

УДК 621.785.33

Власовец В. М.*

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ И ПАРАМЕТРОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА ЗАЭВТЕКТОИДНОЙ СТАЛИ

Рассмотрено влияние термической обработки на структуру и свойства низколегированной заэвтектоидной стали. Предложены зависимости, позволяющие по магнитному параметру – коэрцитивной силе, прогнозировать уровень её свойств без разрушения.

Ключевые слова: заэвтектоидная сталь, термическая обработка, механические свойства, коэрцитивная сила, структура.

Власовець В. М. Вплив режимів та параметрів термічної обробки на властивості заевтектоїдної сталі. Розглянуто вплив термічної обробки на структуру і властивості низьколегованої заевтектоїдної сталі. Запропоновані залежності, що дозволяють по магнітному параметру - коерцитивній силі, прогнозувати рівень її властивостей без руйнування.

Ключові слова: заевтектоїдна сталь, термічна обробка, механічні властивості, коерцитивна сила, структура.

Vlasovets V. M. Influence of modes and parameters of heat treatment on the properties of hypereutectoid steel. In the article influence of heat treatment is considered on the structure and properties of hypereutectoid steel. Dependences, allowing to predict its properties without destruction, by means of magnetic parameter-coercitive force.

Keywords: hypereutectoid steel, heat treatment, mechanical properties, coercitive force, structure.

Постановка проблемы. В последние годы за рубежом вместо дорогостоящих стальных кованных валков для промежуточных клетей сортовых и рельсобалочных станков, где требуются высокие прочность и износостойкость, широко применяют заэвтектоидную низколегированную сталь. Однако химический состав, технология, параметры литья и термообработки таких изделий, обеспечивающие длительный жизненный цикл, не разглашаются. Поэтому важными являются исследования по получению низколегированных заэвтектоидных сталей, способа их модифицирования, термической обработки, которые определяют дробление карбидной сетки, высокий уровень эксплуатационных свойств, а также разработки неразрушающих методов контроля их качества.

Анализ последних исследований и публикаций. При использовании валков из заэвтектоидной стали в промежуточных клетях сортовых и рельсобалочных станков содержание углерода повышают до 1,8-1,9 %, что обеспечивает необходимую долю карбидной фазы, а, следовательно, и большую твердость, износостойкость [1]. Изменяя содержание кремния, марганца, других элементов, способ ввода и применяя различные модификаторы, добиваются формирования заданного уровня свойств отливок [2,3]. Однако зачастую, при выплавке низкоуглеродистой заэвтектоидной стали, формируется грубая карбидная сетка, способствующая снижению термической выносливости металла при эксплуатации [4].

Для дробления карбидной сетки используют сложную термическую обработку – многоступенчатые нормализации и отжиги. Однако в настоящее время отсутствуют данные, позволяющие контролировать уровень свойств низколегированной заэвтектоидной стали без разрушения. Предлагается использовать неразрушающий метод контроля по магнитному параметру – коэрцитивной силе (H_c). Это позволит прогнозировать их уровень после каждой ступени такой обработки отливок. Недостаточно изучено и влияние скорости охлаждения при проведении нормализации для увеличения эффективности процессов дробления карбидной сетки.

Цель статьи – исследовать особенности влияния режимов, параметров нормализации и

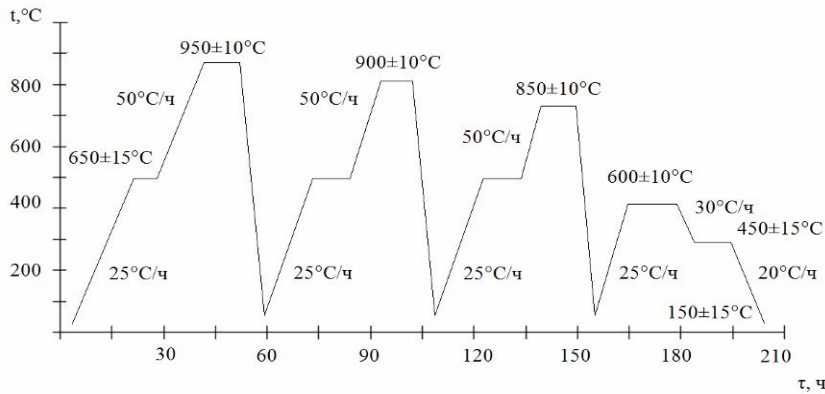
* канд. техн. наук, доцент, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенка, г. Харьков

отжига на свойства низколегированной заэвтектоидной стали для производства прокатных валков. Установить зависимости, позволяющие по магнитному параметру прогнозировать уровень свойств отливок.

