

Марка стали		Вид поставки											
15X11МФ (1X11МФ)		Сталь сортовая и калиброванная — ГОСТ 5949–75. Прутки и полосы — ГОСТ 18968–73. Прутки фасонные — ГОСТ 19442–74. Заготовки лопаток турбин и компрессоров — ОСТ 108.020.03–82, ОСТ 108.020.123–78. Крепежные детали — ГОСТ 20700–75.											
Массовая доля элементов, %, по ГОСТ 5632–72										Температура критических точек, °С			
C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Ac <sub>1</sub>	Ac <sub>3</sub>	Ar <sub>1</sub>	Ar <sub>3</sub>
0,12–0,19	≤ 0,50	≤ 0,70	≤ 0,025	≤ 0,030	10,0–11,5	≤ 0,60	0,60–0,80	0,25–0,40	≤ 0,30	—	880	—	—
<b>Механические свойства при комнатной температуре</b>													
НД	Режим термообработки			Сечение, мм	σ <sub>0,2</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	σ <sub>в</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	δ, %	ψ, %	KCU, Дж/см <sup>2</sup>	HRC	HB		
	Операция	t, °С	Охлаждающая среда										
ГОСТ 5949-75	Отжиг или отпуск	ПС		До 200	—	—	—	—	—	—	≤ 229		
	Закалка	1030–1060	Масло	До 200	490	690	15	55	59	—	—		
	Отпуск	700–740	Масло										
В соответствии с заказом потребителя сталь изготавливают:													
а) с травленной поверхностью;													
б) с нормированной чистотой стали по волосовинам, выявленным потребителем на готовых деталях визуально;													
в) с контролем внутренних дефектов металла неразрушающими методами;													
г) с проверкой длительной прочности стали;													
д) с проверкой механических свойств при повышенных температурах;													
е) с нормированием содержания газов в стали;													
ж) с контролем на излом;													
з) с механическими свойствами, повышенными или в более узких пределах по сравнению с указанными в таблице;													
и) с контролем на загрязненность стали неметаллическими включениями;													
к) с проверкой величины зерна.													
Примечание.													
Нормы при испытаниях по подпунктам в, г, д, е, ж, з, и, к устанавливаются по согласованию потребителя с изготовителем.													
<b>Пределы длительной прочности и ползучести</b>													
НД	Режим термообработки			t, °С	Длительная прочность, Н/мм <sup>2</sup> , (неразрушающее напряжение) за время испытания, ч		Ползучесть, Н/мм <sup>2</sup> , при скорости деформации, %/ч						
	Операция	t, °С	Охлаждающая среда		1·10 <sup>4</sup>	1·10 <sup>5</sup>	1/10 <sup>4</sup>	1/10 <sup>5</sup>					
ГОСТ 5949-75	Закалка	1050	Воздух	550	196	147–167	—	88					
	Отпуск	740	Воздух										
НД	Режим термообработки			Сечение, мм	σ <sub>0,2</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	σ <sub>в</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	δ, %	ψ, %	KCV, Дж/см <sup>2</sup>	HRC	HB		
	Операция	t, °С	Охлаждающая среда										
ГОСТ 18968–73	Нормализация или закалка	1050–1100	Воздух или масло	До 60	Болты, шпильки, пробки, хомуты, гайки, шайбы								
	Отпуск	660–770	Воздух		От 61 до 100	590–755	740	15	50	59	—	229–269	
Для прутков и полос в отожженном состоянии из стали марок 15X11МФ и 15X11МФ–Ш число твердости должно быть не более 229 HB.													

## 15X11МФ (1X11МФ)

## Механические свойства при комнатной температуре

## Механические свойства прутков при испытании цилиндрических образцов

НД	Режим термообработки			Сечение, мм	$\sigma_{0,2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КCU, Дж/см <sup>2</sup>	НВ	КП						
	Операция	t, °C	Охлаждающая среда									не менее или в пределах					
ГОСТ 19442– 74	Закалка	1050–1100	Воздух или масло	До 60	539–656	686	15	50	59	217–255	540						
	Отпуск	660–770	Воздух	До 60	588–754	735	15	50	59	229–269	590						
					До 60	666–784	813	13	40	39	255–286	685					

## Примечания.

1. Нормы распространяются на прутки с наибольшей толщиной до 60 мм. При толщине прутков более 60 мм допускается понижение относительного удлинения ( $\delta$ ) на 1% и относительного сужения ( $\psi$ ) на 5% по сравнению с указанными в таблице, а также ударной вязкости на 4,9 Дж/см<sup>2</sup> при норме менее 78,4 Дж/см<sup>2</sup> и на 9,8 Дж/см<sup>2</sup> при норме 78,4 Дж/см<sup>2</sup> и более.

