

УДК 621.787.4

Глебов Владимир Васильевич, к.ф.-м.н., доц., ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Репин Федор Федорович, к.т.н., проф., ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Глебова Маргарита Анатольевна, к.т.н., с.н.с., ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»)

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

### ВЛИЯНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ СТАЛИ ТИПА 23X15H7M2

*Ключевые слова: сталь переходного класса, локальная термообработка, закалка, токи высокой частоты (ТВЧ), переходная зона.*

*Исследовано влияние режима локальной термообработки методом ТВЧ на ширину переходной зоны между мартенситом и аустенитом заготовки стали 23X15H7M2.*

Сталь переходного класса 23X15H7M2 разработана для изготовления монолитных заготовок деталей с заданным расположением магнитных и немагнитных участков, создаваемых локальной термообработкой [1]. Было установлено, что сталь 23X15H7M2 может применяться для изготовления цельных валов спецэлектродвигателей с магнитными и немагнитными участками взамен сварных.

В закаленном состоянии сталь 23X15H7M2 характеризуется немагнитной (аустенитной) структурой повышенной прочности и коррозионной стойкости. В результате карбидного превращения при старении уменьшается структурная стабильность аустенита в отношении мартенситного перехода и происходит образование магнитной составляющей в структуре стали - мартенсита. Применение дифференцированной термообработки [2] путем локального скоростного нагрева заданных участков цельнометаллической заготовки, находящейся в мартенситном состоянии, позволяет получать в ней магнитные и немагнитные участки, используя принцип  $\gamma \leftrightarrow \alpha$  превращения (рис.1).

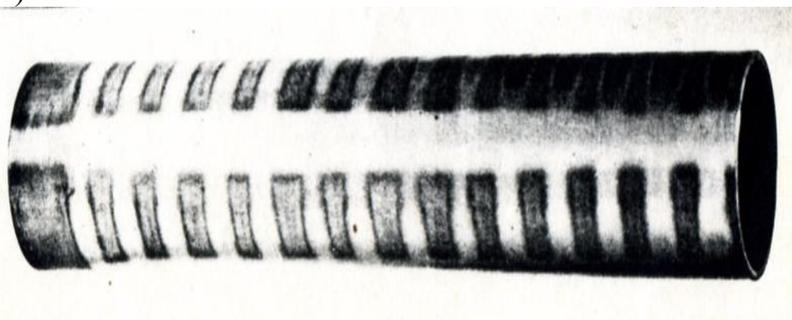


Рис.1. Цельнометаллическая заготовка после дифференцированной обработки (темные участки – мартенсит; светлые участки – аустенит).

В работе [3] показано, что аустенизация стали 23X15H7M2 в интервале температур 1000-1100°C приводит к потере магнитных свойств ( $\mu \leq 1,01$  гс/э), к полному устранению наклепа и образованию аустенита, обладающего повышенной прочностью и коррозионной стойкостью. Так, предел прочности стали 23X15H7M2 в 2 раза выше, чем у стали типа X18H10T за счет упрочняющего действия углерода, растворенного в  $\gamma$ -твердом растворе. При этом температура интенсивного растворения карбидов соответствует 1100°C. Эта температура благоприятна также с точки зрения полного мартенситного превращения при дальнейшем старении. Более высокий нагрев нежелателен, т.к. он способствует образованию  $\delta$ -феррита по границам зерен и вблизи карбидных выделений, а также ведет к стабилизации аустенита.

При замене сварной заготовки на цельнометаллическую необходимо найти способы скоростного нагрева для получения локальных немагнитных участков заданных размеров на магнитной заготовке, причем ширина переходной зоны (между мартенситом и аустенитом) должна быть не более 3 мм. Наиболее распространенный метод локальной термообработки - индукционный нагрев токами высокой частоты (ТВЧ).

Немагнитные (аустенитные) зоны на магнитной (мартенситной) заготовке создавали методом обработки ТВЧ. Термическую обработку токами высокой частоты осуществляли на высокочастотной индукционной установке с ламповым генератором ВЧИЗ-160/0,066 У4.

Для формирования немагнитных частей на монолитной заготовке были рассчитаны, спроектированы и изготовлены три индуктора для локальной термообработки методом ТВЧ соответствующих участков заготовки.

Для получения минимальной ширины переходной зоны, не превышающей 3 мм, и обеспечения наиболее полного  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращения были опробованы 2 режима термообработки, отличающиеся выходной мощностью и временем нагрева (табл. 1).

Немагнитные части (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>) полой цилиндрической заготовки имеют следующие размеры для A<sub>1</sub> (L = 18 мм; h = 2 мм), A<sub>2</sub> (L = 12 мм; h = 1 мм), A<sub>3</sub> (L = 8 мм; h = 2 мм) где L – ширина, а h – толщина стенки.

Таблица 1.

