. И. Гудков 1028

Key to page 308

- 1) Fig. 70. Low-temperature impact strength of steel 18Kh2N4VA refined with synthetic slag (1, 3 - with and against grain) and smelted in accordance with the usual procedure (2, 4 - with and against grain) [77]
- 2) a_n , kg·m/cm²
- 3) temperature, °C
- 4) Steel 14KhGS
- 5) I. Properties at +20°C according to GOST 5058-57
- 6) chemical composition, %
- 7) not above
- 8) mechanical properties
- 9) sheet thickness, mm
- 10) σ_v , kg/mm²
- 11) σ_t , kg/mm²
- 12) bending angle in cold state
- 13) not below
- 14) Note. Bending angle is determined by the thickness of the mandrel (c), which is double the sheet thickness (a).
- 15) Application - for production of shapes used in industrial structures and for production of gas and oil pipelines.

1 II. Механические свойства при низких температурах

2 Ударная вязкость [103]

3 Положение образцов	4 a_n , кг·м/см ² , при температуре, °С		
	+20	-20	-40
5 Вдоль	$\frac{10,0-19,7}{13,2}$	$\frac{6,1-9,7}{7,9}$	$\frac{3,8-8,8}{5,7}$
6 Поперек	$\frac{4,2-6,4}{5,5}$	$\frac{4,2-4,8}{4,5}$	$\frac{3,9-5,6}{4,35}$

- 7 **Примечания:** 1. Химический состав стали, %: 0,11—0,18 С; 0,7—1,2 Мп; 0,4—0,7 Si; <0,3 Ni; 0,4—0,8 Cr; <0,3 Cu; <0,040 S; <0,040 P.
 2. Для исследований применяем горячекатаный лист толщиной 9 мм.
 3. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

8 Влияние термической обработки на ударную вязкость стали 14ХГС (данные Института нефте- и углехимического синтеза)

9 Термическая обработка	4 a_n , кг·м/см ² , при температуре, °С					Т _{кр} , °С, при $a_n = 4$ кг·м/см ²
	+20	0	-20	-40	-60	
11 Горячекатаный	$\frac{7,5-9,8}{8,4}$	$\frac{6,4-8,0}{7,2}$	$\frac{6,2-7,7}{7,1}$	$\frac{0,8-2,7}{1,7}$	$\frac{0,5-0,8}{0,7}$	-30
12 Отожженный	$\frac{12,3-12,8}{12,5}$	$\frac{8,5-9,8}{9,1}$	$\frac{7,8-8,9}{8,3}$	$\frac{6,3-8,7}{7,2}$	$\frac{5,8-8,0}{6,7}$	Ниже -60
13 Нормализованный и отпущенный	$\frac{11,4-12,1}{11,7}$	$\frac{11,4-12,5}{12,0}$	$\frac{8,8-10,3}{10,1}$	$\frac{6,8-9,0}{8,0}$	$\frac{7,0-8,7}{7,8}$	Ниже -60
14 Закаленный и отпущенный	$\frac{11,5-12,0}{11,7}$	$\frac{8,9-11,5}{10,1}$	$\frac{8,6-9,5}{9,0}$	$\frac{7,2-8,6}{7,9}$	$\frac{7,2-7,6}{7,4}$	Ниже -60

- 15 **Примечания:** 1. Для исследований применяли лист толщиной 10 мм.
 2. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

Key to page 310

- 1) II. Mechanical properties at low temperatures
- 2) impact strength [103]
- 3) specimen position
- 4) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 5) lengthwise
- 6) crosswise
- 7) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.11-0.18 C; 0.7-1.2 Mn; 0.4-0.7 Si; <0.3 Ni; 0.4-0.8 Cr; <0.3 Cu; <0.40 S; <0.040 P. 2. A hot-rolled sheet 9 mm thick was used for the studies. 3. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.
- 8) effect of heat treatment on impact strength of steel 14KhGS (data of the Institute of Petrochemical and Coal Tar Synthesis)
- 9) heat treatment
- 10) t_{kr} , $^{\circ}\text{C}$, at $a_{n\min} = 4 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 11) hot-rolled
- 12) annealed
- 13) normalized and tempered
- 14) quenched and tempered
- 15) Notes. 1. Sheet 10 mm thick was used for the studies. 2. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.
- 16) below -60

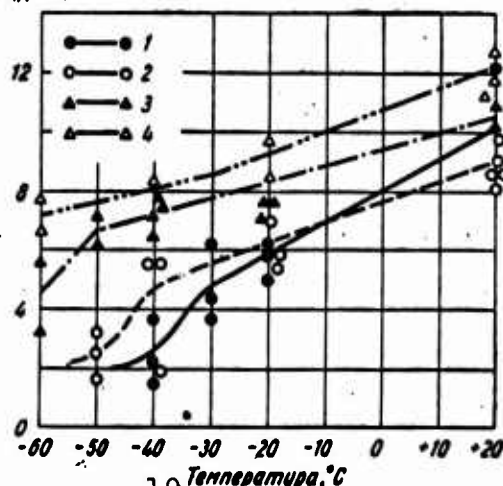
1 III. Свойства сварных соединений при низких температурах

2 Ударная вязкость швов стали 14ХГС, сваренных в среде углекислого газа [52]

3 Марка проволоки	4 σ_H , кг·м/см ² , при температуре, °С			5 σ_H после механического старения при +20°С, кг·м/см ²
	+20	-20	-40	
6 Св-08Г2СА	10,2—11,0	$\frac{7,2-7,5}{7,4}$	$\frac{6,5-7,8}{7,0}$	$\frac{5,3-6,9}{6,1}$
7. Св-10ГС	$\frac{8,0-12,2}{9,8}$	$\frac{4,8-6,2}{5,5}$	$\frac{1,4-3,7}{2,5}$	$\frac{4,5-5,4}{4,8}$

8 Примечания: 1. Механическое старение заключалось в растяжении на 10% и нагревании при 250°С в течение часа.
2. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

9 σ_H , кг/см²



11

Рис. 71. Ударная вязкость сварных швов, выполненных на стали 14ХГС в среде углекислого газа, в зависимости от температуры испытания [46]

10 Температура, °С

12 Химический состав проволоки, %

13 Обозначения	14 Проволока	C	Mn	Si	Cr
1	7 Св-10ГС	0,14	1,06	0,80	—
2	Опытная порошковая	0,15	2,3	0,40	—
3	"	0,15	2,5	0,45	—
4	"	0,15	2,5	0,45	0,30

11°

Key to page 312

- 1) III. Properties of welded joints at low temperatures
- 2) impact strength of steel 14KhGA welds formed in carbon dioxide medium [52]
- 3) wire type
- 4) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 5) a_n after strain aging at $+20^{\circ}\text{C}$, $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 6) Sv-08G2SA
- 7) Sv-10GS
- 8) Notes. 1. Strain aging consisted of 10% elongation and heating at 250°C for 1 hour. 2. The limits are given in the numerator and the average impact-strength values in the denominator.
- 9) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 10) temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 11) Fig. 71. Impact strength of welds formed in steel 14KhGS in carbon dioxide medium as function of test temperature [98]
- 12) chemical composition of wire, %
- 13) designation
- 14) wire
- 15) experimental powder

1 Сталь 30ХГСА

2 I. Свойства при -120°С по ГОСТ 4543-61

3 Химический состав, %

C	Mn	Si	Cr	S	P	Ni	Cu
				4 не более			
0,28—0,34	0,80—1,10	0,90—1,20	0,80—1,10	0,025	0,025	0,25	0,20

5 Механические свойства

6 Термическая обработка	7 НВ кг/мм² не более	8 σ_B кг/мм²	9 σ_T кг/мм²	10 δ %	10 ψ %	10 ψ %
		13 не менее				
11 Закалка с 880° С в масле, отпуск при 540° С с охлаждением в воде или масле	229	110	85	10	45	8

12 Примечание. Твердость дана для отожженной или отпущенной стали.

14 Примечание — для изготовления валков, осей, а также сварных конструкций, работающих при знакопеременных нагрузках.

15 II. Физические свойства при низких температурах

16 Коэффициент линейного расширения [120]

17 Интервал температур, °С	18 $\alpha \cdot 10^6$, 1/град	17 Интервал температур, °С	18 $\alpha \cdot 10^6$, 1/град
+20—(+100)	11,0	+20—(-183)	8,75

19 III. Механические свойства при низких температурах

20 Прочность закаленной и отпущенной стали 30ХГС [104]

21 Температура отпуска	8 σ_B , кг/мм²			δ , %			ψ , %		
	+15	-40	-70	+15	-40	-70	+15	-40	-70
22 Нормализация	72,1	78,4	83,8	25,1	26,2	24,8	65,3	64,6	62,6
23 Закалка с 880°С в масле с отпуском при 150°С	165,2	174,5	180,1	11,8	10,3	12,0	40,2	38,0	39,0

Key to page 314

- 1) Steel 30KhGSA
- 2) I. Properties at +20°C according to GOST 4543-61
- 3) chemical composition, %
- 4) not above
- 5) mechanical properties
- 6) heat treatment
- 7) HB, kg/mm² not above
- 8) σ_v , kg/mm²
- 9) σ_t , kg/mm²
- 10) a_n , kg·m/cm²
- 11) quenching from 880°C in oil, tempering at 540°C with cooling in water or oil
- 12) Note. Hardness is given for the annealed or tempered steel
- 13) not below
- 14) Application - for production of rollers, axles, and weldments operating under alternating loading
- 15) II. Physical properties at low temperatures
- 16) coefficient of linear expansion [120]
- 17) temperature interval, °C
- 18) $\alpha \cdot 10^6$, deg⁻¹
- 19) III. Mechanical properties at low temperatures
- 20) strength of quenched and tempered steel 30KhGS [104]
- 21) tempering temperature
- 22) normalizing
- 23) quenching from 880°C in oil with tempering at 150°C

1 Продолжение

2 Температура отпуска	3 σ_B , кг/мм ²			4 δ , %			5 ψ , %		
	+15	-40	-70	+15	-40	-70	+15	-40	-70
4 Закалка с 880° С в масле с отпуском при различных температурах, °С:									
200	163,8	169,3	176,5	11,0	11,4	11,3	42,7	40,8	42,6
250	163,5	170,1	174,5	11,3	11,9	11,7	49,1	49,4	50,1
300	162,7	169,0	172,6	11,1	10,2	11,4	48,6	49,9	50,2
350	160,6	166,4	171,5	11,3	11,3	11,0	48,0	47,5	49,0
400	137,3	145,6	148,5	11,2	10,2	11,0	47,0	47,3	47,5
450	126,0	129,3	134,0	13,6	14,0	13,5	55,1	54,4	53,4
500	112,4	115,9	120,9	15,5	16,2	16,3	54,0	54,4	55,4

5 Примечание. Состав стали, %: 0,32 С; 1,04 Мп; 1,02 Si; 0,92 Cr.

6 Модули [68]

7 Температура °С	8 Модули, кг/мм ²		7 Температура °С	8 Модули, кг/мм ²	
	E	O		E	O
+20	20 200	7480	-100	20 500	—
-70	—	8132	-193	20 800	—

9 Примечания: 1. Модуль O определен для стали следующего химического состава, %: 0,28 С; 0,94 Мп; 0,97 Si; 0,88 Cr; 0,019 S; 0,024 P.

