



СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

(19) **SU** (11) **1165719** **A**

3 (51) C 22 C 38/52

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 3683523/22-02

(22) 09.11.83

(46) 07.07.85. Бюл. № 25

(72) В.В.Березовская, Ю.Г.Векслер,
Н.В.Звигинцев, А.С.Рудычев
и П.Н.Галкин

(71) Уральский ордена Трудового
Красного Знамени политехнический ин-
ститут им. С.М.Кирова

(53) 669.14.018.821-194(088.8)

(56) 1. Сталь ОХ23Н28МЗДЗТ (ЭИ943).
ГОСТ 5632-61.

2. Патент США № 3697258,
кл. 75-128, 1972.

(54)(57) МАРТЕНСИТНОСТАРЕЮЩАЯ НЕРЖА-
ВЕЮЩАЯ СТАЛЬ, содержащая углерод,
хром, никель, кобальт, кремний,
титан, алюминий, марганец, железо,
отличающаяся тем, что,
с целью повышения механических, тех-

нологических, кавитационно-коррозион-
ных свойств, она дополнительно со-
держит медь, молибден, диспрозий,
неодим, кальций и церий при следую-
щем соотношении компонентов, мас. %:

Углерод	0,01-0,05
Хром	10,0-13,0
Никель	4,0-6,6
Кобальт	4,0-7,5
Кремний	0,2-1,5
Титан	0,3-0,5
Алюминий	0,2-0,35
Марганец	0,2-0,5
Медь	0,5-1,5
Молибден	1,0-3,5
Диспрозий	0,03-0,1
Неодим	0,05-0,08
Кальций	0,05-0,08
Церий	0,01-0,05
Железо	Остальное

(19) **SU** (11) **1165719** **A**

Изобретение относится к металлургии, в частности к мартенситностареющим сталям, предназначенным для деталей машин, работающих в агрессивных средах на предприятиях цветной, химической, нефтяной и других отраслей промышленности (турбины насосов для перекачивания кислот, конусы и роторы хлорных компрессоров и т.д.)

Особенностью работы подобных деталей является совместное воздействие на них кавитации, коррозии, абразивного износа.

Известны высоколегированные коррозионностойкие аустенитные стали типа "03X23H28M3ДЗТ" (ЭИ-943), которые используют для изготовления аппаратов, работающих в агрессивных средах как в условиях кавитации, так и в условиях статики [1].

Однако срок службы компрессоров из этих сталей невелик и определяется неудовлетворительной стойкостью к кавитационно-эрозионному воздействию.

Наиболее близкой к предлагаемой по технической сущности и достигаемому эффекту является мартенситностареющая нержавеющая сталь [2], содержащая, мас. %:

Углерод	≤ 0,05
Хром	12,5-17
Никель	3,0-6,5
Кобальт	6-12
Сумма никеля и кобальта	11-15
Титан или алюминий	≤ 0,2
Кремний	1,5-3,0
Марганец	≤ 1
Железо	Остальное

Однако известная сталь имеет неудовлетворительный комплекс механических свойств. К сталям, работающим в условиях сильной кавитации и износа в агрессивных средах, предъявляются более высокие требования по износостойкости, кавитационной и коррозионной стойкости, прочностным свойствам при сохранении высоких значений ударной вязкости, пластичности, хорошей технологичности.

Цель изобретения - повышение механических, технологических, кавитационно-коррозионных свойств стали.

Указанная цель достигается тем, что мартенситностареющая нержавеющая сталь, содержащая углерод, хром, ни-

кель, кобальт, кремний, титан, алюминий, марганец, железо, дополнительно содержит медь, молибден, диспрозий, неодим, кальций и церий при следующем соотношении компонентов, мас. %

Углерод	0,01-0,05
Хром	10,0-13,0
Никель	4,0-6,5
Кобальт	4,0-7,5
Кремний	0,2-1,5
Титан	0,3-0,5
Алюминий	0,2-0,35
Марганец	0,2-0,5
Медь	0,5-1,5
Молибден	1,0-3,5
Диспрозий	0,03-0,1
Неодим	0,05-0,08
Кальций	0,05-0,08
Церий	0,01-0,05
Железо	Остальное

Выплавку предлагаемой и известной сталей проводят в вакуумно-индукционных печах емкостью 10 и 100 кг.

Химический состав предлагаемой и известной сталей и базового сплава указан в табл. 1.

Слитки после кристаллизации гомогенизируют при 1150°C 6 ч, подвергают механической обдирке, затем часть из них куят на заготовки и закалывают от 1050°C в воду. Другую часть разрезают на заготовки под образцы и также закалывают от 1050°C в воду. Часть готовых образцов подвергают старению при 480-520°C 1-5 ч.

