



УДК 621.787.4

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

В.Г. Пушкин, д.ф.-м.н., проф., ИФМ УрО РАН

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

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

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛИ 23X15H7M2

Ключевые слова: аустенит, мартенсит, сталь переходного класса, термоциклическая обработка, отпуск, карбиды.

Исследовано влияние термообработки на структуру и физико-механические свойства стали 23X15H7M2.

Сталь переходного класса 23X15H7M2 была разработана ИКС ЦНИИЧМ совместно с ННИИММ «Прометей» для изготовления монолитных заготовок деталей с заданным расположением магнитных (мартенситных) участков и немагнитных (аустенитных) участков, которые создаются методом локальной термообработки (нагрев ТВЧ, лазерный нагрев) [1]. Было показано, что сталь 23X15H7M2 является перспективным материалом для изготовления цельных валов электродвигателей с магнитными и немагнитными участками взамен сварных, а также может применяться для изготовления деталей ответственных механизмов атомной энергетики [2].

Однако применение стали 23X15H7M2 сдерживается недостаточно высоким уровнем магнито-мягких характеристик мартенсита отпуска.

Следовательно, существует необходимость в исследовании деталей тонкой структуры стали 23X15H7M2 в зависимости от режима термообработки.

Поэтому в работе методами трансмиссионной электронной микроскопии и рентгеновской дифрактометрии исследовались структура и фазовый состав стали 23X15H7M2 в зависимости от режима термообработки. Структуру стали изучали методом тонких фольг на электронном микроскопе JEM-150 [3], а фазовый состав определяли на дифрактометре ДРОН-3 с использованием фильтрованного излучения $Co K_{\alpha}$ [4].

Химический состав и механические свойства стали 23X15H7M2 приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1
Химический состав стали 23X15H7M2, мас.%

C	Cr	Ni	Mn	Si	Mo	V	S	P
0,18	16,5	6,4	0,36	0,27	2,22	0,5	0,016	0,014

Таблица 2
Механические и коррозионные характеристики стали 23X15H7M2 в аустенитном и мартенситном состояниях

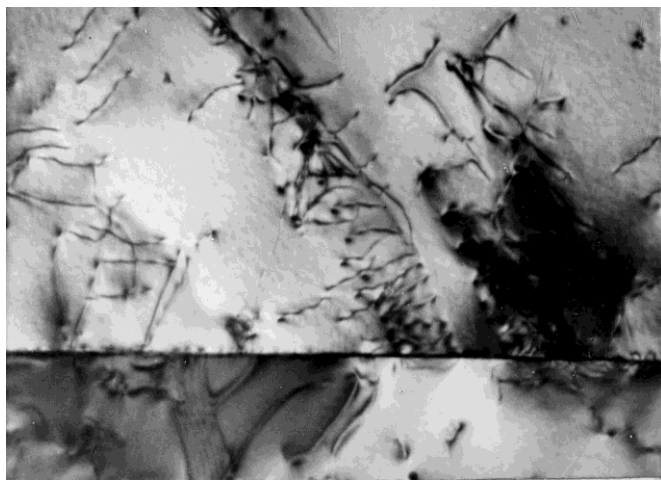
$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %	ψ , %	Склонность к МКК	Термообработка
340	980	51,5	45,6	нет	Зак. 1100°C 5ч вода

					(аустенит)
1100	1230	19,0	45,5	нет	Зак.+ТЦО (800°С;0,5 ч.;1 ч.;2ч.;3ч.)+500°С,3ч. (мартенсит)