2. Нормы на ударную вязкость распространяются только на фасонные прутки для лопаток с наибольшей толщиной профиля 12 мм и более.

3. Нормы на твердость распространяются на все фасонные прутки для лопаток и на прутки для связи лопаток и на прутки для связи лопаток с наибольшей шириной (диаметром) более 10 мм.

## Механические свойства при испытании фасонных прутков для лопаток и прутков для связи лопаток

НД	Режим термообработки			Сечение, мм	$\sigma_{0,2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КCU, Дж/см <sup>2</sup>	НВ	КП						
	Операция	t, °C	Охлаждающая среда									не менее или в пределах					
ГОСТ 19442– 74	Закалка	1050–1100	Воздух или масло	До 60	—	686–822	15	—	—	217–255	540						
	Отпуск	660–670	Воздух	До 60	—	735–931	15	—	—	229–269	590						
					До 60	—	813–980	13	—	—	255–286	685					

## Примечания.

1. Для прутков толщиной более 60 мм допускается снижение относительного удлинения на 1%.

2. При испытаниях образцов с расчетной длиной 100 мм и прутков с  $\ell_0 = 11,3 \cdot \sqrt{F_0}$  (где  $F_0$  — фактическое сечение профиля) допускается понижение относительного удлинения при норме 16% и более на 4%, при норме 13–15% на 2%.

НД	Режим термообработки			Сечение, мм	$\sigma_{0,2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КCU, Дж/см <sup>2</sup>	HRC	НВ						
	Операция	t, °C	Охлаждающая среда									не менее					
ГОСТ 20700– 75	Закалка	1060–1100	Воздух или масло	До 200	Гайки												
	Отпуск	680–750	Воздух		—	—	—	—	—	—	187–217						

## Примечания.

1. Указанный режим отпуска рекомендуется уточнять по температуре и длительности применительно к размерам сечения заготовок.

2. Температура отпуска заготовок для гаек должна быть выше температуры отпуска заготовок для болтов, шпилек примерно на 30°C.

3. Допускается выполнение комплектов «шпилька–гайка», «болт–гайка» из различных марок стали. При этом твердость гаек должна быть не менее чем на 12 единиц по Бринеллю (НВ) ниже твердости шпильки, болта.

4. Твердость гаек допускается равной твердости шпилек, болтов, если один из элементов соединения подвергается упрочняющей химико-термической обработке или накатке резьбы.

5. Для крепежных деталей паровых и водогрейных котлов, кроме котлов с электрическим обогревом и котлов, предназначенных для транспортных установок, относительное удлинение при разрыве на продольных образцах должно быть свыше  $10^4/\sigma_B$  (Н/мм<sup>2</sup>), но не менее 12%; отношение предела текучести к пределу прочности при растяжении на образце и температуре 20°C не должно превышать 0,85; минимальные значения ударной вязкости на продольных образцах для образца типа I по ГОСТ 9454–78 — не менее 49 Дж/см<sup>2</sup> для диаметра (толщины) заготовки до 100 мм. При выполнении этих норм по относительному удлинению и ударной вязкости допускается применение сталей с отношением предела текучести к пределу прочности (по образцу) свыше 0,85.

## Пределы длительной прочности и ползучести

НД	Режим термообработки			t, °C	Длительная прочность, Н/мм <sup>2</sup> , за время испытания, ч		Ползучесть, Н/мм <sup>2</sup> , при скорости деформации, %/ч	
	Операция	t, °C	Охлаждающая среда		1·10 <sup>4</sup>	1·10 <sup>5</sup>		1/10 <sup>5</sup>
ГОСТ 20700– 75	Закалка	1060–1100	Воздух или масло	550	160–210	130–160	90	
	Отпуск	680–750	Воздух	565	(140–165) <sup>1</sup>	—	—	

<sup>1</sup> В скобках даны экстраполированные значения.