Механические испытания проводятся на машине ИМ-12А с диаграммой записью. Разрывные образцы изготавливают по ГОСТ 1497-61 (пятикратно). Ударная вязкость определяется на маятниковом копре типа МК-30 при т. 20°C. Образцы имеют стандартные размеры по ГОСТ 9454-60.

Твердость измеряют на приборе Роквелла (шкала С). Величина погрешности при определении механических характеристик составляет не более 3%.

Механические свойства кованых сталей в закаленном от 1050°C (в числителе) и в состаренном (в знаменателе) состояниях приведены в табл. 2.

Механические свойства литых сталей в закаленном от 1050°C (в числителе) и в состаренном (в знаменателе) состояниях приведены в табл. 3.

Испытания на кавитационно-коррозионную стойкость проводятся на установке для испытания материалов на

кавитационно-коррозионную стойкость с применением сопла ϕ 5 мм. Расстояние от сопла до испытуемого образца 5 мм. Температура рабочей среды 52–58°C, окружная скорость образцов 78 м/с, напор рабочей жидкости 0,28 кг/см². Испытания проводят в водопроводной воде в 10-, 75-, 92-, 98-процентных концентрациях растворов серной кислоты в течение 10 ч. Размер 10 образцов 20x15x5 мм.

Кавитационно-коррозионная стойкость предлагаемой и известной сталей, нержавеющей стали-эталона 10X18H9T приведена в табл. 4.

Предлагаемая сталь хорошо деформируется в горячем состоянии. Термомеханические параметры горячей деформации: предельная температура нагрева 1200°C, температура конца обработки 900°C, охлаждение послековки, прокатки на воздухе. Допустимая степень деформации за один ход машины-орудия 80–85%. Послековки не допускается медленное охлаждение.

Механические свойства предлагаемой и известной сталей при температурах горячей деформации (средние значения) приведены в табл. 5.

Нагрев заготовок под высадку проводят до температуры не выше 1100°C.

Предлагаемая сталь после закалки хорошо деформируется в холодном состоянии. Холодная штамповка облегчается после отпуска при 600–650°C длительностью 2,5–3,5 ч, охлаждения на воздухе, так как в этом случае увеличивается равномерное удлинение в 4 раза. После штамповки (последнего прохода) обязательна закалка.

Показатели штампуемости листового материала в закаленном состоянии приведены в табл. 6.

Предлагаемая сталь сваривается в термически упрочненном состоянии ручной и автоматической аргоно-дуговой сваркой с присадкой и без присадки, а также роликовой и точечной сваркой. Прочность сварного шва составляет $\sigma_b = 900\text{--}1000$ МПа, угол изгиба 100–120°. Допускается старение свар-

ных соединений. Допускается сварка в термически неупрочненном состоянии с последующей термической обработкой.

Пайку деталей рекомендуется выполнять припоем ВПр13 (ПСrMцМН2).

Пайка припоем ВПр13 проводится при $950 \pm 10^\circ\text{C}$ и совмещается с закалкой. При необходимости после пайки проводят закалку.

Обрабатываемость резанием предлагаемой стали, как и большинства мартенситностареющих сталей, находится на уровне обрабатываемости нержавеющей сталей аустенитного класса.

Испытания на износ инструмента при точении проводят по известной методике с учетом величины начального износа в период приработки, которая принята равной 0,2 мм. Используют инструмент из сплава ВК8 со следующими параметрами заточки: главный угол в плане $\varphi = 21^\circ$, задний угол $\alpha = 18^\circ$, вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 19^\circ$, передний угол $\gamma = 0^\circ$.

За критерий затупления принята величина фаски на задней поверхности, равная 0,4 мм.

Исследования проводят на закаленных сталях с твердостью 27 HRC.

Зависимость стойкости инструмента Т (из сплава ВК8) от режимов резания при обработке сталей приведена в табл. 7.

Жидкотекучесть определяется методом вакуумного всасывания в калиброванные кварцевые трубки, обеспечивающим относительный разброс данных не более $\pm 3\%$.

Склонность сталей к образованию усадочных раковин определяется с помощью конусной пробы путем измерения относительного объема концентрации усадочной раковины (разброс данных $\pm 10\%$).

Чувствительность стали к образованию горячих трещин (трещиностойкость) оценивается путем определения максимального усилия, тормозящего усадку стандартного образца, которое он выдерживает без образования горячих трещин. Точность определения 2 кгс.