2. Термическая обработка: закалка с 880° С в масле, отпуск 225° С.

10 Влияние температуры отпуска на ударную вязкость

2 Термическая обработка	11 α_K , кг·м/см ² , при температуре, °С				Литература
	+20	-40	-70	-183	
13 Закалка с 880° С в масле, отпуск при 150° С	6,5		5,7		
14 То же, с отпуском при различных температурах, °С:					
200	6,8	5,8	5,6		
250	6,3	5,7	5,1		
300	5,6	4,6	3,2		[104]
350	5,1	3,2	2,5		
400	5,6	4,9	4,4		
450	8,0	5,5	5,1		
500	9,2	6,1	5,3		
550	7,5			1,4	
600	8,7			1,5	
650	13			2,0	[115]
700	15,8			3,5	
15 Нормализация	5,7			0,68	

16 Примечание.

17 Химический состав стали, %

Литературный источник	C	Mn	Si	Cr	S	P
[104]	0,32	1,04	1,02	0,92	—	—
[115]	0,28	0,93	1,12	1,03	0,012	0,017

Key to page 316

- 1) continued
- 2) tempering temperature
- 3) σ_v , kg/mm²
- 4) quenching from 880°C in oil with tempering at various temperatures, °C
- 5) Note. Steel composition, %: 0.32 C; 1.04 Mn; 1.02 Si; 0.92 Cr.
- 6) moduli [68]
- 7) temperature, °C
- 8) moduli, kg/mm²
- 9) Notes. 1. Modulus G was determined for steel of the following chemical composition, %: 0.28 C; 0.94 Mn; 0.97 Si; 0.88 Cr; 0.019 S; 0.024 P. 2. Heat treatment: quenching from 880°C in oil, 225°C tempering
- 10) effect of tempering temperature on impact strength
- 11) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 12) source
- 13) quenching from 880°C in oil, tempering at 150°C
- 14) same, with tempering at various temperatures, °C
- 15) normalizing
- 16) Note.
- 17) Chemical composition of steel, %
- 18) literature source

1 Предел усталости при изгибе с вращением [68]

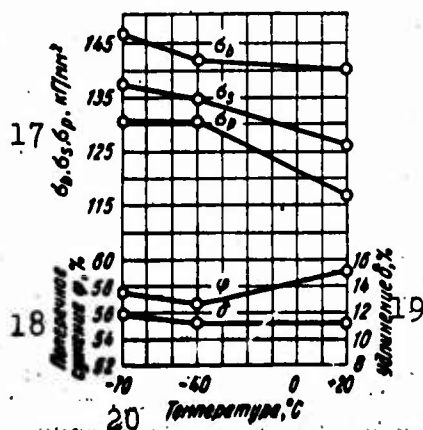
2 Вид полуфабриката	3 Термическая обработка	4 Форма образца	5 σ_H , кг/мм ² , при $n = 10^7$ циклов	
			+20° С	-70° С
6 Прутки диаметром 20 мм	7 Закалка с 880° С в масле, отпуск 225° С	8 Круглый гладкий	58,0	—
		9 Круглый с надрезом	38,0	46,0

10 Примечание. Химический состав стали, %: 0,28 С; 0,94 Мн; 0,97 Si; 0,88 Cr; 0,019 S; 0,024 Р.

11 Предел усталости при ударном изгибе [78]

3 Термическая обработка	12 Температура испытания °С	13 σ_H , кг/мм ²	
		$n = 3 \cdot 10^6$	$n = 1 \cdot 10^6$
14 Закалка с 880° С в масле, отпуск 450° С (HRC = 38—40)	+20	245	104
	-60	228	97
15 Закалка с 880° С в масле, отпуск 180° С (HRC = 47—49)	+20	221	99
	-60	191	93

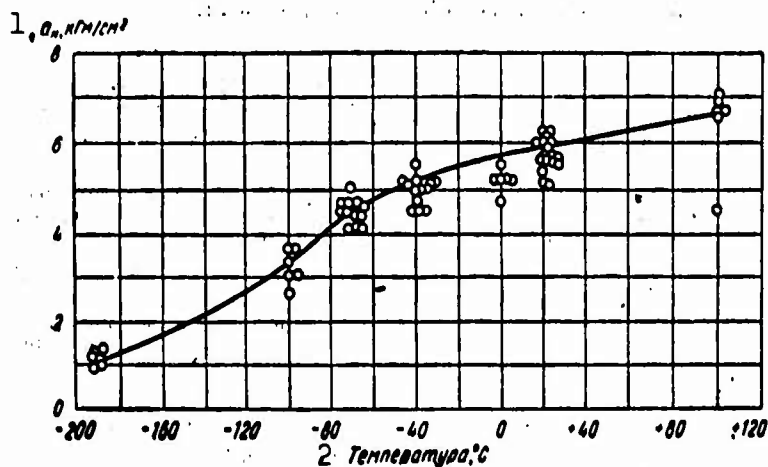
16 Примечания: 1. Химический состав стали, %: 0,33 С; 0,98 Мн; 0,96 Si; 0,91 Cr; 0,011 S; 0,019 Р.
2. Образец прямоугольного сечения, консольный.



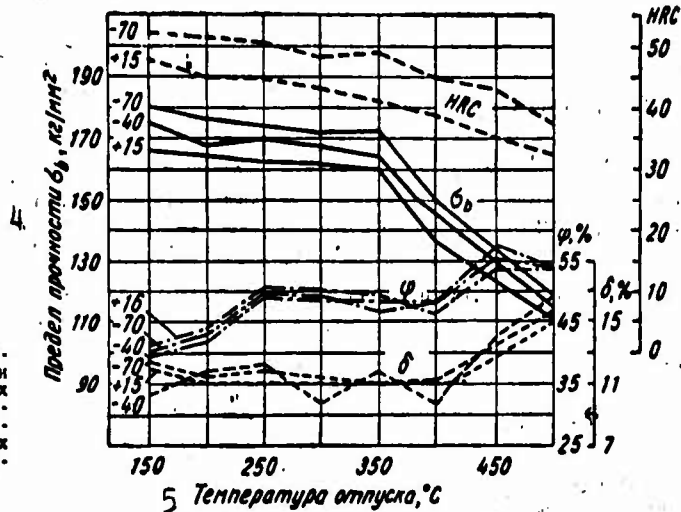
21 Рис. 72. Влияние низких температур на механические свойства стали 30ХГСА закаленной в масле с 880° С и отпущенной при 400° С [68]

Key to page 318

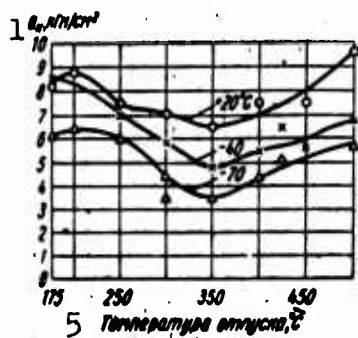
- 1) fatigue limit in rotational bending
- 2) type of semiproduct
- 3) heat treatment
- 4) specimen shape
- 5) σ_1 , kg/mm², for $n = 10^7$ cycles
- 6) rod 20 mm in diameter
- 7) quenching from 880°C in oil, 225°C tempering
- 8) smooth circular
- 9) circular with notch
- 10) Note. Chemical composition of steel, %: 0.28 C; 0.94 Mn; 0.97 Si; 0.88 Cr; 0.019 S; 0.024 P.
- 11) fatigue limit in impact bending [78]
- 12) test temperature, °C
- 13) σ_1 , kg/mm²
- 14) quenching from 880°C in oil, 450°C tempering (HRC = 38-40)
- 15) quenching from 880°C in oil, 180°C tempering (HRC = 47-49)
- 16) Notes. 1. Chemical composition of steel, %: 0.33 C; 0.98 Mn; 0.96 Si; 0.91 Cr; 0.011 S; 0.019 P. 2. Cantilevered rectangular specimen.
- 17) σ_b , σ_s , σ_p , kg/mm²
- 18) transverse constriction γ , %
- 19) elongation δ , %
- 20) temperature, °C
- 21) Fig. 72. Effect of low temperatures on mechanical properties of steel 30KhGSA quenched in oil from 880°C and tempered at 400°C [68]



3 Рис. 73. Влияние низких температур на ударную вязкость стали 30ХГСА, закаленной в масле с 880° С и отпущенной при 225° С [68]



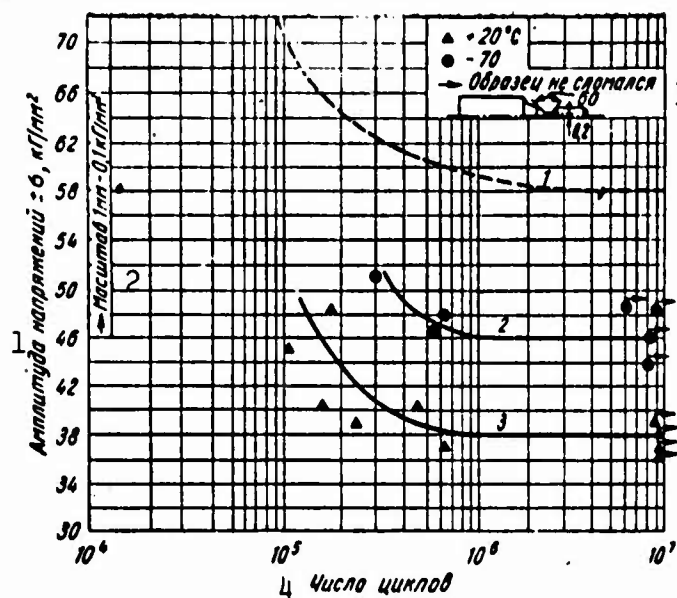
6 Рис. 74. Механические свойства при низких температурах стали 30ХГСА, закаленной с 880° С в масле при различных температурах отпуска [104]



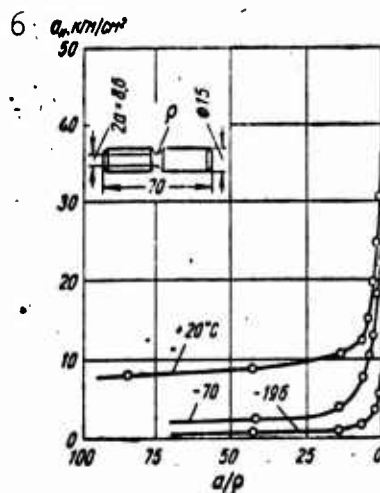
7 Рис. 75. Влияние низких температур на ударную вязкость стали 30ХГСА, закаленной с 880° С в масле и отпущенной при различных температурах [68]

Key to page 320

- 1) a_n , kg·m/cm²
- 2) temperature, °C
- 3) Fig. 73, Effect of low temperatures on impact strength of steel 30KhGSA quenched in oil from 880°C and tempered at 225°C [68]
- 4) ultimate strength σ_b , kg/mm²
- 5) tempering temperature, °C
- 6) Fig. 74. Low-temperature mechanical properties of steel 30KhGSA quenched from 880°C in oil at various tempering temperatures [104]
- 7) Fig. 75. Effect of low temperatures on impact strength of steel 30KhGSA quenched from 880°C in oil and tempered at various temperatures [68]