Изложение основного материала. Исследовали образцы, вырезанные из отливок Ø 200 мм и высотой 400 мм следующего химического состава: 1,79-1,83 % С, 0,36-1,15 % Si, 0,48-0,69 % Mn, 0,83-0,85 % Ni, 0,69-0,79 % Cr, 0,52-0,54 % Mo, до 0,08 % Ti, до 0,45 % V. Оценивали механические свойства, термическую выносливость образцов в литом состоянии и после различных видов термической обработки (двойная нормализация 950±10 °С, 850±10 °С; тройная нормализация 950±10 °С, 900±10 °С, 850±10 °С и отжиг 850±10 °С с отпуском при 600±10 °С).

При термической обработке отливок исследовали образцы, параметры которых соответствовали рабочему слою реальных валков (рис. 1) на примере тройной, двойной нормализации и отжига с отпуском. Общее время обработки составило - 210 ч, 140 ч и 75 ч соответственно. Двойную нормализацию и отжиг с отпуском проводили с такими же параметрами нагрева и охлаждения, как и при тройной нормализации (см.рис. 1). Для оценки степени дробления и коагуляции карбидной фазы исследовали влияние параметров термической обработки на механические свойства и H_c (табл. 1), а также структурное состояние (рис.2).

Поскольку валки из исследованной стали используются только после термической обработки, выполнили оценку



прочностных и пластических характеристик, а также термической выносливости после различных её видов.

Для литого состояния, двойной, тройной нормализации и отжига определены зависимости, позволяющие прогнозировать уровень основных свойств по H_c (см.табл. 1).

Рис. 1 – Режим и параметры тройной нормализации, отжига образцов Ø 200 мм

Таблица

Прогнозирование основных механических свойств заэвтектоидной стали по уровню H_c

Режим обработки	Зависимости основных свойств от H_c				Среднее число циклов до разрушения ($N_{цикл}$)
	σ_b , МПа	$\sigma_{изг}$, МПа	КС, МДж/м ²	НВ	
Литое состояние	<u>450-520</u> ($\sigma_b=414,7+$ $+10,0 H_c$)	<u>430-500</u> ($\sigma_{изг}=379,3+$ $+11,1 H_c$)	<u>0,57-0,63</u> (КС=0,55+ $+0,006 H_c$)	<u>325-337</u> (НВ=317,2+ $+2,0 H_c$)	<u>346-1638</u> ($N_{цикл}=2253,5-$ $-169,0 H_c$)
2-ая нормализация	<u>507-765</u> ($\sigma_b=114,6 H_c-$ -401)	<u>555-850</u> ($\sigma_{изг}=244,8+$ $+43,6 H_c$)	<u>0,67-0,9</u> (КС=0,11+ $+0,026 H_c$)	<u>296-330</u> (НВ=350,9+ $+4,19 H_c$)	<u>911-8000</u> ($N_{цикл}=26801,0-$ $-2591,3 H_c$)
3-ая нормализация	<u>522-692</u> ($\sigma_b=86,9 H_c-$ $-139,0$)	<u>560-795</u> ($\sigma_{изг}=301,0+$ $+40,1 H_c$)	<u>0,67-0,97</u> (КС=0,07+ $+0,08 H_c$)	<u>269-310</u> (НВ=219,0+ $+8,37 H_c$)	<u>142-1955</u> ($N_{цикл}=29140,0-$ $-3065,2 H_c$)
Отжиг	<u>425-583</u> ($\sigma_b=291,1+$ $+35,3 H_c$)	<u>535-705</u> ($\sigma_{изг}=282,9+$ $+48,8 H_c$)	<u>0,67-0,77</u> (КС=0,15+ $+0,10 H_c$)	<u>244-272</u> (НВ=235,7+ $+3,35 H_c$)	<u>269-2950</u> ($N_{цикл}=7271,2-$ $-809,3 H_c$)

Примечание. В числителе приведены пределы значений свойств, в знаменателе – зависимости, позволяющие прогнозировать их уровень по H_c .

Дополнительно выявлена зависимость предела текучести для отожженного состояния и предела прочности на сжатие для литого металла по уровню H_c :