15X11MФ (1X11MФ)		Механические свойства при комнатной температуре									
НД	Режим термообработки			Сечение, мм	$\sigma_{0.2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{в}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КCU, Дж/см <sup>2</sup>	HRC	HB
	Операция	t, °C	Охлаждающая среда								
ОСТ 108.020. 03–82	Закалка	1070	Масло	Замок до 60	539–686	686	15	50	59	—	217–255
	Отпуск	720	Воздух								
	Закалка	1095	Масло	Замок до 60	568–755	755	14	50	59	—	229–269
	Отпуск	710	Воздух								
	Закалка	1050	Масло	Замок до 60	666–813	784	13	40	39	—	241–285
	Отпуск	680	Воздух								
	Закалка	1070	Масло	Замок свыше 60	539–686	686	14	45	59	—	217–255
	Отпуск	720	Воздух								
Закалка	1095	Масло	Замок свыше 60	568–755	755	13	45	59	—	229–269	
Отпуск	710	Воздух									
Закалка	1070	Масло	Замок свыше 60	666–813	784	12	35	39	—	241–285	
Отпуск	680	Воздух									
ОСТ 108.020. 123–78	Закалка	1030–1060	Масло	—	539	686	15	50	59	—	217
	Отпуск	720	Воздух								
	Закалка	1080–1100	Масло	—	568	755	14	50	59	—	229
	Отпуск	710	Воздух								

**Назначение.** Рабочие лопатки, бандажы и другие детали, работающие при температуре до 560°C. Болты, шпильки, пробки, хомуты и гайки с предельной температурой среды до 560°C (условное давление  $P_y$ , Н/мм<sup>2</sup> не ограничено), шайбы с предельной температурой среды до 580°C (условное давление  $P_y$ , Н/мм<sup>2</sup> не ограничено).

Сталь жаропрочная мартенситного класса, обладает высокой деформационной способностью и коррозионной стойкостью.

#### Предел выносливости, Н/мм<sup>2</sup> [3]

t, °C	Вид образца				N	Термообработка
	Гладкий		С надрезом			
	$\sigma_{-1}$	$\tau_{-1}$	$\sigma_{-1}$	$\tau_{-1}$		
550	250	—	170	—	10 <sup>8</sup>	Нормализация 1080–1100, воздух Отпуск 720–740, 2 ч

#### Механические свойства стали при различных температурах

НД	Режим термообработки			Сечение, мм	t, °C	$\sigma_{0.2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{в}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КCU, Дж/см <sup>2</sup>	HB
	Операция	t, °C	Охлаждающая среда								
[3, 6]	Закалка Отпуск	1080–1100 720–740, 2 ч	Воздух Воздух	Пруток продоль- ные образцы	20	550	740	17	66	150	—
					400	480	600	15	66	190	—
					450	440	550	18	61	200	—
					500	420	510	21	68	210	—
					550	440	540	16	65	200	—
					600	410	450	20	78	210	—
	Закалка Отпуск	1080–1100 670–680, 5 ч	Воздух Воздух	Пруток продоль- ные образцы	20	690	850	15	55	50	—
					400	640	750	13	57	140	—
					450	570	650	15	61	160	—
					500	530	590	18	69	150	—
					550	530	590	14	64	130	—
					600	510	540	17	75	140	—

## 15X11МФ (1X11МФ)

## Механические свойства стали после различных режимов термической обработки

НД	Режим термообработки			Сечение, мм	$\sigma_{0,2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	НВ														
	Операция	t, °C	Охлаждающая среда																					
[3, 6]	Нормализация	1050–1100	Воздух	Пруток	не менее																			
	Отпуск	650, 5 ч	Воздух								770	900	15	55	55	—								
	Отпуск	650, 10 ч	Воздух								720	880	16	60	65	—								
	Отпуск	650, 25 ч	Воздух								700	860	16	60	—	—								
	Нормализация	1050–1100	Воздух								800	900	14	60	50	—								
	Отпуск	675, 2 ч	Воздух								750	850	15	62	60	—								
	Отпуск	675, 5 ч	Воздух								690	830	15	62	75	—								
	Отпуск	675, 10 ч	Воздух								650	780	17	62	100	—								
	Отпуск	675, 25 ч	Воздух								продоль- ные образцы	не менее												
	Нормализация	1050–1100	Воздух																760	860	15	60	70	—
	Отпуск	700, 2 ч	Воздух																700	820	16	60	70	—
	Отпуск	700, 5 ч	Воздух																690	800	17	60	85	—
	Отпуск	700, 10 ч	Воздух	580	750	18	62	120	—															
	Отпуск	700, 25 ч	Воздух	не менее																				
	Нормализация	1050–1100	Воздух									700	800	15	60	80	—							
	Отпуск	725, 2 ч	Воздух									630	790	15	60	100	—							
	Отпуск	725, 5 ч	Воздух									600	740	20	62	130	—							
	Отпуск	725, 10 ч	Воздух	не менее																				
	Нормализация	1050–1100	Воздух									550	740	20	66	140	—							
	Отпуск	740, 2 ч	Воздух									530	720	21	66	140	—							
Отпуск	740, 5 ч	Воздух																						

