

**В.В. Глебов, Ф.Ф. Репин, С.Ю. Ефремов**  
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ И КОРРОЗИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛИ 23X15H7M2

Сталь 23X15H7M2 разрабатывалась для изготовления магнитных заготовок деталей с заданным расположением магнитных и немагнитных участков, создаваемых локальной термообработкой [1]. Ранее было установлено, что сталь 23X15H7M2 может применяться для изготовления цельных валов электродвигателей с магнитными и немагнитными участками взамен сварных.

Также была показана возможность применения стали 23X15H7M2 для изготовления деталей СУЗ АЭС.

Однако, как показали проведенные исследования, несмотря на то, что использование стали 23X15H7M2 для деталей электрических машин в монолитном исполнении позволяет снизить трудоемкость изготовления деталей, широкое применение стали сдерживается недостаточно высоким уровнем физико-механических характеристик мартенсита отпуска стали 23X15H7M2 [2].

В этой связи возникла необходимость в проведении работы по уточнению химического состава [3], способа выплавки и режима термообработки для повышения коррозионно-механических свойств стали 23X15H7M2 [4].

Поэтому были выплавлены опытные плавки с введением в состав стали кобальта, ванадия, кремния (табл. 1), что обеспечило повышение уровня прочностных характеристик стали в аустенитном состоянии, причем эти значения в 1,5–2 раза выше, чем у стали 12X18H10T (табл. 2).

Таблица 1

**Химический состав опытных плавок стали типа 23X15H7M2**

Номер плавки	Cr, %	Ni, %	Co, %	Si, %	Mo, %	V, %	Ti, %
330	16,0	4,54	2,5	0,27	1,91	0,66	–
331	15,8%	4,3	2,06	1,05	1,6	0,57	–
332	15,4%	4,3	2,54	1,33	1,65	0,5	–
339	15,8%	4,42	2,6	0,36	–	1,32	0,16
126	15,3	4,4	2,3	0,41	1,83	1,01	–
425	15,0	6,1	–	0,79	2,08	–	–
105	15,3	5,9	–	0,44	1,3	0,58	–

Все плавки содержат углерода 0,20–0,24%; марганца 0,39–0,57%; серы и фосфора менее 0,025%. Плавки 330, 331, 332 и 339 были выплавлены в индукционной печи ИСТ-0,16. Плавки 126, 425 и 105 были выплавлены в дуговой основной электропечи ДСП-1,5. Плавка 425 была подвергнута электрошлаковому переплаву, а плавка 105 – вакуумно-дуговому.

Повышение содержания кремния до 1,33% (пл. 332) приводит к увеличению предела текучести до максимального значения 453 Мпа, предела прочности до 1370 МПа, при этом достигаются максимальные значения пластических характеристик ( $\delta = 52,5\%$ ,  $\psi = 53,5\%$ ). Отсутствие молибдена в пл. 339 обеспечивает достижение максимального значения предела прочности ( $\sigma_b = 1410$  МПа), но при этом существенно снижаются пластические характеристики до уровня ( $\delta = 33,8\%$ ,  $\psi = 35,9\%$ ).

Таблица 2

**Коррозионно-механические свойства опытных плавок стали типа 23X15H7M2 в аустенитном состоянии**

Номер плавки	Механические свойства					Склонность к МКК	Режим термообработки
	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	KCU, МДж/м <sup>2</sup>		
330	330	960	50,5	44,5	2,8	нет	Пред. обработка 800°C, вода Закалка 1070°C, вода
331	410	1140	48,3	48,8	2,6	нет	
332	453	1370	52,5	53,5	2,2	нет	
339	360	1410	33,8	35,9	1,9	Слабая	
126	340	992	61,2	62,4	3,0	нет	
105	280	1036	58,1	58,6	3,0	нет	
425	330	920	80,0	65,8	3,0	нет	
12X18H10T	198	520	40,0	55,0	1,5	нет	

Максимальный уровень пластических характеристик стали в аустенитном состоянии отмечается у стали пл. 425.

Для получения максимального количества мартенсита были опробованы два режима термической обработки: 1 режим – предварительная обработка 800°C, 3 часа, вода; – закалка 1070°C, 3 часа, вода; термоциклическая обработка 800°C, 5 циклов по 1 часу, вода; отпуск 400°C, 10 часов, воздух; 2 режим – предварительная обработка 800°C, 3 часа, вода; закалка 1070°C, 3 часа, вода; термоциклическая обработка 800°C, 5 циклов по 0,5; 1; 2; 3; 4 часа, вода; промежуточная закалка 900°C, 3 часа, вода; промежуточное старение 750°C, 10 часов, вода; отпуск 400°C, 10 часов, воздух.