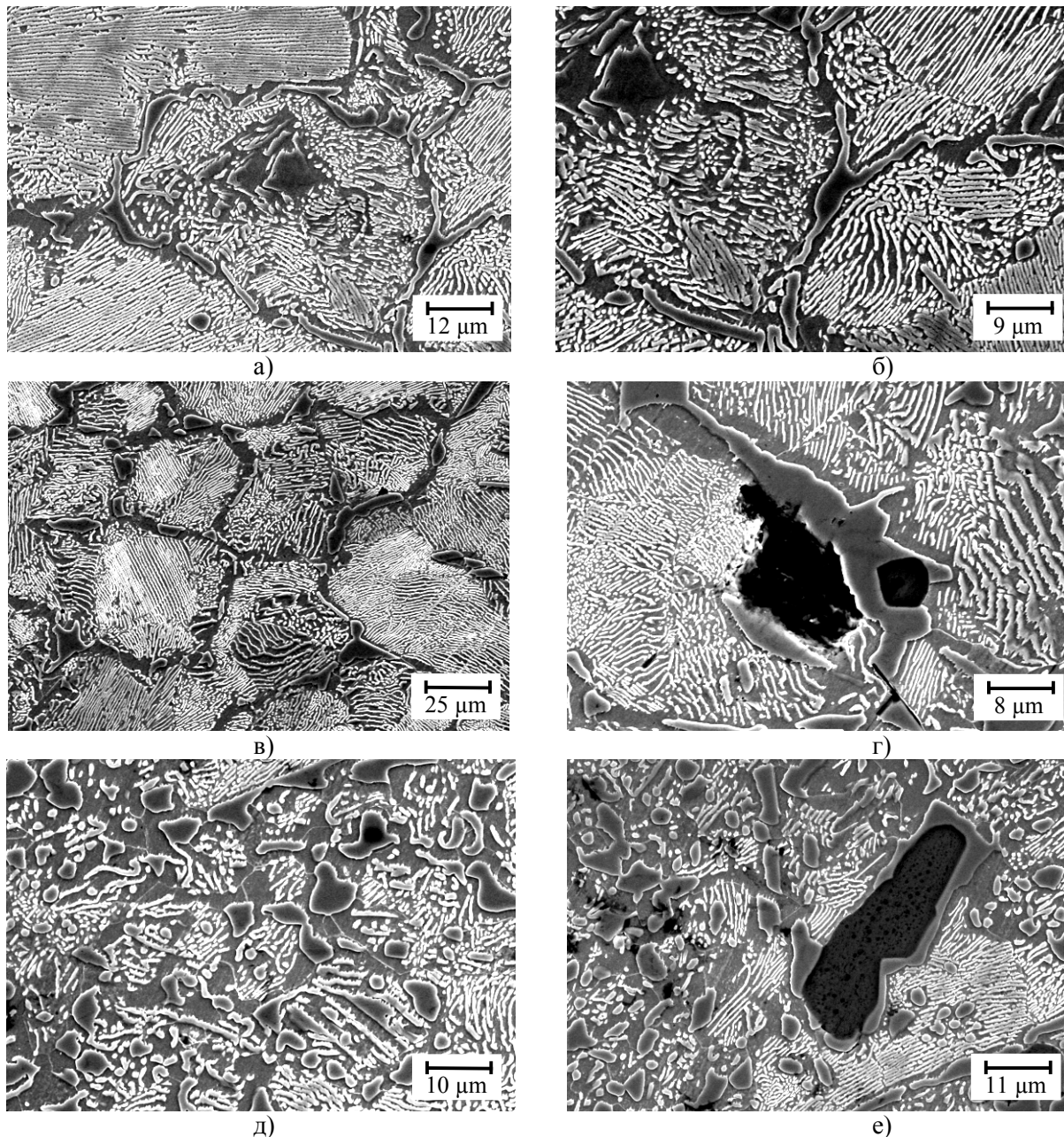


Рис. 2 - Микроструктура низколегированной заэвтектоидной стали с 1,83 % С:

а - литое состояние, участки карбидной сетки; б – после первой ступени нормализации; в – после двойной нормализации; г – после тройной нормализации; д - после отжига; е – сульфиды марганца. Травление 4 %-ным раствором HNO_3

$$\sigma_{0,2} = 218,2 + 37,6 H_c \quad (1)$$

$$\sigma_{сж} = 1983,0 - 27,1 H_c \quad (2)$$

Установлено, что термическая обработка приводит к снижению средней твердости: отжиг - на 22 %, тройная нормализация - на 17 %, а двойная – на 12 %. Одновременно повышаются прочностные характеристики стали.

Для изучения кинетики процесса растворения карбидной сетки исследовали образцы после каждой ступени нормализации (см.рис. 2). Установлено, что при одинарном нагреве до температур 850 ± 10 или 950 ± 10 °C наблюдается частичное растворение игл вторичного цемента.

Выполнили оценку распределения элементов по структурным составляющим плавки в литом состоянии и после двойной нормализации следующего состава: 1,83 % С; 1,08 % Si; 0,69 % Mn; 0,84 % Ni; 0,74 % Cr и 0,53 % Mo (см.рис. 2).