Сталь	Плавка	Содержание элементов, мас. %					
		C	Cr	Ni	Co	Mo	Si
Предлагаемая	1	0,01	10,0	4,0	4,0	1,0	0,2
	2	0,03	12,2	4,9	7,15	3,09	1,02
	3	0,05	13,0	6,5	7,5	3,5	1,5
Предлагаемая (запретельные составы)	4	0,04	13,0	6,0	7,3	0,8	0,3
	5	0,04	12,5	5,5	7,0	2,5	1,5
Известная	6	0,04	12,7	5,0	7,2	-	1,7
X23H28M3ДЗТ	7	0,05	23	28	-	2,7	0,5

Продолжение табл. 1

Сталь	Плавка	Содержание элементов, мас. %								
		Cu	Ti	Al	Dy	Nd	Ca	Ce	Mn	Fe
Предлагаемая	1	0,5	0,3	0,2	0,03	0,05	0,05	0,01	0,20	Остальное
	2	1,19	0,4	0,3	0,07	0,06	0,07	0,03	0,30	"-
	3	1,5	0,5	0,35	0,1	0,08	0,08	0,05	0,50	"-
Предлагаемая запретельные составы	4	0,4	0,2	0,1	0,02	0,04	0,03	0,01	0,30	"-
	5	2,0	0,5	0,25	0,15	0,09	0,1	0,06	0,28	"-
Известная	6	-	0,16	0,2	-	-	-	-	0,7	"-
X23H28M3ДЗТ	7	3,0	0,6	-	-	-	-	-	0,8	"-

Т а б л и ц а 2

Сталь	Плавка	$\sigma_{0,2}$ МПа	σ_B МПа	σ , %	ψ , %	a_k , МДж/м ²	HRC
Предлагаемая	1	1000/1430	1050/1500	26,0/20,1	71,0/55,6	1,8/1,2	27/42
	2	1070/1600	1130/1650	22/18,5	75,0/56,0	1,7/1,0	28/45
	3	1020/1550	1100/1600	21/16,2	69/53,0	1,3/0,8	28/44
Предлагаемая (запретельные составы)	4	960/1220	1000/1320	16,0/8,0	60,0/50,0	1,1/0,4	27/40
Известная	5		Ковочные трещины				
	6	950/1200	1000/1350	20/16,0	68/50,0	1,0/0,4	26/40
X23H28M3ДЗТ	7	300	660	35	69	2,4	-

П р и м е ч а н и е. Приведены средние значения по результатам трехкратных измерений.
Режимы старения сталей, обеспечивающие максимальное упрочнение: 500°, 2 ч.

Т а б л и ц а 3

Сталь	Плавка	$\sigma_{0,2}$ МПа	σ_B МПа	σ , %	ψ , %	a_k , МДж/м ²	HRC
Предлагаемая	1	850/1200	900/1240	10,0/6,0	25,0/18,0	0,4/0,2	25/41
	2	920/1270	950/1300	12,0/7,0	32,0/22,0	0,5/0,3	26/42
	3	930/1300	970/1350	11,0/6,5	30,0/16,5	0,3/0,15	26/42
Предлагаемая	5	700/1010	750/1110	7,0/3,0	20,0/10,0	0,2/0,1	24/40
(запретельные составы)	6	890/1290	960/1300	1,0/0,0	12,0/0,0	0,05/0,0	20/42
Известная	7	650/1000	700/1100	6,0/2,0	18,0/9,0	0,15/0,05	25/39

Т а б л и ц а 4

Сталь Вид обработки	Плавка	Потери веса, г						
		Водопроводная вода	Концентрация	H ₂ SO ₄ (τ _{исп.} 10 ч), %		Концентрация	H ₃ PO ₄ 3 ч	
				75	92			
								10
Предлагаемая Поковка								
1	1	0,3086	0,4026	0,4627	0,5291	0,3523	0,0084	
		0,2079	0,3674	0,3917	0,4391	0,2943	0,0065	
						98	42	
2	2	0,2905	0,3894	0,4593	0,5025	0,3081	0,0074	
		0,1865	0,3329	0,3619	0,4032	0,2715	0,0054	
3	3	0,3105	0,4200	0,4713	0,5168	0,3329	0,0062	
		0,1998	0,3523	0,3835	0,4228	0,2890	0,0047	
Предлагаемая Поковка								
(запредельные составы)	4	0,4653	0,6039	0,7240	0,7801	0,5354	0,0099	
		0,2972	0,5143	0,6287	0,6847	0,4002	0,0078	
Поковочные трещины								
Предлагаемая	Литье							
		1	0,3286	0,4503	0,5507	0,6075	0,3896	0,0142
		0,2532	0,3812	0,4320	0,4735	0,3191	0,0092	
2	2	0,3042	0,4220	0,4737	0,5847	0,4033	0,0132	
		0,2011	0,3590	0,4029	0,4495	0,2987	0,0090	
3	3	0,3252	0,4311	0,5027	0,5819	0,3911	0,0128	
		0,2117	0,3739	0,4099	0,4350	0,3017	0,0078	
Предлагаемая	4	0,5078	0,7901	0,9944	1,1035	0,6739	0,0206	
		0,3806	0,6239	0,7276	0,8423	0,5030	0,0161	
Разрушение проходило по осям дендритов и границам зерен								
(запредельные составы)	Литье							
		5						