## Механические свойства стали (продольные образцы от прутка) при 20°C после старения при различных температурах и временах выдержки

НД	Режим термообработки			Режим старения		$\sigma_{0,2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	НВ
	Операция	t, °C	Охлаждающая среда	t, °C	$\tau$ , ч						
	[3, 6]	Нормализация Отпуск	1100 740, 2 ч	Воздух Воздух	Исходное состояние		580	740	17	66	150
550					1000	610	810	18	58	70	—
550					10000	600	770	18	60	60	—
600					1000	660	800	16	62	95	—
600					3000	620	770	18	62	95	—
600					10000	560	750	20	60	75	—
Исходное состояние					750	890	16	60	60	—	
550					10000	680	860	16	60	50	—
550					1000	760	890	15	60	45	—
600					1000	760	880	15	60	55	—
600		3000	700	810	15	60	60	—			
600		10000	590	750	17	60	100	—			

## Технологические характеристики [1, 6]

Ковка		Охлаждение поковок, изготовленных			
Вид полуфабриката	Температурный интервал ковки, °C	из слитков		из заготовок	
		Размер сечения, мм	Условия охлаждения	Размер сечения, мм	Условия охлаждения
Слиток	1200–850	До 300	В штабелях на воздухе	До 300	В штабелях на воздухе
Заготовка	1200–850				

## Свариваемость

Ограниченно свариваемая.  
Способы сварки: РД, РАД, АФ и КТ.  
Необходимы предварительный и сопутствующий подогрев и последующая термообработка

## Обработываемость резанием

В закаленном и отпущенном состоянии  
при 217 НВ и  $\sigma_b = 730$  Н/мм<sup>2</sup>  
 $K_r = 0,82$  (твердый сплав),  
 $K_r = 0,5$  (быстрорежущая сталь)

<b>Марка стали</b>	<b>Вид поставки</b> <b>Поковки — НД заводов-изготовителей.</b>
<b>15Х11МФБ</b> <b>(1Х11МФБ)</b>	

**Массовая доля элементов, %**

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Nb	Al	Cu
0,12–0,18	≤ 0,55	0,60–1,20	≤ 0,025	≤ 0,030	10,0–12,0	0,50–0,90	0,80–1,05	0,50–0,90	0,10–0,20	—	—

**Механические свойства при комнатной температуре**

НД	Режим термообработки			Сечение, мм	$\sigma_{0,2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	HRC	HB					
	Операция	t, °C	Охлаждающая среда									не менее				
ДЦ	Отжиг	880–900	С печью	—	550–680	700	14	$\frac{50^1}{45}$	$\frac{59^1}{39}$	—	217–255					
	Нормализация	1130–1150	Воздух													
	Нормализация	1140–1160	Воздух													

<sup>1</sup>Числитель – образцы продольные; знаменатель – образцы тангенциальные.

**Назначение.** Крупные кованые и сварно-кованые детали паровых турбин, работающие при температуре до 580°C.

Сталь жаропрочная мартенситно-ферритного класса.

**Технологические характеристики**

Ковка		Охлаждение поковок, изготовленных			
Вид полуфабриката	Температурный интервал ковки, °C	из слитков		из заготовок	
		Размер сечения, мм	Условия охлаждения	Размер сечения, мм	Условия охлаждения
Слиток	1230–900	До 50	В ящиках	До 50	В ящиках
Заготовка	1230–900	51–700	Нормализация, два переохлаждения, отпуск	51–700	Нормализация, два переохлаждения, отпуск

<b>Свариваемость</b>	<b>Обрабатываемость резанием</b>	<b>Температура критических точек, °C</b>			
Ограниченно свариваемая. Способы сварки: РД, РАД и КТ. Необходимы подогрев и последующая термообработка.	В нормализованном состоянии при 217–255 HB и $\sigma_b = 730$ Н/мм <sup>2</sup> $K_v = 0,82$ (твердый сплав), $K_v = 0,5$ (быстрорежущая сталь)	Ac <sub>1</sub>	Ac <sub>3</sub>	Ar <sub>1</sub>	Ar <sub>3</sub>
		—	—	—	—