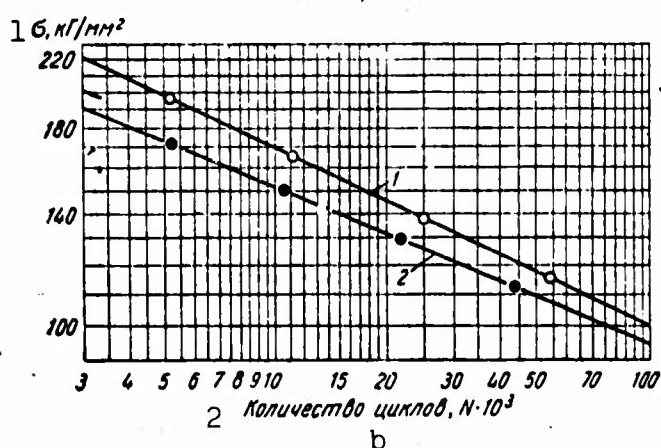
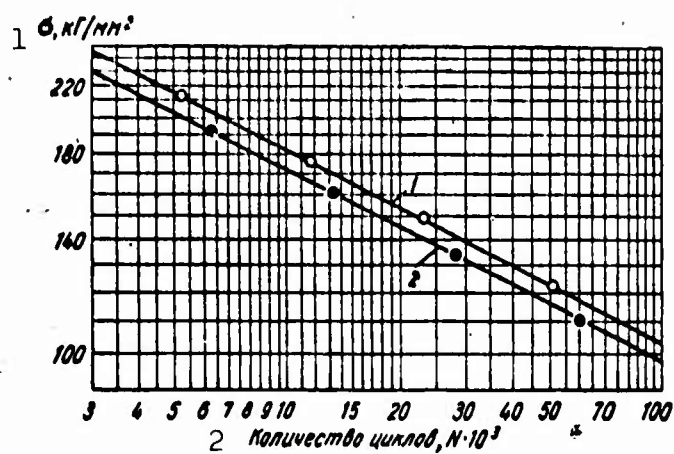
5 Рис. 76. Предел усталости гладких и надрезанных образцов стали 30ХГСА, (0,28% С; 0,94% Мп; 0,97% Si; 0,88% Cr; 0,019% S; 0,024% Р; закаленной в масле с 880° С и отпущенной при 225° С [68]):
 1 — гладкий образец, +20° С; 2 — надрезанный образец, -70° С;
 3 — надрезанный образец, +20° С



7 Рис. 77. Изменение ударной вязкости стали 30ХГСА (0,34% С; 0,022% S; 0,020% Р; 1,13% Si; 1,08% Мп; 1,02% Cr), закаленной и отпущенной при 650° С, в зависимости от радиуса кривизны в вершине выточки круглых образцов и температуры испытания [76]

Key to page 322

- 1) stress amplitude $\pm\sigma$, kg/mm²
- 2) scale: 1 mm = 0.1 kg/mm²
- 3) specimen did not fail
- 4) number of cycles
- 5) Fig. 76. Fatigue limit of smooth and notched specimens of steel 30KhGSA (0.25% C; 0.94 % Mn; 0.97% Si; 0.88% Cr; 0.019 S; 0.024 % P;) quenched in oil from 880°C and tempered at 225°C [68]. 1) smooth specimens, +20°C; 2) notched specimen, -70°C; 3) notched specimen, +20°C
- 6) a_n , kg·m/cm²
- 7) Fig. 77. Change in impact strength of steel 30KhGSA (0.34% C; 0.022% S; 0.020% P; 1.13% Si; 1.08% Mn; 1.02% Cr), quenched and tempered at 650°C as function of radius of curvature at bottom of groove in round specimens and test temperature [75]



3 Рис. 78. Ударная усталость (знакопеременная) стали 30ХГСА, термически обработанной на твердость: а — $HRC = 38-40$; б — $HRC = 47-49$ при температурах $+20$ и -60°C (1 — неупрочненная при $+20^\circ \text{C}$; 2 — при -60°C)

4 Сталь 10ХСНД (СХЛ-4)

5 I. Свойства при $+20^\circ \text{C}$ по ГОСТ 5058—57

6 Химический состав, %

C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	З	Р
						7 не более	
$\leq 0,12$	0,50—0,80	0,80—1,10	0,60—0,90	0,50—0,80	0,40—0,65	0,040	0,040

Key to page 324

- 1) σ , kg/mm²
- 2) number of cycles, $N \cdot 10^3$
- 3) Fig. 78. Impact fatigue (alternating-sign) of steel 30KhGSA heat-treated to hardness of: a) HRC = 38-40; b) HRC = 47-49 at temperatures of +20 and -60°C (1) unhardened at +20°C; 2) at -60°C).
- 4) Steel 10KhSND (SKhL-4)
- 5) I. Properties at +20°C according to GOST 5058-57
- 6) chemical composition, %
- 7) not above

1 Механические свойства

2 Толщина проката, мм	3 σ_B , кг/мм ²	4 σ_T , кг/мм ²	δ_{10} , %	5 Угол загиба при испытании в холодном состоянии
	6 не менее			
4—32	54	40	16	180°
33—40	51	37	15	

7 Примечания: 1. Механические свойства для проката толщиной более 16 мм относятся к термически обработанному металлу.
2. Угол загиба определен на оправке (с), равной двойной толщине листа (а).

8 Назначение — применяют в судостроении как корпусную сталь.

9 II. Механические свойства при низких температурах

10 Прочность при растяжении стали 10ХСНД (СХЛ-4) [47]

11 Толщина листа, мм	12 Состояние	13 Температура испытания, °С	4 σ_B , кг/мм ²	3 σ_B , кг/мм ²	6, %	7, %	14 σ_T/σ_B
			σ_B , кг/мм ²	σ_B , кг/мм ²			
10	15 Горячекатаный	+20	39,8 40,4	52,5 52,2	30,3 30,3	56,1 59,6	75,8 77,4
		—20°	44,6	55,0	35,0	71,6	81,0
		—40	44,5	58,5	35,0	64,4	76,1
14	15 Горячекатаный	+20	41,7	63,0	24,2	63,5	66,2
		—20	47,7	66,5	25,9	81,0	71,7
		—40	50,3	73,5	22,9	59,0	68,4
18	16 Закалка и высокий отпуск	+20	42,6	56,2	23,2	67,6	75,8
			42,7	56,5	19,3	64,4	75,5
			45,3	55,5	23,2	65,7	81,6
		—20	47,6	59,6	31,6	70,9	79,8
			49,5	62,7	28,3	73,3	78,9
		—40	59,6 50,0	68,5 65,6	25,1 30,3	67,7 69,8	87,0 76,2

Key to page 326

- 1) mechanical properties
- 2) rolled-stock thickness, mm
- 3) σ_v , kg/mm²
- 4) σ_t , kg/mm²
- 5) Bending angle on testing in cold state
- 6) not below
- 7) Notes. 1. Mechanical properties for rolled stock thicker than 15 mm are referred to the heat-treated metal. 2. The bending angle is determined on a mandrel (c) equal to double the sheet thickness (a)
- 8) Application - used in shipbuilding as a structural steel
- 9) II. Mechanical properties at low temperatures
- 10) tensile strength of steel 10KhSND (SKhL-4) [47]
- 11) sheet thickness, mm
- 12) state
- 13) test temperature, °C
- 14) $\sigma_t/\sigma_v \cdot 100$
- 15) hot-rolled
- 16) quenching and high tempering

1. Ударная вязкость в зависимости от термической обработки
(данные Института нефте- и углехимического синтеза)

2	3	4 Ударная вязкость α_d , кг·м/см ² , при температуре, °C							5
		+20	0	-20	-40	-60	-80	-100	
10	7 Горячекатаный	$\frac{25,2-33,2}{28,0}$	$\frac{24,0-31,2}{28,0}$	$\frac{16,6-19,5}{18,0}$	$\frac{8,2-15,2}{12,0}$	$\frac{6,8-9,0}{7,7}$	—	—	Ниже -60 6
	8 Отожженный	$\frac{18,2-18,6}{18,4}$	$\frac{13,0-16,2}{14,3}$	$\frac{11,0-14,5}{12,9}$	$\frac{10,3-11,2}{10,9}$	$\frac{9,0-9,5}{9,2}$	—	—	Ниже -60 6
	9 Нормализованный и отпущенный	$\frac{13,5-14,5}{13,9}$	$\frac{12,0-14,5}{13,6}$	$\frac{9,8-12,0}{10,7}$	$\frac{7,7-9,4}{8,7}$	$\frac{6,7-8,2}{7,0}$	—	—	Ниже -60 6
	10 Закаленный и отпущенный	$\frac{19,6-19,7}{19,6}$	$\frac{14,5-16,5}{15,1}$	$\frac{12,0-16,6}{15,0}$	$\frac{12,4-14,5}{13,0}$	$\frac{9,4-10,4}{9,9}$	—	—	Ниже -60 6
12	7 Горячекатаный	—	$\frac{14,2}{14,2}$	$\frac{28,0}{28,0}$	$\frac{16,1}{16,1}$	$\frac{6,0-15,2}{10,6}$	$\frac{2,1}{2,1}$	$\frac{1,2-1,4}{1,3}$	-70
	8 Отожженный	$\frac{17,2-18,8}{18,0}$	$\frac{13,2-25,6}{19,6}$	$\frac{10,4-17,8}{13,6}$	$\frac{13,4}{13,4}$	$\frac{11,3-18,0}{14,6}$	$\frac{9,0-12,2}{10,6}$	$\frac{0,8-1,5}{1,1}$	-90
	11 Нормализованный	$\frac{20,2-23,3}{21,1}$	$\frac{15,2-25,0}{19,9}$	$\frac{15,8-25,0}{21,8}$	$\frac{10,7-17,0}{14,5}$	$\frac{1,7-24,1}{12,5}$	$\frac{1,8-16,3}{7,5}$	$\frac{0,7-2,3}{1,3}$	-60
	12 Закаленный	$\frac{8,4-16,9}{11,5}$	$\frac{7,2-9,4}{8,3}$	$\frac{6,3-6,3}{6,3}$	$\frac{5,0-5,8}{5,4}$	$\frac{5,1-6,8}{5,9}$	$\frac{4,0}{4,0}$	$\frac{2,5-3,3}{2,9}$	-80
	10 Закаленный и отпущенный	$\frac{14,5-21,8}{18,4}$	$\frac{18,7-31,1}{26,3}$	$\frac{17,0-34,2}{27,6}$	$\frac{15,4-17,4}{16,4}$	$\frac{15,1-17,8}{16,7}$	$\frac{7,9-17,5}{11,7}$	$\frac{1,5-10,5}{5,2}$	-90

Key to page 328

- 1) impact strength as function of heat treatment (data of the Institute of Petrochemical and Coal Tar Synthesis)
- 2) sheet thickness, mm
- 3) material state
- 4) impact strength a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 5) t_{kr} , $^{\circ}\text{C}$, at $a_{n\min} \leq 4 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 6) below -60
- 7) hot-rolled
- 8) annealed
- 9) normalized and tempered
- 10) quenched and tempered
- 11) normalized
- 12) quenched