Поковочные трещины

Разрушение проходило по осям дендритов и границам зерен

Продолжение табл. 4

Сталь Вид обработки	Плавка	Потери веса, г				
		Водопроводная вода	Концентрация	H_2SO_4 ($t_{исп.}$ 10 ч), %	Концентрация	H_3PO_4 3 ч
		10		75	92	42

Известная Поковка

6

$$\frac{0,4831}{0,3742}$$

$$\frac{0,7246}{0,6566}$$

$$\frac{0,8915}{0,7151}$$

$$\frac{0,9523}{0,7904}$$

$$\frac{0,6036}{0,5107}$$

$$\frac{0,0162}{0,0108}$$

Известная Литье

6

$$\frac{0,5276}{0,4051}$$

$$\frac{0,8005}{0,6861}$$

$$\frac{1,0914}{0,7776}$$

$$\frac{1,1235}{0,8823}$$

$$\frac{0,7040}{0,5430}$$

$$\frac{0,0264}{0,0179}$$

ОХ23Н28МЗДЗТ

7

0,5417

1,2733

1,2919

1,3629

0,6514

0,0187

Эталон 10Х18Н9Т

8

0,6803

1,5489

1,5617

1,9529

1,2136

0,0205

П р и м е ч а н и е: Числитель - после заковки, знаменатель - после заковки + старение 500°C 2 ч.
Окончательная термообработка сталей ОХ23Н28МЗДЗТ и 10Х18Н9Т - закалка.

Т а б л и ц а 5

Сталь	Температура испытаний, °C	σ_B , МПа	σ_5 , %	ψ , %
Предлагае- мая	800	170	64	91
	900	110	78	91
	1000	60	80	91
	1100	30	100	94
	1200	20	106	96
Известная	800	180	63	90
	900	120	75	91
	1000	70	79	91
	1100	40	100	94
	1200	20	105	96

Т а б л и ц а 6

Сталь	Вытяжка, $K_{\text{выт}}$	Отбортовка, $K_{\text{отб}}$	Выдавка, $K_{\text{выд}}$		Гибка на 90°C, $\chi_{\text{мин}}$
			Плоская	Сферическая	

Предлагаемая 1,96-2,1 1,57-1,6 0,07-0,08 0,2-0,23 1,6-2,1
(S - толщина листа)

Известная 1,92-2,0 1,5-1,55 0,06-0,08 0,20-0,22 1,6-2,0

Т а б л и ц а 7

Сталь	Скорость резания V, об/мин	Стойкость инструмента T, мин	Подача S, мм/об	Стойкость инструмента T, мин	Глубина резания t, мм	Стойкость инструмента T, мин
1	2	3	4	5	6	7
Предлагае- мая	100	60	0,04	30	0,25	20
	150	20	0,08	20	0,60	18
	200	7	0,12	14	1,00	16
	-	-	0,20	10	2,00	15
	-	-	0,4	5	-	-

1	2	3	4	5	6	7
Известная	100	45	0,04	25	0,25	18
	150	15	0,08	15	0,60	15
	200	5	0,12	10	1,00	13
	-	-	0,20	7	2,00	11
	-	-	0,40	5	-	-

Т а б л и ц а 8

Сталь	$t_{\lambda}, ^\circ\text{C}$	Δt	λ при Δt 100, мм	V при Δt 100 ^б , %	P , кгс	ε_n , %
Предлагае- мая	1470	45	200	2,00	120	1,85
Известная	1465	40	185	2,15	115	2,00

Составитель Л.Суязова

Редактор О.Бугир Техред Л.Мратяшова Корректор И.Эрдейи

Заказ 4285/24

Тираж 583

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета СССР

по делам изобретений и открытий

113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Филиал ИПИ "Патент", г.Ужгород, ул.Проектная, 4