

УДК 621.787.4

Глебов В.В., доц., к.т.н., ФГБОУ ВО «ВГУВТ».  
Репин Ф.Ф. проф., к.т.н., ФГБОУ ВО «ВГУВТ».  
603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, д.5.

## ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ И ТЕРМООБРАБОТКИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛИ ТИПА 23X15H7M2

*Ключевые слова: сталь, кремний, легирование, термообработка.*

*Исследовано влияние химического состава, способа выплавки и режима термообработки на физико-механические свойства стали типа 23X15H7M2*

Сталь 23X15H7M2 была разработана для изготовления монолитных 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 якоря СУЗ АЭС (рис. 1).



Рис.1. Макет якоря системы управления защиты АЭС - (темные участки - магнитная фаза - мартенсит; светлые участки - немагнитная фаза - аустенит).

Однако, как показали проведенные исследования, несмотря на то, что использование стали 23X15H7M2 для деталей электрических машин в монолитном исполнении позволяет снизить трудоемкость изготовления в 2-3 раза, широкое применение стали сдерживается недостаточно высоким уровнем магнито-мягких и коррозионных 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 физико-механических характеристик стали 23X15H7M2 [4].

Поэтому были выплавлены опытные плавки с введением в состав стали кобальта, кремния, ванадия и РЗМ (табл. 1) для повышения уровня магнито-мягких характеристик мартенсита отпуска стали типа 23X15H7M2.

Таблица 1

Химический состав опытных плавки стали типа 23X15H7M2, вес. %

Номер плавки	C, %	Cr, %	Ni, %	Co, %	Si, %	Mo, %	V, %	Ti, %	РЗМ
333	0,24	15,04	6,48	-	0,33	1,78	0,62	-	0,16
339	0,24	15,8	4,42	2,6	0,36	-	1,32	0,16	-
126	0,19	15,3	4,4	2,3	0,41	1,83	1,01	-	-
425	0,20	15,0	6,1	-	0,79	2,08	-	-	-
105	0,16	15,3	5,9	-	0,44	1,3	0,58	-	-

Все плавки содержали углерода 0,16-0,24%; марганца 0,39-0,57%; серы и фосфора менее 0,025%. Плавки 333 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.

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.

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 также ведет к снижению ударной вязкости.

При исследовании влияния режима термообработки на механические свойства стали плавки 333 и 339 было установлено, что прочностные и пластические характеристики находятся практически на одном уровне, тогда как ударная вязкость 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%, поэтому термообработка по режиму 2 приводит к получению более высокого уровня магнито-мягких характеристик мартенсита отпуски стали 23X15H7M2 (табл.2).

Таблица 2

Магнитные характеристики мартенсита отпуски стали типа 23X15H7M2

№ плавки	Магнитные свойства (образцы тороидальной формы)							
	Термообработка по режиму 1				Термообработка по режиму 2			
	B <sub>50</sub> , Гс	H <sub>c50</sub> , э	B <sub>100</sub> , Гс	H <sub>c100</sub> , э	B <sub>50</sub> , Гс	H <sub>c50</sub> , э	B <sub>100</sub> , Гс	H <sub>c100</sub> , э
333	3890	24,2	7951	30,8	4185	19,2	8708	26
339	3855	20,5	8618	29,7	4187	19,1	8886	27,5
	Магнитные свойства (образцы цилиндрической формы)							
	Термообработка по режиму 1				Термообработка по режиму 2			
	B <sub>50</sub> , Гс	H <sub>c50</sub> , э	B <sub>100</sub> , Гс	H <sub>c100</sub> , э	B <sub>50</sub> , Гс	H <sub>c50</sub> , э	B <sub>100</sub> , Гс	H <sub>c100</sub> , э
126	-	-	-	-	12590	29,9	12642	29,5
425	-	-	-	-	11477	28,7	11526	28,5
105	-	-	-	-	12030	28,8	12068	29,1

Установлено, что ввод в состав стали 2,0-3,0% кобальта с заменой такого же количества никеля, повышение содержания ванадия и исключение из состава стали молибдена ведет к повышению уровня магнитной индукции (B<sub>50</sub>, B<sub>100</sub>) в полях 50 и 100 эрстед. Легирование стали РЗМ (пл.333) обеспечивает снижение значений коэрцитивной силы.

Применение отпуски при 400°C обеспечивает получение более высокого уровня значений магнитной индукции мартенсита по сравнению с отпуском при 500°C, однако снижает коррозионную стойкость стали [5](рис.2).

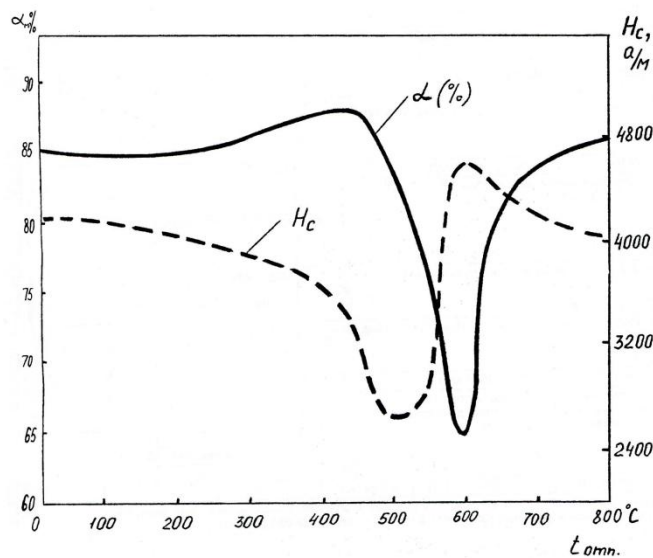


Рис.2. Влияние температуры отпуска стали 23X15H7M2 на количество мартенсита ( $\alpha_m$ ) и величину коэрцитивной силы ( $H_c$ ).