1 Продолжение

2 Толщина листа, мм	3 Состояние материала	4 Ударная вязкость a_k , кг·м/см ² , при температуре, °C							5 $T_{кр}$, °C, при a_k мин ≤ 4 кг·м/см ²
		+20	0	-20	-40	-60	-80	-100	
20	6 Горячекатаный	—	$\frac{32,0}{32,0}$	$\frac{30,3}{30,3}$	$\frac{27,0}{27,0}$	$\frac{20,4-24,0}{22,4}$	—	$\frac{0,8-2,2}{1,5}$	-80
	7 Нормализованный	$\frac{28,9-30,0}{29,5}$	$\frac{28,0}{28,0}$	$\frac{27,0}{27,0}$	$\frac{25,0}{25,0}$	$\frac{19,6}{19,6}$	$\frac{7,0-18,0}{13,0}$	$\frac{2,5}{2,5}$	-100
	8 Закаленный и отпущенный	—	$\frac{34,0}{34,0}$	$\frac{32,9}{32,9}$	$\frac{27,4}{27,4}$	$\frac{17,6}{17,6}$	$\frac{12,6-24,0}{17,0}$	$\frac{2,9-22,5}{12,7}$	-100
	9 Деформационное старение	$\frac{22,0}{22,0}$	$\frac{18,0}{18,0}$	—	—	$\frac{2,4-9,0}{5,0}$	$\frac{6,2}{6,2}$	$\frac{2,4}{2,4}$	-60

10 Примечания:

11 1. Химический состав стали, %

2 Толщина листа мм	C	Mn	Si	Cr	Ni	C	P	S
10	0,12	0,50	0,84	0,72	0,57	0,41	0,021	0,026
12	0,14	0,72	1,35	0,81	0,48	0,34	0,01	0,036
20	0,12	0,77	0,90	0,84	0,56	—	0,024	0,022

12 2. В числителе даны пределы, в знаменателе средние значения ударной вязкости.

Key to page 330

- 1) continued
- 2) sheet thickness, mm
- 3) material state
- 4) impact strength a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 5) t_{kr} , $^{\circ}\text{C}$ at $a_{n\min} \leq 4 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 6) hot-rolled
- 7) normalized
- 8) quenched and tempered
- 9) strain aging
- 10) Notes.
- 11) 1. Chemical composition of steel, %
- 12) 2. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.

1 Ударная вязкость двухслойной стали 10ХСНД (СХЛ-4) + Х18Н0Т [49]

2 Расположение надреза на образце	3 a_H , кг·м/см ² , при температуре, °С			4 $T_{кр}$, °С, при $a_H < 3$ кг·м/см ²
	+20	-40	-60	
5 Поперек основного металла и плакирующего слоя	10,7—19,7	5,5—19,2	3,3—18,2	Ниже -60
6 По основному металлу	9,0—31,0	6,8—26,3	2,2—19,3	» -50
7 По плакирующему слою	8,2—22,9	4,3—18,2	1,7—13,9	» -50

9 Примечания: 1. Основной металл — сталь марки 10ХСНД (СХЛ-4), плакирующий металл — сталь Х18Н0Т.
2. Приведены предельные значения ударной вязкости.
3. Для исследований применяли лист толщиной 10 мм.

10 Влияние температурного режима горячей гибки на механические свойства стали 10ХСНД (СХЛ-4) [49]

11 Температурный режим гибки, °С	13 Минимальные значения			
	12 σ_T , кг/мм ²	δ_5 , %	3 a_H , кг·м/см ² , при температуре, °С	
			+20	-40
14 Исходное состояние	49,9	27,1	21,8	15,8
1100—900	40,6	22,3	2,0	0,5
950—650	38,6	24,8	5,6	1,0
950—600	37,1	14,3	0,7	0,4
830—680	39,0	27,6	14,8	1,3
650—400	42,8	20,5	14,3	8,7

15 Примечание. Для исследований применяли лист толщиной 20 мм.

16 III. Свойства сварных соединений при низких температурах

17 Прочность при растяжении металла шва, полученного автоматической сваркой листов из стали 10ХСНД (СХЛ-4) [47]

18 Толщина листа, мм	19 Место вырезки образца	20 Температура испытания, °С	12 σ_T , кг/мм ²	21 σ_B , кг/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	22 $\frac{\sigma_T}{\sigma_B} \cdot 100$
16	23 Металл шва, полученный автоматической сваркой	+20	35,7—40,3 39,6	53,5—55,8 54,9	21,3—29,0 25,5	64,2—68,5 66,4	66,6—73,0 71,1
		-40	40,7—45,7 42,0	57,5—60,3 58,8	22,6—29,3 25,3	60,2—69,5 65,7	68,1—75,7 71,5

Key to page 332

- 1) impact strength of laminated steel 10KhSND (SKhL-4) + Kh18N9T [49]
- 2) position of specimen notch
- 3) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 4) t_{kr} , $^{\circ}\text{C}$ at $a_n < 3 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 5) across base metal and cladding
- 6) along base metal
- 7) along cladding
- 8) below -60
- 9) Notes. 1. Base metal is steel type 10KhSND (SKhL-4); clad metal is steel Kh18N9T. 2. The limiting impact-strength values are listed. 3. A sheet 10 mm thick was used for the studies.
- 10) Influence of temperature conditions of hot bending on mechanical properties of steel 10KhSND (SKhL-4) [49]
- 11) temperature conditions of bending, $^{\circ}\text{C}$
- 12) σ_t , kg/mm^2
- 13) minimum values
- 14) initial state
- 15) Note. A sheet 20 mm thick was used for the studies
- 16) III. Properties of welded joints at low temperatures
- 17) tensile strength of weld metal obtained by automatic welding of steel 10KhSND (SKhL-4) sheets [47]
- 18) sheet thickness, mm
- 19) location of specimen grooving
- 20) test temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 21) σ_v , kg/mm^2
- 22) $\sigma_t/\sigma_v \cdot 100$
- 23) weld metal obtained by automatic welding

1 Продолжение

2 Толщина листа, мм	3 Место вырезки образца	4 Температура испытания, °C	5 σ_T кг/мм ²	6 σ_B кг/мм ²	δ , %	ψ , %	7 $\frac{\sigma_T}{\sigma_B} \cdot 100$
30	8 Металл шва, полученный автомати- ческой сваркой	+20	41,8—44,8 43,3	56,1—59,9 58,7	21,3—23,0 22,2	56,4—61,9 58,1	71,7—76,3 73,8
		—40	43,8—51,3 46,9	65,0—67,0 65,9	22,0—26,3 23,8	54,2—60,2 57,0	65,8—77,0 71,2

9 Примечание. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

10 Влияние сварочных материалов и способа сварки на ударную вязкость сварных соединений из стали 10ХСНД (СХЛ-4) [50]

2 Толщина листа, мм	11 Вид сварки	12 Сварочные материалы	3 Место вырезки образца	а _н , кг·м/см ² , при темпе- ратуре, °C 13	
				+20	-40
14 Ручная электросварка					
12	Ручная (нор- мальный режим) 15 —	Электрод УОНИ-13/45А 16—	17 Металл шва	<u>16,8—17,2</u> 17,0	<u>12,1—13,4</u> 12,6
			18 Основной металл	<u>9,5—10,6</u> 10,1	<u>1,0—4,8</u> 3,2
	15 Ручная (нор- мальный режим) —	19 Электрод УОНИ-13/55 —	17 Металл шва	<u>13,7—16,9</u> 14,8	<u>10,0—11,3</u> 10,3
			18 Основной металл	<u>9,5—10,6</u> 10,1	<u>1,0—4,8</u> 3,2
	15 Ручная (нор- мальный режим) —	20 Электрод ОММ-5 —	17 Металл шва	<u>9,0—9,9</u> 9,7	<u>6,5—7,3</u> 6,8
			18 Основной металл	<u>10,8—11,6</u> 11,0	<u>9,7—10,2</u> 9,9
28	21 Ручная (боль- шая погонная энергия)	16 Электрод УОНИ-13/45А	17 Металл шва	<u>7,7—9,6</u> 8,5	<u>0,7—6,5</u> 2,0
			18 Основной металл	<u>8,5—10,1</u> 9,3	<u>6,0—6,8</u> 6,4

Key to page 334

- 1) continued
- 2) sheet thickness, mm
- 3) location of specimen grooving
- 4) test temperature, °C
- 5) σ_t , kg/mm²
- 6) σ_v , kg/mm²
- 7) $\sigma_t/\sigma_v \cdot 100$
- 8) weld metal obtained by automatic welding
- 9) Note. The limits are given in the numerator and the average impact-strength values in the denominator.
- 10) influence of welding materials and method of welding on impact strength of welded joints in steel 10KhSND (SKhL-4) [50]
- 11) type of welding
- 12) welding materials
- 13) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 14) manual electric welding
- 15) manual (normal procedure)
- 16) UONI-13-45A electrode
- 17) weld metal
- 18) base metal
- 19) UONI-13/55 electrode
- 20) OMM-5 electrode
- 21) manual (high energy per foot)

1 Продолжение

2

Толщина листа, мм	3 Вид сварки	4 Сварочные материалы	5 Место вырезки образца	6 σ_H , кг·м/см ² , при темпе- ратуре, °С	
				+20	-40

7 Автоматическая сварка

12	8 Автоматическая (нормальный ре- жим)	9 Проволока Св-08А, флюс ОСЦ-45	10 Металл шва	9,6—12,7	1,3—4,0
			11 Основной металл	11,0	2,5
				9,5—10,6	1,0—4,8
				10,1	3,2

28	12 Автоматическая (большая погон- ная энергия)	9 Проволока Св-08А, флюс ОСЦ-45	10 Металл шва	11,2—12,3	5,6—7,3
			11 Основной металл	11,6	7,1
				8,5—10,1	6,0—6,8
				9,3	6,4

13 Электрошлаковая сварка

30	14 Электрошлако- вая	15 Проволока Св-10Г2	16 Удар в центре шва	10,3—11,9	4,8—7,1
			Удар в зоне 17 влияния	11,4	6,8
				8,7—18,0	3,5—9,1
				13,9	6,0

18 В среде углекислого газа

14	19 Полуавтомати- ческая	20 Проволока Св-08Г2С	16 Удар в центре шва	12,5—13,3	7,8—9,1
			Удар в зоне 17 влияния	12,9	8,5
				9,0—15,6	4,6—8,2
				11,6	5,9

20	19 Полуавтомати- ческая	20 Проволока Св-08Г2С	16 Удар в центре шва	12,6—14,1	6,5—12,1
			Удар в зоне 17 влияния	13,1	8,9
				8,5—14,2	5,3—8,1
				10,6	6,5

30	19 Полуавтомати- ческая	20 Проволока Св-08Г2С	16 Удар в центре шва	13,8—15,0	7,2—10,6
			Удар в зоне 17 влияния	14,3	9,5
				10,6—13,2	4,3—6,8
				11,5	5,6

21 Примечание. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения удар-
ной вязкости.