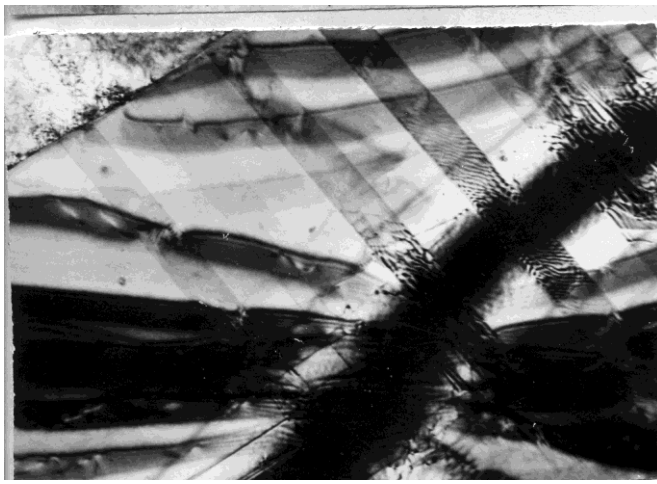
В исходном состоянии, после закалки от 1100°С – 5 часов в воду, сталь характеризуется аустенитной структурой (табл.3). Методами трансмиссионной электронной микроскопии в теле зерна и вблизи границ зерен отмечается присутствие плоских скоплений дислокаций (рис.1 – 3.1а,б,в) и дефектов упаковки, что свидетельствует о низком значении энергии дефекта упаковки аустенита.

Таблица 3
Влияние режима термообработки на фазовый состав стали 23Х15Н7М2

Марка стали	Состояние стали	Термообработка стали	Количество α – фазы,%	Количество γ – фазы,%
23Х15Н7М2	1	Зак. 1100°С 5ч вода	1-2	98-99
23Х15Н7М2	2	Зак.+ТЦО (800°С;0,5 ч.)	3-5	95-98
23Х15Н7М2	3	Зак.+ТЦО (800°С; 0,5 ч.; 1 ч.)	10	90
23Х15Н7М2	4	Зак.+ТЦО (800°С;0,5 ч.;1 ч.;2ч.)	40	60
23Х15Н7М2	5	Зак.+ТЦО (800°С;0,5 ч.;1 ч.;2ч.;3ч.)	90	10
23Х15Н7М2	6	Зак.+ТЦО (800°С;0,5 ч.;1 ч.;2ч.;3ч.)+500°С,3ч.	90	10



а)

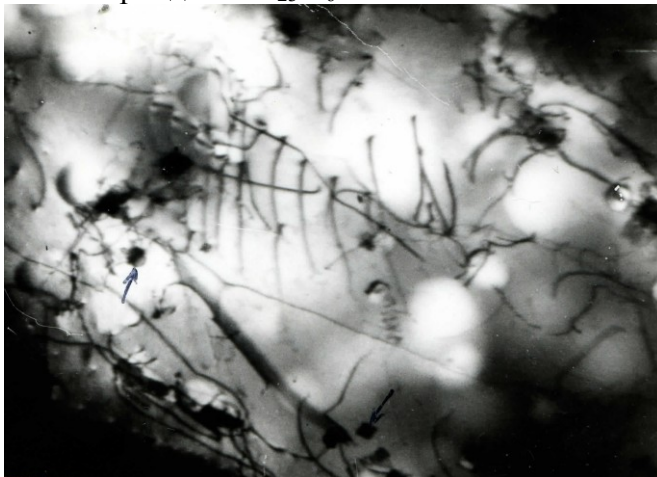


б)

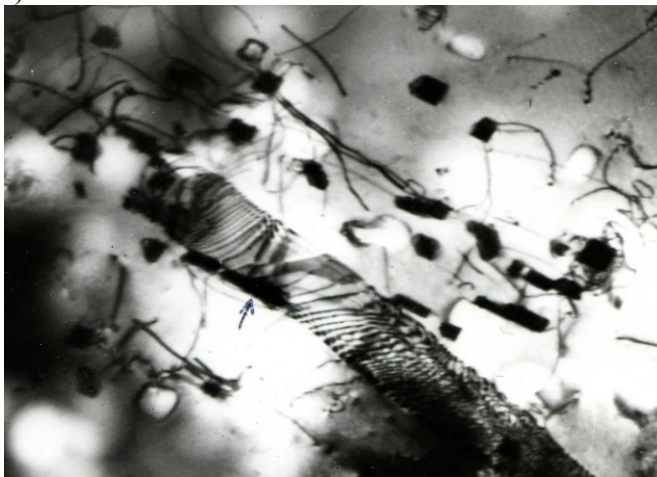
x20000

Рис.1. Плоские скопления дислокаций (а) и дефекты упаковки (б) в стали после закалки от 1100°C – 5 ч. В воде.