Также было установлено, что применение электрошлакового переплава повышает уровень значений магнитной индукции стали 23X15H7M2 на 15-20% (рис.3).

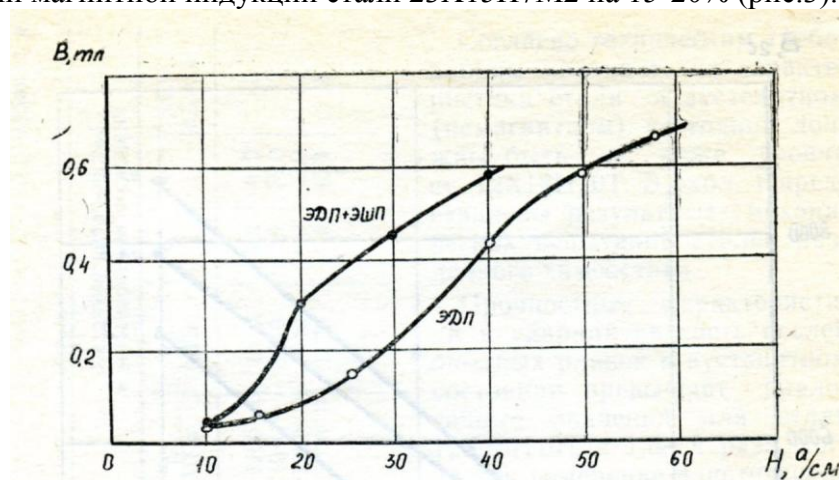


Рис.3. Влияние электрошлакового переплава на величину магнитной индукции стали 23X15H7M2.

Исследования коррозионных свойств ряда плавок стали 23X15H7M2 показали, что в аустенитном состоянии металл всех плавок обладает высокой стойкостью к МКК (межкристаллитной коррозии), а в мартенситном состоянии металл всех исследованных плавок склонен к МКК. Это объясняется применением низкотемпературного отпуска ( $400^{\circ}\text{C}$ ) для повышения значений магнитной индукции мартенсита отпуска. Ранее выполненными исследованиями было установлено, что отпуск стали 23X15H7M2 при  $500-600^{\circ}\text{C}$  устраняет склонность стали к МКК, но вызывает снижение уровня магнитомягких характеристик.

Также были проведены коррозионные испытания стали типа 23X15H7M2 в морской воде и дистиллированной воде высоких параметров ( $t \sim 250^{\circ}\text{C}$  и давлении  $\sim 40$  атм). В результате испытаний образцов в морской воде в мартенситном состоянии локальных коррозионных повреждений не обнаружено, также не обнаружено МКК. Скорость коррозии стали типа 23X15H7M2 при испытании в воде и паре высоких параметров составляет  $\sim 30 - 100$  мг/м<sup>2</sup> час, что в 1,5 – 2 раза выше скорости коррозии стали 12X18H10T в аналогичных условиях. Развития МКК на образцах за  $\sim 650$  часов испытаний не обнаружено.

### Список литературы:

- [1] Левин Ф.Л., Ульянин Е.А., Дмитриев В.А. «Немагнитная сталь с магнитными зонами в заданных участках заготовки», - В кн. «Высокопрочные немагнитные стали», отв. ред. О.А.Баных, М., Наука, 1978, с.205-208.
- [2] Вороненко Б.И. «Коэрцитивная сила и тонкая структура сплавов», Дефектоскопия, №8, 1986, с.43-58.
- [3] Глебов В.В., Каленихин Ю.Н., Голова И.Ю., Левин Ф.Л., Назаров А.А., Иванов Г.А., «Коррозионно-стойкая магнитомягкая сталь», а.с. №1560613.
- [4] Глебов В.В., Блинов В.М., Репин Ф.Ф. «Применение стали 23Х15Н7М2 для изготовления ответственных деталей судового машиностроения», Современные технологии в машиностроении, XIV Международная научно-практическая конференция, Сб. статей, Пенза, 2010, с.6-7.
- [5] Томашов Н.Д., Чернова Г.П. «Коррозия и коррозионностойкие сплавы», М., Металлургия, 1973.

Effect of alloying and heat treatment on physical and mechanical characteristics of the steel type 23h15n7m2

*Glebov VV, Assoc . , PhD . , FSFEI HE"VSUWT".*

*Repin FF prof . , PhD . , FSFEI HE"VSUWT".*

*603950 , Nizhny Novgorod, ul . Nesterova , 5 .*

Keywords : steel , silicon , alloying , heat treatment .

*The effect of chemical composition , method of smelting and termoobra - processing mode to the physical and mechanical properties of the steel type 23H15N7M2.*