Режимы локальной термообработки немагнитных частей (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>) заготовки

Обозначение режима локальной термообработки	Выходная мощность генератора, кВт	Температура нагрева, °С	Время нагрева	Средняя температура охлаждения	Выходные параметры лампового генератора
Т-1	4,0-5,0	1000 ÷ 1100 °С	A <sub>1</sub> -30 сек, A <sub>2</sub> -9 сек, A <sub>3</sub> -15-17 сек	Вода	I <sub>сетки1</sub> =0,65а, I <sub>сетки2</sub> =0,6а, I <sub>анод1</sub> =1,8а, I <sub>анод2</sub> =1,75а, U <sub>накала</sub> =1,3кв, U <sub>анод</sub> =4,2кв
Т-2	5,0-6,0	1100 ÷ 1200 °С	A <sub>1</sub> -20-25 сек, A <sub>2</sub> -4 цикла по 2 сек, A <sub>3</sub> -11 ÷ 12 сек	Вода	I <sub>сетки1</sub> =1а, I <sub>сетки2</sub> =1а, I <sub>анодн1</sub> =2,5а, I <sub>анод2</sub> =2,5а, U <sub>нак</sub> =2кв, U <sub>анодн</sub> =6кв

Результаты исследований по влиянию режима локальной термообработки на ширину и структуру переходной зоны немагнитной части A<sub>2</sub> приведены в табл. 4.5.1.2.

Таблица 2.

## Химический состав опытных плавок стали типа 23X15H7M2, вес.%

Номер плавки	C, %	Cr, %	Ni, %	Co, %	Si, %	Mo, %	V, %	Ti, %	Gd, %
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	--
425	0,20	15,0	6,1	--	0,79	2,08	--	--	--

Таблица 3.

Ширина и структура переходной зоны немагнитной части А<sub>2</sub> клапана в зависимости от режима локальной термообработки

Номер плавки	Режим объёмной термообработки	Режим локальной термообработки	Номер немагнитной части клапана	Ширина переходной зоны, мм	Микро твердость Н <sub>μ</sub> , кгс/мм <sup>2</sup>	Содержание аустенита, %	Общая ширина линии (111) <sub>γ</sub> , рад.
333	I	T-1	A <sub>2</sub>	2,0	286÷321	97	0,0055
333	II	T-2	A <sub>2</sub>	2,7	286÷321	54	0,0047
339	I	T-1	A <sub>2</sub>	2,7	321	56	0,0056
425	II	T-1	A <sub>2</sub>	2,6	286÷321	78	0,0049
425	II	T-2	A <sub>2</sub>	2,8	321÷362	97	0,0047

Таким образом, для металла плавок 333 и 425 режимы локальной термообработки соответственно T-1 и T-2 обеспечивают фиксацию 97% ревертированного аустенита. Металлографическими исследованиями структуры немагнитных частей А<sub>1</sub> и А<sub>3</sub> было также установлено, что термообработка клапана из стали пл.425 по режиму T-2 обеспечивает получение в этих частях (А<sub>1</sub> и А<sub>3</sub>) ~ 93-95% аустенита с шириной переходной зоны 2,9-2,2 мм. Учитывая высокие магнитно-мягкие характеристики плавки 425 и возможность получения стабильной аустенитной структуры в частях А<sub>1</sub>, А<sub>2</sub>, А<sub>3</sub> с шириной переходной зоны 2,2÷2,9 мм при термообработке по режиму T-2 следует рекомендовать данный режим для формирования немагнитных частей заготовки.

При проведении локальной термообработки методом ТВЧ монолитных магнитных заготовок между мартенситной (магнитной) и аустенитной (немагнитной) зонами образуется переходная зона.

Структура переходной зоны состоит из аустенита, различного количества δ-феррита, α-фазы и карбидов, содержание которых увеличивается по мере приближения к магнитным участкам зон заготовки.

В переходной зоне металла пл.333 наблюдается аустенит с выделениями карбидов по границам и в теле зерна, небольшого количества мартенсита и δ-феррита в виде мелких частиц округлой формы, располагающихся строчками вдоль направления деформации. Сплошной карбидной сетки по границам зерен в этом случае не наблюдается (рис.2).



x500

*Рис.2. Микроструктура переходной зоны металла пл.333.*

Переходная зона пл.339 состоит из аустенита с небольшим количеством мартенсита и карбидов, располагающихся как внутри, так и по границам зерен. Отмечается присутствие небольшого количества  $\delta$ -феррита и зон ликвационной неоднородности (рис.3).



x500

*Рис.3. Микроструктура переходной зоны металла пл.339.*

Структура переходной зоны металла пл.425 представляет собой аустенит, карбиды и  $\delta$ -феррит и во многом аналогична предыдущим случаям (рис.4).



x500

*Рис.4. Микроструктура переходной зоны металла пл.425.*

Поскольку сталь базового состава 20X15H7M2-Ш (пл.425) имеет высокие магнитно-мягкие характеристики, а локальная термообработка с использованием метода ТВЧ

обеспечивает получение переходной зоны шириной менее 3,0 мм с содержанием мартенсита не более 5 %, данную сталь можно рекомендовать для изготовления заготовки.

#### **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.Баннх, М., Наука, 1978, с.205-208.
- [2]. Глебов В.В., Репин Ф.Ф., Ефремов С.Ю. «Влияние легирования на механические и коррозионные характеристики стали 23Х15Н7М2», Труды конгресса международного форума «Великие Реки», вып.3, 2014, с.53-57.
- [3]. 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.

### **THE INFLUENCE OF LOCAL HEAT TREATMENT ON THE CHARACTERISTICS OF THE TRANSITION ZONE OF STEEL TYPE 23H15N7M2**

V.V.Glebov, F.F. Repin, M.A. Glebova

*Keywords: transitional steel, local heat treatment, high-frequency thermo-treatment, transitional zone.*

*The influence of the local heat treatment mode by the method of high-frequency current on the width of the transition zone between martensite and austenite of steel billet 23H15N7M2 is investigated.*