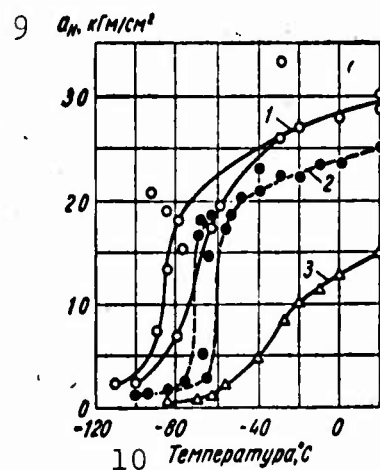
Key to page 336

- 1) continued
- 2) sheet thickness, mm
- 3) type of welding
- 4) welding materials
- 5) location of specimen grooving
- 6) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 7) automatic welding
- 8) automatic (normal conditions)
- 9) Sv-08A wire, CSTs-45 flux
- 10) weld metal
- 11) base metal
- 12) automatic (high energy per foot)
- 13) molten-slag arcless electric welding
- 14) molten-slag arcless electric welding
- 15) Sv-10G2 wire
- 16) impact centered in weld
- 17) impact in weld-metal zone
- 18) in carbon dioxide medium
- 19) semiautomatic
- 20) Sv-08G2S wire
- 21) Note. The limits are given in the numerator and the average impact-strength values in the denominator.

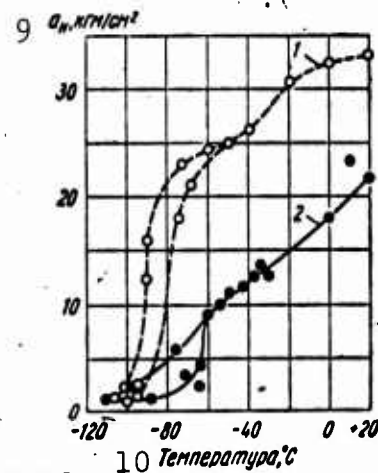
1. Ударная вязкость шпоф из стали 10ХСНД, сваренных в среде углекислого газа [52]

2 Марка проволоки	3 a_n , кг·м/см ² , при температуре, °С			a_n после механического старения при +20°С, кг·м/см ²
	+20	-20	-40	
5 Св-08Г2СА	$\frac{9,7-11,2}{10,3}$	$\frac{7,2-8,5}{8,0}$	$\frac{6,3-7,4}{5,7}$	$\frac{5,7-8,5}{7,2}$
6 Св-08ГСА	$\frac{11,2-12,8}{12,0}$	$\frac{8,5-10,0}{9,0}$	$\frac{7,6-9,2}{8,0}$	$\frac{6,4-8,6}{7,8}$
7 Св-10ГС	$\frac{10-13}{12}$	$\frac{7-9}{8}$	$\frac{2-6}{4}$	—

8 Примечания: 1. Механическое старение заключалось в растяжении на 10% и нагревании при +250°С в течение часа.
2. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.



11 Рис. 79. Зависимость ударной вязкости листов толщиной 20 мм из стали 10ХСНД (СХЛ-4) (0,12% С; 0,77% Мп; 0,9% Si; 0,022% S; 0,024% Р; 0,84% Cr; 0,56% Ni) от температуры испытания после нормализации с различными температурами: 1 — 920°С; 2 — 1000; 3 — 1100 [97]



12 Рис. 80. Зависимость ударной вязкости листов толщиной 20 мм из стали 10ХСНД (СХЛ-4) (0,12% С; 0,77% Мп; 0,9% Si; 0,022% S; 0,024% Р; 0,84% Cr; 0,56% Ni) от деформационного старения: 1 — состояние поставки; 2 — деформационное старение при растяжении на 10% и нагревании 2 ч при +200°С [97]

Key to page 338

- 1) impact strength of steel 10KhSND welds formed in carbon dioxide medium [52]
- 2) wire type
- 3) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 4) a_n after strain aging at +20°C, kg·m/cm²
- 5) Sv-08G2SA
- 6) Sv-08GSA
- 7) Sv-10GS
- 8) Notes. 1. Strain aging consisted of 10% elongation and heating at +250°C for 1 hour. 2. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.
- 9) a_n , kg·m/cm²
- 10) temperature, °C
- 11) Fig. 79. Relationship between impact strength of steel 10KhSND (SKhL-4) sheets 20 mm thick (0.12% C; 0.77% Mn; 0.9% Si; 0.022% S; 0.024% P; 0.84% Cr; 0.56% Ni) and test temperature after normalizing at various temperatures. 1) 920°C; 2) 1000°C; 3) 1100 [97]
- 12) Fig. 80. Relationship between impact strength of steel 10KhSND (SKhL-4) sheets 20 mm thick (0.12% C; 0.77% Mn; 0.9% Si; 0.022% S; 0.024% P; 0.84% Cr; 0.56% Ni) and strain aging. 1) as-delivered state; 2) strain aging with 10% elongation and heating for 2 hours at +200°C [97]

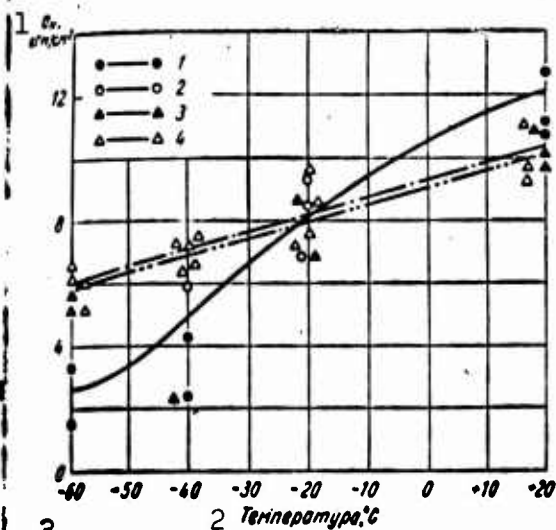


Рис. 81. Ударная вязкость сварных швов, выполненных из стали 10ХСНД (СХЛ-4) в среде углекислого газа, в зависимости от температуры испытания [96]

7 Химический состав стали, %

8 Образцы	9 Проволока				
		C	Mn	Si	Cr
1	10 Св-10ГС	0,14	1,06	0,80	—
2	1 Юпитная порошко- вая	0,15	2,3	0,40	—
3	1 2о же	0,15	2,5	0,45	—
4	1 2о же	0,15	2,5	0,45	0,30

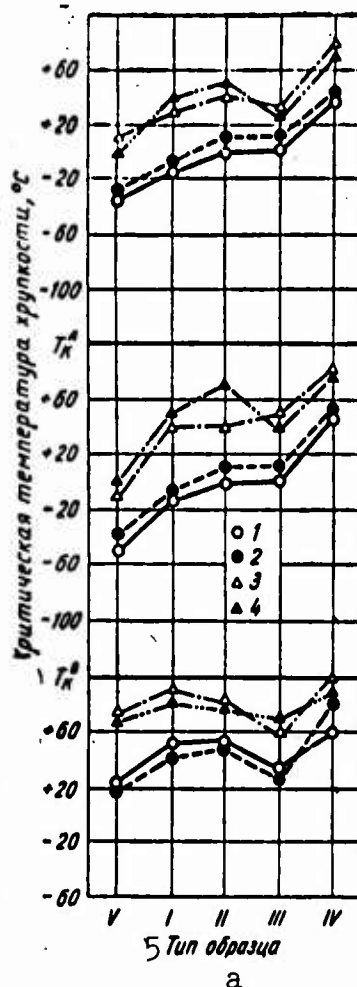


Рис. 82. Критические температуры хрупкости листа толщиной 16 мм в закаленном и отпущенном состоянии из стали 10ХСНД (СХЛ-4): 1 — состояние поставки, продольные образцы; 2 — то же, поперечные образцы; 3 — после старения, продольные образцы; 4 — то же, поперечные образцы; I, II, III, IV и V — тип образца по ГОСТ 9454-60; T_K — критическая температура, определенная по a_n ; T_K^D — критическая температура, определенная по пластической деформации ударного образца; T_K^B — критическая температура, определенная по проценту вязкой составляющей в изломе образца. Критические температуры определены по 50% значениям характеристик при +20° С [42]

Key to page 340

- 1) a_n , kg·m/cm²
- 2) temperature, °C
- 3) Fig. 81. Impact strength of steel 10KhSND (SKhL-4) welds formed in carbon dioxide medium as function of test temperature [98]
- 4) critical brittleness temperature, °C
- 5) specimen type
- 6) Fig. 82. Critical brittleness temperature of quenched and tempered steel 10KhSND (SKhL-4) sheet 16 mm thick. 1) as-delivered state, longitudinal specimens; 2) same, transverse specimens; 3) after aging, longitudinal specimens; 4) same, transverse specimens. I, II, III, IV, and V) specimen type according to GOST 9454-60. t_k is the critical temperature determined from a_n ; t_k^D is the critical temperature determined from the plastic deformation of an impact specimen; t_k^V is the critical temperature determined from the percentage viscous component in the fracture. The critical temperatures are determined as 50% of the value of the characteristic at +20°C [42]
- 7) chemical composition of steel, %
- 8) designation
- 9) wire
- 10) Sv-10GS
- 11) experimental powdered
- 12) same

1 Сталь 15ХСНД (НЛ-2, СХЛ-1)

2 I. Свойства при +20°С по ГОСТ 5058—57

3 Химический состав, %

C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	S	P
4 не более							
0,12—0,18	0,40—0,70	0,40—0,70	0,60—0,90	0,30—0,60	0,20—0,40	0,040	0,040

5 Механические свойства

6 Толщина проката, мм	7 σ_B , кг/мм ²	8 σ_T , кг/мм ²	δ_{10} , %	9 Испытание на загиб в холод- ном состоянии
	10 не менее			
4—32	52	35	18	180°

11 Примечание. Угол загиба определен на оправке (с), равной двойной толщине листа (а).

12 Назначение — сталь 15ХСНД обладает повышенной устойчивостью против коррозии. Ее применяют для изготовления строительных ферм, конструкций мостов и вагонов, рам сельскохозяйственных машин. В судостроении применяют как корпусную сталь.

13 II. Механические свойства при низких температурах

14 Прочность холоднокатаного листа толщиной 2 мм при растяжении [99]

15 Термическая обработка	16 Температура испытания, °С	7 σ_B , кг/мм ²	8 σ_T , кг/мм ²	δ , %
Нормализация с отпуском 17	+20	56,1	37,7	23,6
	—50	63,8	39,4	25,0
	—193	92,0	70,0	26,5
Нормализация 18	+20	63,5	38,0	19,5
	—50	71,2	40,6	23,0

19 Примечание. Химический состав стали, %: 0,17 C; 0,53 Mn; 0,48 Si; 0,76 Cr; 0,66 Ni; 0,34 Cu; 0,029 P; 0,026 S.

Key to page 342

- 1) Steel 15KhSND (NL-2, SKhL-1)
- 2) I. Properties at +20°C according to GOST 5058-57
- 3) chemical composition, %
- 4) not above
- 5) mechanical properties
- 6) rolled-stock thickness, mm
- 7) σ_v , kg/mm²
- 8) σ_t , kg/mm²
- 9) bending test in cold state
- 10) not below
- 11) Note. Bending angle is determined on a mandrel (c) equal to twice the sheet thickness (a)
- 12) Application - steel 15KhSND exhibits increased corrosion resistance. It is used in production of roof trusses, bridge-building, railroad cars, and chassis for farm machinery.
- 13) II. Mechanical properties at low temperatures
- 14) tensile strength of cold-rolled sheet 2 mm thick [99]
- 15) heat treatment
- 16) test temperature, °C
- 17) normalizing with tempering
- 18) normalizing
- 19) Note. Chemical composition of steel, %: 0.17 C; 0.53 Mn; 0.48 Si; 0.75 Cr; 0.66 Ni; 0.34 Cu; 0.029 P; 0.026 S.