После первого цикла термоциклической обработки, заключающейся в нагреве закаленной стали до $t=800^{\circ}\text{C}$ с выдержкой 0,5 часа, в процессе которой происходит выделение карбидов, что дестабилизирует аустенит и ведет к увеличению α -мартенсита (до 3-5%). При этом в аустените отмечается увеличение плотности дислокаций. На дислокациях отмечается присутствие крупных (~100 – 200 нм) частиц кубической и стержневидной формы (рис.2). Анализ электронограмм показал, что данные частицы являются карбидами Cr_{23}C_6 .



а)

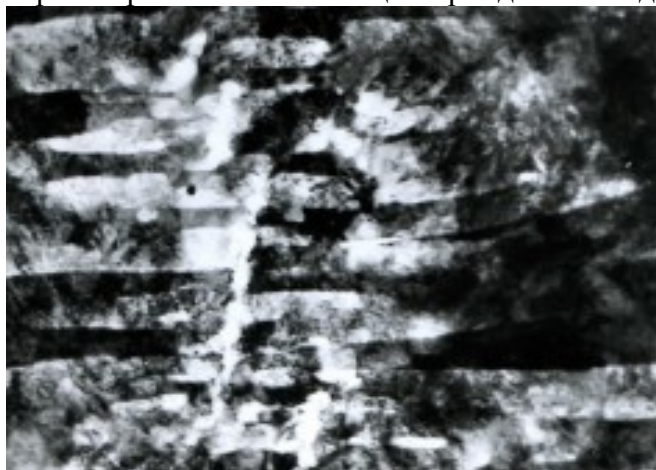


б)

x 20000

Рис.2. Выделения карбидов хрома $Cr_{23}C_6$ на дислокациях (а) –показано стрелкой и на скоплениях дислокаций (б) в стали, термоциклированной при $800^{\circ}C - 0,5$ часа, вода.

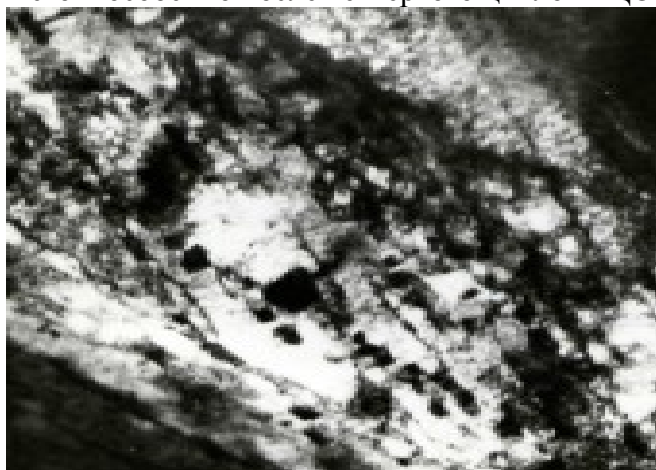
После второго цикла термоциклической обработки (ТЦО) возрастает количество α -мартенсита (до $\sim 10\%$). Также увеличивается количество выделяющейся при $800^{\circ}C$ дисперсной (до ~ 500 нм) карбидной фазы $Cr_{23}C_6$. На рис.3 наблюдаются также дисперсные равноосные частицы карбидов молибдена и ванадия (Mo,V)C.



х 20000

Рис.3. Карбиды хрома и молибдена в структуре стали после закалки и двух циклов ТЦО ($800^{\circ}C, 0,5ч, 1ч$).