Характеристики механических свойств опытных плавок стали типа 23X15H7M2 в зависимости от режима термообработки приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Механические свойства стали типа 23X15H7M2 в зависимости от режима термообработки**

Номер плавки	Термообработка по режиму 1					Термообработка по режиму 2				
	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	KCU, МДж/м <sup>2</sup>	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	KCU, МДж/м <sup>2</sup>
330	1100	1220	13,2	39,4	0,28	1120	1200	12,2	35,7	0,3
331	1150	1260	15,2	38,1	0,14	1100	1250	14,3	36,8	0,15
332	1200	1350	13,7	35,6	0,14	1200	1300	12,4	34,0	0,15
339	1120	1200	13,0	45,0	0,37	1120	1200	12,7	48,2	0,40
126	1120	1250	13,5	49,3	0,28	1158	1228	12,7	48,2	0,3
425	1100	1350	15,1	32,3	0,15	1180	1320	14,2	31,5	0,17
105	1120	1200	15,8	49,3	0,47	1070	1167	15,4	48,7	0,5

При вводе в состав стали 2,5% кобальта при сравнении с базовым составом прочностные характеристики практически остаются без изменения, однако незначительно снижаются пластические свойства и ударная вязкость. Легирование кремнием в количестве 1,05% (пл.331) и 1,33% (пл.332) снижает ударную вязкость практически в два раза.

При исследовании влияния режима термообработки на механические свойства стали плавок 33330, 331, 332 и 339 было установлено, что прочностные и пластические характеристики находятся практически на одном уровне, тогда как ударная вяз-

кость несколько выше при термообработке по режиму 2. Очевидно это связано с перераспределением карбидов хрома с границ зерен и более равномерным их распределением по телу зерна. Было показано, что термообработка по режиму 2 обеспечивает получение в структуре стали ~ 90–95% мартенсита, а термообработка по режиму 1 ~ 80–85%. Также было установлено, что применение электрошлакового переплава повышает уровень магнито-мягких свойств мартенсита отпуска стали типа 23X15H7M2 на 15–20%.

Таблица 4

**Коррозионные характеристики стали 23X15H7M2 в зависимости от режима термообработки**

Номер плавки, режим термообработки*	Скорость коррозии, г/м <sup>2</sup> ·ч	Потенциал коррозии, В
339-A	0,000359	+ 0,05– + 0,17
339-2	0,00033	– 0,04– + 0,14
126-A	0,00029	+ 0,05– + 0,14
126-2	0,00031	+0,05– + 0,16
425-A	0,0000138	+ 0,03– + 0,17
425-2	0,000296	+ 0,06– + 0,09
105-A	0,000113	+ 0,08– + 0,17
105-2	0,00024	+ 0,03– + 0,09
12X18H10T	0,00081	+ 0,06
20X13	0,0215	– 0,22 – -,23

A – предварительная обработка 800°C, 3 часа, вода; – закалка 1070°C, 3 часа, вода;  
2 – термообработка по режиму 2

Для определения влияния легирования, термообработки и способа выплавки на коррозионные характеристики стали типа 23X15H7M2 были проведены сравнительные испытания образцов ряда плавок в синтетической морской воде (3% растворе NaCl). Результаты испытаний приведены в таблице 4.

Очевидно, что стали всех опытных плавок в аустенитном состоянии (режим термообработки – А) имеют меньшую скорость коррозии и более положительный потенциал по сравнению со сталью 12X18 Н10Т. Причем лучшей коррозионной стойкостью в аустенитном состоянии обладает сталь плавки 425–А.

В мартенситном состоянии (режим термообработки 2) наименьшая скорость коррозии у плавки 105 – 2, однако потенциал коррозии более положителен у плавки 126 – 2. Плавка 339 -2 характеризуется большим разбросом значений потенциала коррозии, что связано с отсутствием в составе стали молибдена. Сравнивая коррозионные характеристики исследуемых плавок со сталями 12X18Н10Т (аустенитное состояние) и 20X13 (мартенситное состояние) можно отметить более высокую коррозионную стойкость стали типа 23X15H7M2.

Микроструктура стали типа 23X15H7M2 исследовалась методами оптической металлографии (рис. 1, 3) и электронной микроскопии (рис. 2, 4).