1 Ударная вязкость

2 Толщина листа, мм	3 Состояние материала	4 α_H , кг·м/см ² , при температуре, °С							5 $T_{кр}$, при ударе °С	6 Литература
		+20	0	-20	-40	-60	-80	-100		
12	7 Горячекатаный	$\frac{12,8-13,8}{13,3}$	$\frac{11,2-12,6}{12,0}$	$\frac{1,8-10,4}{5,3}$	$\frac{0,5-0,7}{0,6}$	$\frac{0,4-0,8}{0,5}$	—	—	-20	10 Данные Института нефте- и угле- химического синтеза
	8 Отожженный	17,3	16,9	—	(-50°) 10,8	(-70°) 10,5	—	(-120°) 5,2	—	[99]
	9 Нормализо- ванный	15,0	15,7	—	(-50°) 10,5	(-70°) 10,3	—	(-120°) 2,3	—	
14	7 Горячекатаный	$\frac{11,7}{11,7}$	$\frac{10,7-11,0}{10,8}$	$\frac{2,3-7,3}{4,8}$	$\frac{1,1-1,9}{1,5}$	$\frac{0,5}{0,5}$	$\frac{0,7}{0,7}$	$\frac{0,6-0,6}{0,6}$	-20	10 Данные Института нефте- и угле- химического синтеза
	8 Отожженный	$\frac{6,3-16,3}{11,3}$	$\frac{12,2}{12,2}$	$\frac{13,8}{13,8}$	$\frac{7,5-12,3}{9,9}$	$\frac{7,5-8,5}{8,0}$	$\frac{7,4-8,0}{7,7}$	$\frac{1,3-1,7}{1,5}$	-90	
	9 Нормализо- ванный	$\frac{12,5-17,5}{15,0}$	$\frac{14,2-15,3}{14,7}$	$\frac{12,5-15,5}{14,0}$	$\frac{5,8-11,2}{8,5}$	$\frac{8,0-11,7}{9,8}$	$\frac{2,3-9,5}{5,9}$	$\frac{6,0-6,6}{6,3}$	-80	
	11 Закаленный и отпущенный	$\frac{17,4-19,4}{18,4}$	$\frac{19,4-19,6}{19,5}$	$\frac{17,4-19,0}{18,2}$	$\frac{15,1-15,8}{15,5}$	$\frac{14,5-15,5}{15,0}$	$\frac{10,0-11,3}{11,1}$	$\frac{5,4-11,4}{8,4}$	12 Ниже -100	

Key to page 344

- 1) impact strength
- 2) sheet thickness, mm
- 3) material state
- 4) a_n , $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, at temperature, $^{\circ}\text{C}$
- 5) t_{kr} , $^{\circ}\text{C}$, at $a_{n\min} \leq 4 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
- 6) source
- 7) hot-rolled
- 8) annealed
- 9) normalized
- 10) data of the Institute of Petrochemical and Coal-Tar Synthesis
- 11) quenched and tempered
- 12) below -100

1 Продолжение

2 Толщина листа, мм	3 Состояние материала	4 $\sigma_{\text{н}}$, кг·м/см ² , при температуре, °C							5 $T_{\text{кр}}$, °C, при $\sigma_{\text{н}}$, кг·м/см ²	6 Литература
		+20	0	-20	-40	-60	-80	-100		
20	7 Горячекатаный	$\frac{7,6-9,4}{8,6}$	$\frac{8,3-9,3}{8,7}$	$\frac{7,5-9,1}{8,5}$	$\frac{5,5-8,0}{6,9}$	$\frac{1,5-2,0}{1,7}$	—	—	—	[82]
	8 Закаленный и отпущенный	$\frac{10,3-11,1}{10,6}$	$\frac{11,3-12,5}{11,8}$	$\frac{9,8-11,4}{10,3}$	$\frac{8,6-11,3}{9,8}$	$\frac{8,6-8,8}{8,6}$	—	—	—	
30	7 Горячекатаный	$\frac{8,0-9,7}{9,0}$	$\frac{9,1-10,0}{9,5}$	$\frac{8,2-8,8}{8,5}$	$\frac{0,5-0,8}{0,6}$	$\frac{0,5-0,7}{0,6}$	—	—	-30	9 Данные Института нефте- и угле- химического синтеза

10 Примечания:

11 1. Химический состав стали, %

2 Толщина листа, мм	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
12 Горячекатаный 7	0,18	0,51	0,53	0,71	0,41	0,22	0,014	0,026
Отожженный 12	0,17	0,53	0,48	0,75	0,66	0,34	0,029	0,026
14	0,16	0,57	0,53	0,74	0,38	0,35	0,017	0,033
20	0,16	0,66	0,59	0,83	0,43	0,24	0,027	0,027
30	0,18	0,60	0,47	0,71	0,47	0,27	0,026	0,029

13 2. Образцы из листа толщиной 20 мм вырезаны поперек проката.

3. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

Key to page 346

- 1) continued
- 2) sheet thickness, mm
- 3) material state
- 4) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 5) t_{kr} , °C, at $a_{nmin} \leq 4$ kg·m/cm²
- 6) source
- 7) hot-rolled
- 8) quenched and tempered
- 9) data of Institute of Petrochemical and Coal-Tar Synthesis
- 10) Notes.
- 11) 1. Chemical composition of steel, %
- 12) annealed
- 13) 2. Specimens are cut from sheet 20 mm thick against direction of rolling. 3. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.

1 Влияние положения образца на ударную вязкость

2 Вид полуфабриката	3 Положение образца	4 a_H , кг·м/см ² , при температуре, °C						5 Температура
		+20	-10	-20	-40	-60	-80	
6 Лист толщиной 12 мм	Вдоль	10,9—16,4	—	7,8—13,4	6,9—9,4	—	0,5—5,5	[92]
	Поперек	10,6—11,2	—	6,3—9,8	5,9—6,6	—	0,6—2,8	
7 Лист толщиной 20 мм	Вдоль	10,8—16,3	—	8,5—10,6	7,2—9,9	—	0,6—4,2	
	Поперек	10,5—15,5	—	6,8—12,2	6,7—8,0	—	0,5—6,0	
8 Лист толщиной 30 мм	Вдоль	9,1—10,5	—	3,0—11,2	2,4—7,5	—	0,5—1,0	
	Поперек	7—8,5	—	4,5—7,8	2,5—3,7	—	0,5—0,7	
11 Горячекатаный уголок 200×200×16 мм	Вдоль	15,3	14,0	11,3	9,3	8,8	6,8	[99]
	Поперек	8,1	5,6	4,5	4,1	4,7	3,1	

12 Примечания:

13. Химический состав стали, %

14 Толщина листа, мм	C	Mn	Si	Cu	Ni	Cr	S	P
12	0,15	0,62	0,43	0,39	0,42	0,64	0,031	0,013
20	0,16	0,58	0,36	0,32	0,32	0,62	0,025	0,017
30	0,19	0,65	0,36	0,33	0,45	0,70	0,028	0,020

2. Листы горячекатаные.
3. В таблице приведены минимальные и максимальные значения ударной вязкости.

16 Влияние старения на ударную вязкость [99]

17 Состояние материала	4 a_H , кг·м/см ² , при температуре, °C					
	+20	0	-10	-20	-30	-40
18 Исходное	11,3	8,7	—	5,7	—	0,58
19 Наклеп 2% и старение	15,3	8,5	8,1	1,1	0,62	—
» 6% » »	14,0	7,1	5,4	1,6	—	0,5
» 10% » »	10,7	6,6	2,9	1,1	0,9	—

20. Примечание. Сталь в исходном состоянии имела пониженные качества.

Key to page 348

- 1) effect of specimen position on impact strength
- 2) type of semiproduct
- 3) specimen position
- 4) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 5) source
- 6) sheet 12 mm thick
- 7) sheet 20 mm thick
- 8) sheet 30 mm thick
- 9) lengthwise
- 10) crosswise
- 11) hot-rolled angles 200 × 200 × 16 mm
- 12) Notes.
- 13) 1. Chemical composition of steel, %
- 14) sheet thickness, mm
- 15) 2. Hot-rolled sheets. 3. The minimum and maximum impact-strength values are listed in the table.
- 16) effect of aging on impact strength [99]
- 17) material state
- 18) initial
- 19) 2% work hardening and aging
- 20) Note. In the initial state, the steel's properties were lower.

1 Влияние температурного режима горячей гибки
на механические свойства стали 15ХСНД (СХЛ-1) [49]

2 Толщина листа, мм	3 Температурный режим гибки, °С	4 Минимальные значения			
		5 σ_T кг/мм ²	6 δ_s , %	7 α_H , кг·м/см ² , при температуре, °С	
				+20	-40
14	7 Исходное состояние	38,1	30,0	18,8	12,2
	1100—900	36,6	25,8	13,8	3,5
	950—650	37,1	25,2	10,7	0,9
	950—600	38,5	22,1	2,3	0,9
	830—680	38,7	24,0	17,2	11,8
	650—400	38,6	22,8	9,1	6,5
20	7 Исходное состояние	37,4	30,0	16,8	9,4
	1100—900	30,0	29,5	13,4	0,6
	950—650	35,0	28,2	13,0	1,7
	950—600	36,7	14,7	1,1	0,5
	830—680	34,0	27,6	15,5	9,6
	650—400	36,3	18,5	6,9	0,8

8 III. Свойства сварных соединений при низких температурах

9 Влияние режима автоматической сварки
на ударную вязкость стали 15ХСНД (НЛ-2) [100]

10 Способ сварки	11 Погонная энергия сварки ккал/см	6 α_H , кг·м/см ² , при температуре, °С	
		+20	-40
12 Вертикальные швы, сваренные по ручной подварке	7 500—8 000	$\frac{11,1-13,9}{12,5}$	$\frac{7,3-8,5}{7,8}$
13 Вертикальные швы, сваренные на медной подкладке	18 000—20 000	$\frac{6,9-9,0}{8,0}$	$\frac{1,6-2,5}{1,9}$
14 Двусторонние автоматные швы, сва- ренные в нижнем положении	12 000—14 000	$\frac{7,5-12,4}{9,1}$	$\frac{0,9-2,1}{1,4}$

15 Примечания: 1. Для исследований применяли листы толщиной 20 мм.
2. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.