Существенно возрастает количество α -мартенсита и карбидов в стали после третьего и особенно после четвертого циклов ТЦО ($800^{\circ}C; 0,5ч, 1ч, 2ч, 3ч$) (рис.4).



х10000

Рис.4. Структура стали после закалки и трех циклов ТЦО ($800^{\circ}C; 0,5ч, 1ч, 2ч$).



Рис.5. . Структура стали после закалки и четырех циклов ТЦО ($800^{\circ}C; 0,5ч, 1ч, 2ч, 3ч$).

x10000

Карбиды располагаются не только в теле кристаллов α - и γ -фаз, но и на границах зерен и субграницах (рис.4,5).

Низкотемпературный отпуск при 500°C в течение 3 часов (режим б), выполненный после полной термоциклической обработки (ТЦО), приводит к интенсивному карбидообразованию фаз $Cr_{23}C_6$ и $(Mo,V)C$ в двухфазной ($\alpha+\gamma$) стали (рис.6 а,б)



а)

x10000



б)

x20000

Рис.6. Структура стали после закалки и четырех циклов ТЦО (800°C;0,5ч,1ч,2ч,3ч) и отпуска при 500°C в течение 3 часов.

В структуре стали наблюдаются очень крупные карбиды хрома размером ~ 200-500 нм. Также отмечается присутствие остаточного аустенита в виде тонких пластин (рис.7).



x20000

Рис.7. Темнопольное изображение аустенита в стали после закалки и четырех циклов ТЦО (800°C; 0,5ч, 1ч, 2ч, 3ч) и отпуска при 500°C в течение 3 часов.

Ориентационные соотношения между аустенитной и карбидной фазами, как показал анализ, имеют вид:

$$\{100\}_{\gamma} \parallel \{100\}_{Cr_23C_6} ;$$
$$\langle 010 \rangle_{\gamma} \parallel \langle 010 \rangle_{Cr_23C_6} ;$$

Частицы карбидов хрома $Cr_{23}C_6$, расположенные внутри α -кристаллов, связаны с ними ориентационными соотношениями, такими же как и для остаточного аустенита и мартенсита в данной стали (промежуточными между соотношениями Нишиямы и Курдюмова-Закса).

Таким образом, применение термоциклической обработки к метастабильной аустенитной стали 23Х15Н7М2 позволяет получить в ней до 90% мартенсита, упрочненного частицами карбидов $Cr_{23}C_6$ и $(Mo, V)C$. Особенно интенсивно образование карбидов происходит при низкотемпературном отпуске (500°C) термоциклированной стали.

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. Банных О.А., М., Наука, 1978.
- [2] Глебов В.В., Блинов В.М., Репин Ф.Ф. «Применение стали 23Х17М2 для изготовления ответственных деталей судового машиностроения», Современные технологии в машиностроении, XIV Международная научно-практическая конференция, Сб. статей, Пенза, 2010.
- [3] Хирш П., Хови А., Николсон Р., Пэшли Д., Уэлан М., Электронная микроскопия тонких кристаллов, М., Мир, 1968.
- [4] Методы испытания, контроля и исследования машиностроительных материалов. Физические методы исследования металлов, т.1, под ред. Кишкина С.Т., М., Машиностроение, 1971.

INFLUENCE OF THERMAL PROCESSING ON STRUCTURE AND PROPERTIES OF STEEL 23H15N7M2

Glebov VV, Ph.D., Assoc.Prof., FGBOU VO "VGUVT",
Pushin VG, Doct. Phys. - Math. Sci., Prof., IFM UB RAS
Repin FF, Ph.D., Prof., FGBOU VO "VGUVT"

Key words: austenite, martensite, transition-grade steel, thermocyclic treatment, tempering, carbides.

The effect of heat treatment on the structure and physicomechanical properties of 23H15N7M2 steel is studied.