В литом состоянии (см.рис.2,а) карбид цементитного типа, входящий в состав карбидной сетки, содержит: 3,30 % Cr; 1,02 % Mn; 0,19 % Ni; 0,83 % Mo, остальное железо. Зона, приле-

гающая непосредственно к такому карбиду обеднена Cr и содержит 1,05 % Si; 0,13 % P; 0,24 % Cr; 0,27 % Mn; 0,72 % Ni. Участки перлита, по сравнению с обедненной областью, содержат повышенное количество кремния, марганца и никеля: 1,17 % Si; 0,59 % Cr; 0,83 % Mn; 0,80 % Ni. В литом состоянии в стали обнаружены также сульфиды марганца, располагающиеся зачастую рядом с включениями цементита и содержащие: 26,65 % S; 0,14 % Cr; 44,09 % Mn. Обособленные карбиды, по сравнению с входящими в состав карбидной сетки, содержат меньше хрома и марганца: 2,69 % Cr; 0,85 % Mn; 0,19 % Ni; 0,66 % Mo.

Проведение двойной нормализации способствует незначительному перераспределению компонентов. Повышается концентрация Cr в карбидной фазе на 20%. Карбидная сетка содержит 3,96 % Cr и 1,0 % Mn. Молибден и никель в составе такой карбидной фазы отсутствуют. Участки непосредственно у карбидной фазы, по сравнению с литым состоянием, имеют также пониженную концентрацию Si, Cr, Mn и Ni. Они содержат: 0,63 % Si; 0,56 % Cr; 0,65 % Mn; 0,82 % Ni. Перлитная область также обеднена марганцем и содержит повышенную концентрацию никеля и хрома: 0,64 % Mn; 1,01 % Ni; 0,71 % Cr. Скоагулированные включения цементита, по сравнению с литым состоянием, содержат больше хрома, марганца, молибдена и практически в них отсутствует никель: 3,64 % Cr; 0,90 % Mn; 1,0 % Mo.

Исследования структуры после двойной и тройной нормализаций показали, что дробления сетки не происходит, а в ряде случаев она становится еще более грубой. Этот факт может свидетельствовать о том, что при термической обработке из-за недостаточной скорости охлаждения массивных отливок в условиях интенсивной диффузии углерода растворившегося вторичного цементита происходит огрубление карбидной сетки.

Для подтверждения этого провели закалку в воде образцов, нагретых до 950 ± 10 °C. Установлено, что при такой обработке не заметно растворения сетки, а игл вторичного цементита - значительное, что подтверждает высказанное предположение. Для более полного растворения сетки и уменьшения возможности ее последующего выделения произвели нормализацию с более высокой температуры 1050 ± 10 °C (охлаждение вентиляторами, $v_{\text{охл}} = 100-150$ °C/ч) и двойную при 1050 ± 10 °C, 950 ± 10 °C (охлаждение на воздухе, $v_{\text{охл}} = 25$ °C/ч). В первом случае сетка полностью раздробилась, а во втором в меньшей степени. Это подтверждает необходимость ускоренного охлаждения после каждой ступени нормализации. Однако использование ускоренного охлаждения допустимо только при термообработке валков диаметром до 600 мм.

Выводы

1. Установлено, что для низкоуглеродистой заэвтектоидной стали с 1,79-1,83 % C, 0,35-1,15 % Si дробления карбидной сетки можно достичь многоступенчатой нормализацией с ускоренным охлаждением ($v_{\text{охл}} = 100-150$ °C/ч) до температур цикла выше перехода стали из пластического в упругое состояние (выше 450 °C). Предложены зависимости, позволяющие по коэрцитивной силе, прогнозировать уровень её свойств без разрушения. Перспективны дальнейшие исследования по влиянию модифицирующих элементов Ti, V, N на процессы дробления цементитной сетки ещё в процессе кристаллизации.

Благодарность. Автор выражает признательность научному консультанту д.т.н., проф., акад. ИАН Украины Скобло Т.С. за оказанную помощь в проведении исследований и обсуждении их результатов.

Список использованных источников:

1. Вафин Р.К. Прочность термообработанных прокатных валков. / Р.К. Вафин, А.М. Покровский, В.Г. Лешковцев – М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 264 с.
2. Cahn R.W. Physical metallurgy. / R.W. Cahn. – Amsterdam: Elsevier science B.V., 1996. – 1505 p.
3. Shen Z.Y. Advances in steel structures: proceedings of the fourth International Conference on Advances in Steel Structures. / Z.Y. Shen, G.Q. Li, Q.L. Zhang. – Berkeley: Elsevier, 2005. – 183 p.
4. Будагьянц Н.А. Литые прокатные валки. / Н.А. Будагьянц, В.Е. Карский – М: Металлургия, 1983. – 175 с.

Рецензент: В. Г. Ефременко
д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 29.04.2010