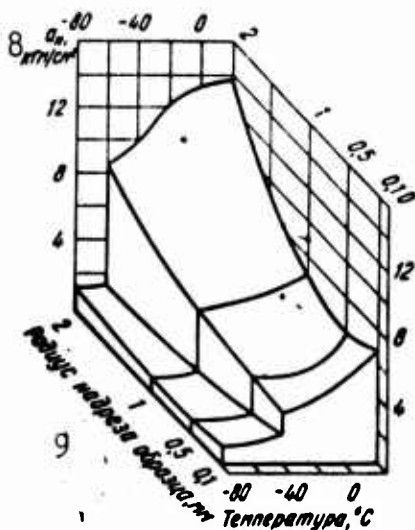
Key to page 350

- 1) Influence of temperature conditions of hot bending on mechanical properties of steel 15KhSND (SKhL-1) [49]
- 2) sheet thickness, mm
- 3) temperature conditions in bending, °C
- 4) minimum values
- 5) σ_t , kg/mm²
- 6) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 7) initial state
- 8) III. Properties of welded joints at low temperatures
- 9) Influence of automatic-welding conditions on impact strength of steel 15KhSND (NL-2) [100]
- 10) welding method
- 11) linear welding energy, cal/cm
- 12) vertical welds, formed with manual root welding
- 13) vertical welds formed on copper backing
- 14) automatic double-welded joints formed in flat position
- 15) Notes. 1. Sheets 20 mm thick were used for the studies. 2. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.

1 Ударная вязкость швов из стали 15ХСНД,
сваренных в среде углекислого газа [52]

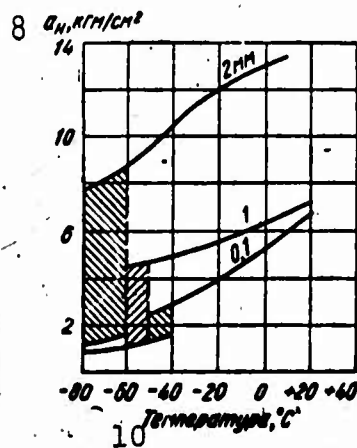
2 Марка проволоки	3 a_H , кг·м/см ² , при температуре, °C			4 a_H , после механиче- ского ста- рения при +20° C кг·м/см ²
	+20	-20	-40	
5 Св-08Г2СА	10,1—10,9 10,5	5,3—7,4 6,7	4,5—6,4 5,6	7,5—15,3 11,8
6 Св-10ГС	8,8—9,2 9,0	3,8—7,6 6,0	5,4—6,5 5,9	8,5—13,8 9,6

7 Примечания: 1. Механическое старение заключалось в растяжении на 10% и нагревании при +250° C в течение часа.
2. В числителе даны пределы, в знаменателе — средние значения ударной вязкости.



11

Рис. 83. Ударная вязкость листов толщиной 20 мм из низколегированной стали 15ХСНД (НЛ-2) (0,14% С; 0,70% Мп; 0,46% Si; 0,64% Cr; 0,69% Ni; 0,35% Cu; 0,022% P; 0,029% S) в зависимости от температуры испытания и радиуса надреза [12]

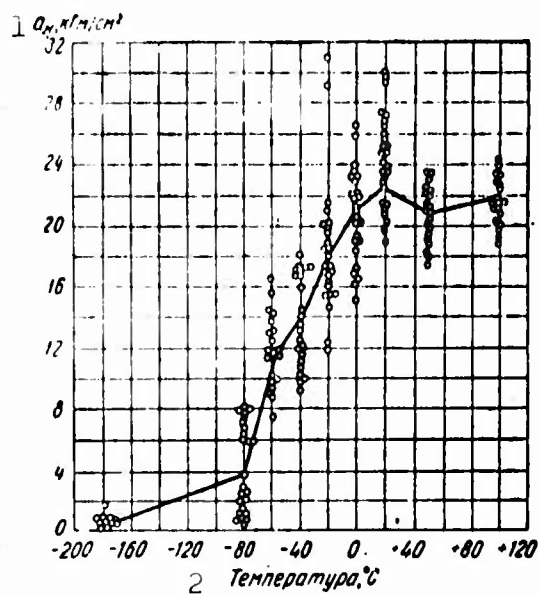


12

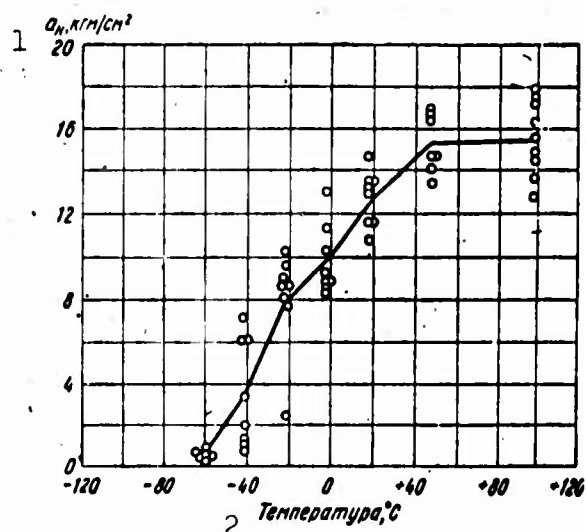
Рис. 84. Ударная вязкость листов толщиной 20 мм из стали 15ХСНД (НЛ-2) (0,14% С; 0,70% Мп; 0,46% Si; 0,64% Cr; 0,69% Ni; 0,34% Cu; 0,022% P; 0,029% S) в зависимости от температуры испытания и радиуса надреза [12]

Key to page 352

- 1) impact-strength of steel 15KhSND welds formed in carbon dioxide medium [52]
- 2) wire type
- 3) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 4) a_n , after strain aging at +20°C, kg·m/cm²
- 5) Sv-08G2SA
- 6) Sv-10GS
- 7) Notes. 1. Strain aging consisted of 10% elongation and heating at +250°C for 1 hour. 2. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.
- 8) a_n , kg·m/cm²
- 9) radius of specimen notch, mm
- 10) temperature, °C
- 11) Fig. 83. Impact strength of low-alloy steel 15KhSND (NL-2) sheets (0.14% C; 0.70% Mn; 0.47% Si; 0.64% Cr; 0.69% Ni; 0.35% Cu; 0.022% P; 0.029% S) 20 mm thick as function of test temperature and notch radius [12]
- 12) Fig. 84. Impact strength of steel 15KhSND (NL-2) sheets (0.14% C; 0.70% Mn; 0.46% Si; 0.64% Cr; 0.69% Ni; 0.34% Cu; 0.022% P; 0.029% S) 20 mm thick as function of test temperature and notch radius [12]



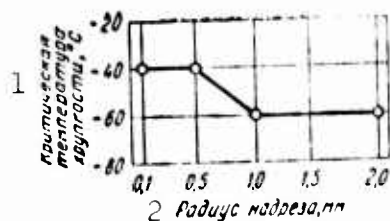
3 Рис. 85. Ударная вязкость бессемеровской низколегированной стали 15XCHD (БНЛ-2) в состоянии поставки (швеллер № 22) [102]



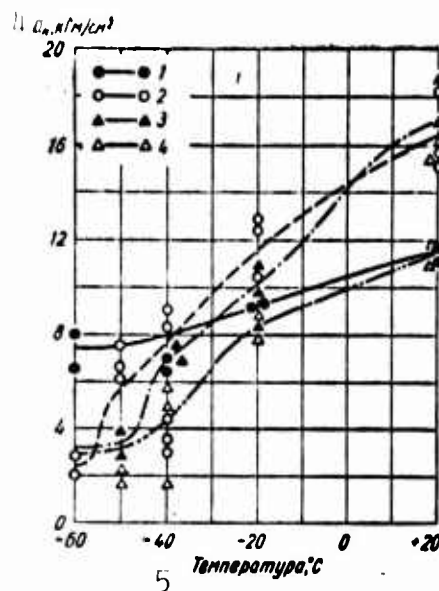
4 Рис. 86. Ударная вязкость бессемеровской низколегированной стали 15XCHD (БНЛ-3) после наклепа растяжением на 10% и нагрева при 250°С [102]

Key to page 354

- 1) a_n , kg·m/cm²
- 2) temperature, °C
- 3) Fig. 85. Impact strength of low-alloy Bessemer steel 15KhSND (BNL-2) in as-delivered state (No. 22 channel iron) [102]
- 4) Fig. 86. Impact strength of low-alloy Bessemer steel 15KhSND (BNL-2) after work hardening with 10% elongation and heating at +250°C [102]



1
3 Рис. 87. Критическая температура хрупкости стали 15ХСНД (НЛ-2) (0.17% С; 0.68% Мп; 0.42% Si; 0.028% Р; 0.034% S; 0.60% Cr; 0.44% Ni; 0.016% Mo) на образцах 10 × 10 × 55 мм с надрезами различного радиуса [101]

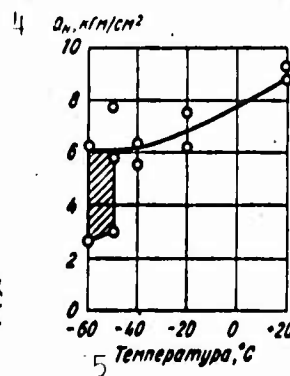


6 Рис. 88. Ударная вязкость сварных швов, выполненных на стали 15ХСНД (НЛ-2) в среде углекислого газа, в зависимости от температуры испытания [9]

7 Химический состав стали, %

8 Обозначения	9 Проволока	С	Мп	Si	Cr
1	Св-10ГС	0.14	1.06	0.80	—
2	Опытная порошковая	0.15	2.3	0.40	—
3	То же	0.15	2.5	0.45	—
4	12	0.15	2.5	0.45	0.30

13 Рис. 89. Ударная вязкость сварных швов стали 15ХСНД (СХЛ-1), выполненных в среде углекислого газа проволокой Св-10ГС. Сваривались листы толщиной 16 мм с V-образной разделкой кромок в три прохода [64]



7 Химический состав стали, %

14 Марка металла	С	Мп	Si	Cr	Ni	Cu	S	P
15 15ХСНД (СХЛ-1)	0.17	0.66	0.55	0.67	0.35	0.34	—	—
10 Св-10ГС	0.11	1.04	0.70	—	—	—	0.03	0.03

Key to page 356

- 1) critical brittleness temperature, °C
- 2) notch radius, mm
- 3) Fig. 87. Critical brittleness temperature of steel 15KhSND (NL-2) (0.17% C; 0.68% Mn; 0.42% Si; 0.028% P; 0.034% S; 0.60% Cr; 0.44% Ni; 0.016% Mo) determined on 10 × 10 × 55 mm specimens with notches of different radius [101]
- 4) a_n , kg·m/cm²
- 5) temperature, °C
- 6) Fig. 88. Impact strength of steel 15KhSND (NL-2) welds formed in carbon dioxide medium as function of test temperature [98]
- 7) chemical composition of steel, %
- 8) designation
- 9) wire
- 10) Sv-10GS
- 11) experimental powdered
- 12) same
- 13) Fig. 89. Impact strength of steel 15KhSND (SKhL-1) welds formed in carbon dioxide medium with Sv-10GS wire. Sheets 16 mm thick with V-type edge shaping were welded in three passes [54]
- 14) metal type
- 15) 15KhSND (SKhL-1)