Структура стали в аустенитном состоянии (рис. 1) характеризуется зернами аустенита 5–6 балла с частицами карбидов хрома, присутствующими как в теле зерна, так и на границах зерен. Размер карбидов хрома составляет ~ 1–3 мкм. Также в аустените отмечается присутствие 5–10% δ – феррита.

Микротвердость аустенита составляет  $H^{100}_{\mu} \sim 280$  МПа.



×300

Рис. 1. Микроструктура стали 23X15N7M2 (пл. 339) в аустенитном состоянии

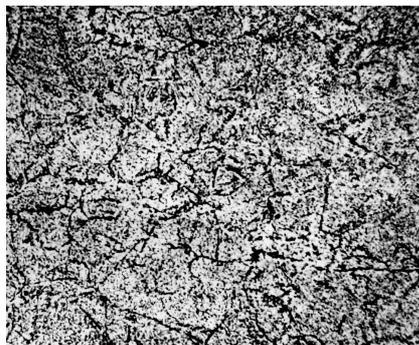


×20 000

Рис. 2. Плоские скопления дислокаций в аустените стали 23X15N7M2 (пл. 339)

Просвечивающая электронная микроскопия выявляет плоские скопления дислокаций, что свидетельствует о низкой энергии дефектов упаковки аустенита (рис. 2).

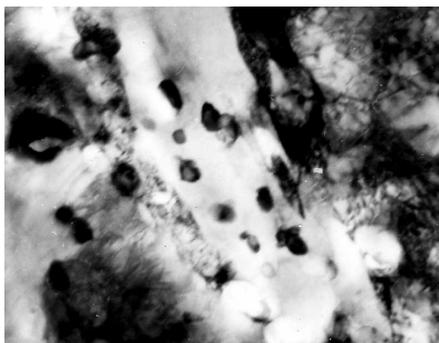
Структура стали в мартенситном состоянии (режим 2) представляет собой мартенсит отпуска, в котором карбиды сравнительно равномерно расположены внутри зерна, и более плотно у его границ (рис. 3). Размер частиц карбидов составляет ~ 1–3 мкм. Микротвердость мартенсита  $H_{100\mu} \sim 410\text{--}440$  МПа, размер зерна ~ 5 балл.



×300

Рис. 3. Микроструктура стали 23X15N7M2 (пл.339) в мартенситном состоянии

Электронная микроскопия стали после термообработки по режиму 2 выявляет большое количество карбидов хрома размером 100–500 нм, причем количество  $\alpha$ -мартенсита составляет ~ 90% (рис. 4).



×20 000

Рис. 4. Карбиды хрома в мартенсите отпуска стали 23X15H7M2 (пл. 339)

*Выводы:*

1. Введением в состав стали кобальта, ванадия, кремния обеспечило повышение уровня прочностных характеристик стали в аустенитном состоянии в 1,5–2 раза выше, чем у стали 12X18H10T.

2. Термообработка по режиму 2 обеспечивает получение в структуре стали ~ 90–95% мартенсита, а термообработка по режиму 1 ~ 80–85%.

3. Стали опытных плавки в аустенитном состоянии имеют меньшую скорость коррозии и более положительный потенциал по сравнению со сталью 12X18H10T, причем лучшей коррозионной стойкостью в аустенитном состоянии обладает сталь плавки 425–А.

4. В мартенситном состоянии наименьшая скорость коррозии у плавки 105 – 2, однако потенциал коррозии более положителен у плавки 126 – 2. Плавка 339 -2 характеризуется большим разбросом значений потенциала коррозии, что связано с отсутствием в составе стали молибдена.

**Список литературы:**

- [1] Высокопрочные немагнитные стали, отв. ред. О.А.Баннх, М., Наука, 1982.
- [2] Мишин Д.Д., Магнитные материалы, М., Высшая школа, 1981.
- [3] Авторское свидетельство № 238841.
- [4] Современные технологии в машиностроении, XIV Международная научно-практическая конференция, Сб. статей, Пенза, 2010.

*А.С. Курников, Н.Н. Арефьев*  
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## **РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ЧАСТИЧНОГО ПИТАНИЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ**

В настоящее время все более остро стоит проблема загрязнения окружающей среды различными техногенными факторами. Один из них – вредные вещества в отработавших газах (ОГ) двигателей внутреннего сгорания. Во всем мире ограничивают концентрацию таких веществ жесткими нормами: Евро 4,5 для автотранспорта, Tier и Stage для спецтехники и железнодорожной техники, нормы MARPOL-73/78 для судов. Особенно актуальна эта проблема для флота, где дизельные двигатели большой