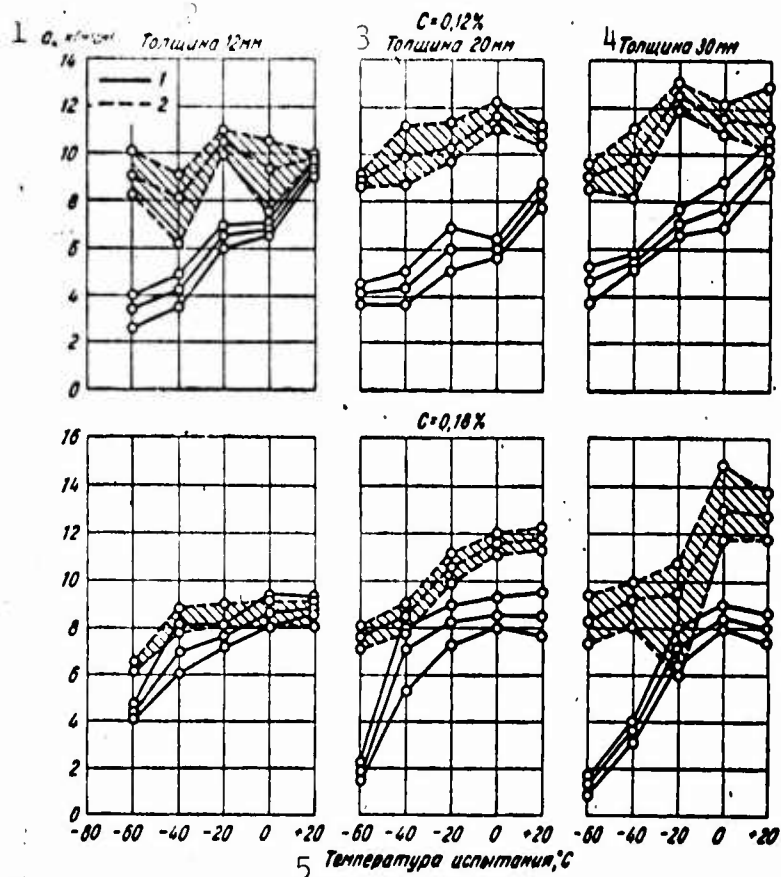


Рис. 90. Зависимость величины ударной вязкости горячекатаной и термически обработанной стали 15XCHD с различным содержанием углерода от температуры испытания:
1 — горячекатаное состояние; 2 — закалка с 920°С и отпуск при 620°С [119]

7 Сталь 10ХГСНД (МС-1)

8 I. Свойства при +20°С по ГОСТ 5058—57

9 Химический состав, %

10 Марка стали	C	Si	Mn	Cr
11 10ХГСНД (МС-1)	≤0,12	0,80—1,10	0,80—1,20	0,30—0,50

10 Марка стали	Ni	Cu	S	P
			12 не более	
11 10ХГСНД (МС-1)	1,00—1,30	0,30—0,50	0,040	0,040

Key to page 358

- 1) a_n , kg·m/cm²
- 2) 12 mm thickness
- 3) 20 mm thickness
- 4) 30 mm thickness
- 5) test temperature, °C
- 6) Fig. 90. Relationship between impact strength of hot-rolled and heat-treated steel 15KhSND with various carbon contents and test temperature. 1) hot-rolled state; 2) quenched from 920°C and tempered at 620°C [119]
- 7) Steel 10KhGSND (MS-1)
- 8) I. Properties at +20°C according to GOST 5058-57
- 9) chemical composition, %
- 10) steel type
- 11) 10KhGSND (MS-1)
- 12) not above

1 Механические свойства

2 Марка стали	3 Толщина проката мм	4 $\sigma_{\text{п}}$ кг/мм ²	5 $\sigma_{\text{т}}$ кг/мм ²	δ_{10} , %	Испытание на загиб в холодном состоянии
		8 не менее			
7 10ХГСНД (МС-1)	4—32 33—40	54 51	40 37	16 15	180°

9 Примечание. Угол загиба определен при оправке (с), равной двойной толщине листа (а).

10 Назначение — применяют в судостроении.

11 II. Механические свойства при низких температурах

12 Прочность при растяжении [47]

13 Температура испытания, °C	5 $\sigma_{\text{т}}$, кг/мм ²	4 $\sigma_{\text{в}}$, кг/мм ²	δ_{10} , %	ψ , %	14 $\frac{\sigma_{\text{т}}}{\sigma_{\text{в}}} \cdot 100$
+20	41,0 39,9	56,5 56,5	29,6 33,0	60,2 67,9	72,5 70,6
-20	46,3	60,3	33,0	70,1	76,7
-40	44,5	60,8	33,3	70,0	73,1

15 Примечание. Для исследований применяли лист толщиной 30 мм после закалки в высокого отпуска.

16 Влияние температурного режима горячей гибки на механические свойства стали 10ХГСНД (МС-1) [49]

17 Толщина листа, мм	18 Температурный режим гибки, °C	19 Минимальные значения			
		5 $\sigma_{\text{т}}$ кг/мм ²	δ_{10} , %	20 $a_{\text{н}}$, кг·м/см ² , при температуре, °C	
				+20	-40
14	21 Исходное состояние	38,2	27,5	15,2	10,2
	1100—900	36,8	24,5	8,6	1,2
	950—650	35,7	23,0	9,2	2,6
	950—600	38,0	18,8	4,2	1,2
	830—680	36,8	22,5	8,8	6,6
	650—400	42,4	18,5	5,9	1,3
30	21 Исходное состояние	38,4	32,2	20,5	12,7
	1100—900	35,2	28,8	16,9	3,9
	950—650	34,4	25,0	14,3	3,2
	950—600	40,7	19,3	6,5	2,2
	830—680	35,6	23,7	11,7	1,3
	650—400	39,4	25,2	10,4	1,8

Key to page 360

- 1) mechanical properties
- 2) steel type
- 3) rolled-stock thickness, mm
- 4) σ_v , kg/mm²
- 5) σ_t , kg/mm²
- 6) bending test in cold state
- 7) 10KhGSND (MS-1)
- 8) not below
- 9) Note. Bending angle determined with a mandrel (c) equal to twice the sheet thickness (a)
- 10) Application - used in shipbuilding
- 11) II. Mechanical properties at low temperatures
- 12) tensile strength [47]
- 13) test temperature, °C
- 14) $\sigma_t/\sigma_v \cdot 100$
- 15) Note. A 30-mm thick sheet, quenched and high-tempered, was used for the studies
- 16) influence exerted by temperature conditions of hot bending on mechanical properties of steel 10KhGSND (MS-1) [49]
- 17) sheet thickness, mm
- 18) temperature conditions of bending, °C
- 19) minimum values
- 20) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 21) initial state

1 III. Свойства сварных соединений при низких температурах

2 Ударная вязкость швов стали 10ХГСНД (МС-1),
полученных электрошлаковой сваркой листов толщиной 16 мм [50]

3 Место вырезки и надреза образца	4 a_K , кг·м/см ² , при температуре, °C	
	+20	-40
5 Шов с надрезом по центру	$\frac{9,4-14,1}{11,3}$	$\frac{4,6-7,6}{6,0}$
6 Основной металл, надрез в зоне термического влияния	$\frac{12,6-15,1}{14,3}$	$\frac{3,6-12,2}{7,6}$

7 Примечания: 1. Химический состав металла шва, %: 0,09 С; 0,35 Si; 1,46 Mn; 0,26 Cr; 0,66 Ni; 0,31 Cu; 0,029 S.
2. Сварку листов толщиной 16 мм выполняли проволокой Св-10Г2 под флюсом ОСЦ-45.
3. В числителе даны пределы, в знаменателе средние значения ударной вязкости.

8 Сталь 25Х2ГНТА (ЭИ519)

9 I. Свойства при +20°С по ЧМТУ 5596—56

10 Химический состав, %

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Ti
			11 не более				
0,22—0,29	0,8—1,3	0,20—0,50	0,03	0,03	1,2—1,7	0,9—1,4	0,06—0,12

12 Механические свойства

13	Твердость по Бринелю $\delta_{отп.}$ мм	14 σ_B кг/мм ²	15 σ_T кг/мм ²	δ , %	ψ , %	16 a_K кг·м/см
		17 не менее				
	2,7—3,0	150	125	10	45	7

18 Назначение — для изготовления высоконагруженных деталей; она обладает высокой прочностью при хорошей пластичности и вязкости.

Key to page 362

- 1) III. Properties of welded joints at low temperatures
- 2) impact strength of steel 10KhGSND (MS-1) welds formed by molten-slag arcless electric welding of sheets 16 mm thick [50]
- 3) location of grooving and specimen notch
- 4) a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 5) weld with notch along center
- 6) base metal, notch in weld-metal zone
- 7) Notes. 1. Chemical composition of weld metal, %: 0.09 C; 0.35 Si; 0.46 Mn; 0.25 Cr; 0.55 Ni; 0.31 Cu; 0.029 S. 2. Sheets 16 mm thick were welded with Sv-10G2 wire under OSTs-45 flux. 3. The limits are given in the numerator, and the average impact-strength values in the denominator.
- 8) Steel 25Kh2GNTA (EI519)
- 9) I. Properties at +20°C according to ChMTU 5596-56
- 10) chemical composition, %
- 11) not above
- 12) mechanical properties
- 13) Brinell hardness d_{otp} , mm
- 14) σ_v , kg/mm²
- 15) σ_t , kg/mm²
- 16) a_n , kg·m/cm²
- 17) not below
- 18) Application - for production of heavily loaded components; it exhibits high strength with good plasticity and toughness

1 II. Механические свойства при низких температурах

2 Прочность при растяжении [116]

3 Термическая обработка	4 Температура, °C	5 σ_B , кг/мм ²	6 $\sigma_{0.2}$, кг/мм ²	7 σ_T , кг/мм ²	8 $S_{0.2}$, кг/мм ²	9 δ , %	10 ψ , %	11 $\eta = \frac{\sigma_B}{\sigma_{0.2}}$
1.3 Закалка с 850° C в масле с отпуском 180° C	+20	169,4	233	152,7	257	11,8	49,7	1,38
	-70	174,5	234	160,2	266	13,4	53,3	1,34
	-196	202,8	178	176,5	290	12,2	44,0	0,88

11 Примечание. Химический состав стали, %: 0,26 C; 0,92 Mn; 0,25 Si; 1,34 Cr; 1,49 Ni; 0,07 Ti.

12 Ударная вязкость [116]

3 Термическая обработка	13 Ударная вязкость a_K , кг·м/см ² при температуре, °C		
	+20	-70	-196
1.4 Закалка с 850° C в масле, отпуск 180° C	6,6	5,5	2,2

15 Примечание. Химический состав стали тот же, что и в предыдущей таблице.

Key to page 364

- 1) II. Mechanical properties at low temperatures
- 2) tensile strength [116]
- 3) heat treatment
- 4) temperature, °C
- 5) σ_v , kg/mm²
- 6) σ_{vn} , kg/mm²
- 7) σ_t , kg/mm²
- 8) S_k , kg/mm²
- 9) σ_{vn}/σ_v
- 10) quenching from 850°C in oil with 180°C tempering
- 11) Note. Chemical composition of steel, %: 0.26 C; 0.92 Mn; 0.25 Si; 1.34 Cr; 1.49 Ni; 0.07 Ti.
- 12) impact strength [116]
- 13) impact strength a_n , kg·m/cm², at temperature, °C
- 14) quenching from 850°C in oil, 180°C tempering
- 15) Note. The chemical composition of the steel is the same as that in the preceding table.