

УДК 620.79.14

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА УРОВЕНЬ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ХРОМИСТОЙ СТАЛИ

*Т.С. Скобло А.И. Сидашенко, В.М. Власовец, И.Г. Шержуков, А.Г. Тривуб  
ХНТУСХ, г. Харьков, Украина*

Получены зависимости, позволяющие прогнозировать твердость и коэрцитивную силу при различных режимах термической обработки плунжерных пар из стали ШХ 15 в интервале температур закалки 850-980°C и времени выдержки 5-15 мин (с последующей обработкой холодом) и отпуском при 150-250°C, старении в течение 14,5 ч. Для контроля качества в процессе изготовления целесообразно регулировать контролируемый параметр по коэрцитивной силе (Hc).

Высокоуглеродистая хромистая сталь перлитного класса ШХ 15 является относительно малолегированной и недорогой, обладает значительными достоинствами – высокой прочностью, сопротивляемостью усталости и износу. Поэтому наиболее часто она находит применение при изготовлении ответственных деталей серийного и массового производства, в частности, плунжерных пар топливных насосов дизельных двигателей [1].

В процессе работы плунжерные пары могут подвергаться наиболее активному виду износа – схватыванию (рис.1), которому сопутствуют необратимые процессы усталости и хрупкости в тонком поверхностном слое, а также абразивному воздействию твердых продуктов износа. Причем какой-либо зависимости степени развития схватывания от времени работы не наблюдается. Повреждения имеют характер надрывов, задиров и вырывов.

Твердость работающих в паре с плунжером гильз после схватывания в среднем соответствует 60-62 HRC, плунжеров – 62-63 HRC. В то же время нормально эксплуатировавшиеся детали имеют твердость 61,5-63 HRC. Микроструктура нормально эксплуатировавшихся плунжеров – неравномерно травящийся мелко- и скрытокристаллический мартенсит, избыточные карбиды. Микроструктура гильзы и плунжера после схватывания: на поверхности формируются отдельные участки светлотравящегося мартенсита и зоны со следами горячей деформации; далее – неравномернотравящийся скрыто- и мелкокристаллический мартенсит, карбиды.

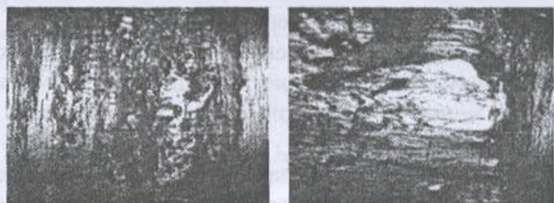


Рис. 1. Поверхность головки плунжера после схватывания,  $\times 150$

Возможной причиной заклинивания являются объемные изменения, возникающие как результат превращения остаточного аустенита в процессе работы прецизионных деталей. Остаточный аустенит металлографически не выявляется. Его содержание определяли методом рентгеноструктурного анализа

(рис. 2). При этом однозначной зависимости заклинивания плунжерных пар от среднего содержания остаточного аустенита не установлено. Однако для группы гильз с содержанием аустенита в пределах 11-17% характерно снижение его уровня после схватывания (см.рис.2, б). Вероятно, количество остаточного аустенита, зафиксированное у плунжерных пар, заклинивших в процессе эксплуатации, не отображает первоначального состояния материала, а соответствует количеству стабилизированного остаточного аустенита, который не претерпел структурных изменений в процессе эксплуатации.

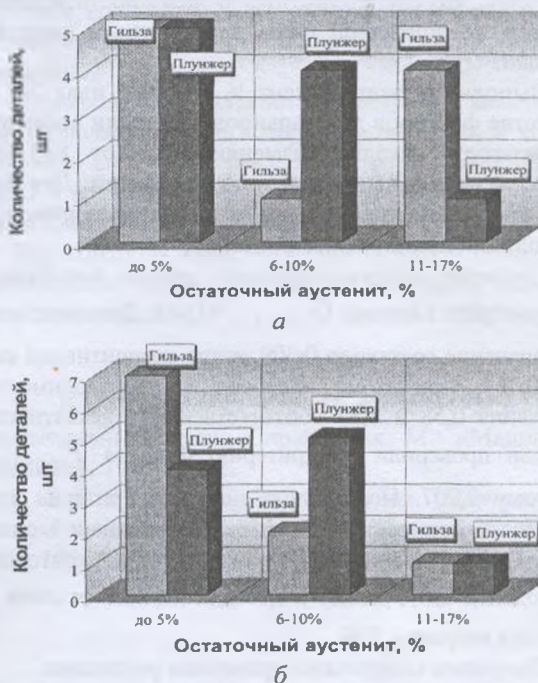


Рис. 2. Содержание остаточного аустенита: а - в парах без заклинивания; б - в заклинивших парах

В связи с тем, что режим термической обработки стали ШХ 15 существенно влияет на содержание остаточного аустенита практический интерес представляет оценка причин нарушения стабильности размеров деталей и возможность контроля их качества при изготовлении.

Удовлетворительная структура стали ШХ 15 после закалки – скрыто- (наибольшая длина игл до 0,2 мкм) и мелкоигльчатый (2-4 мкм) мартенсит с

равномерно распределенными избыточными карбидами (рис. 3, а). Количество троостита строго регламентировано до 2,5%. При перегреве стали в структуре появляется повышенное содержание аустенита, а мартенсит имеет крупноигльчатое строение (см.рис.3, б).

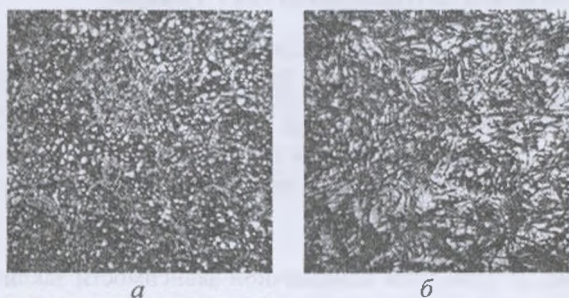


Рис. 3. Микроструктура стали ШХ 15, ×500: а - после нормальной закалки при температуре 830°C; б - после закалки с перегревом при температуре 980°C.

Продолжительность выдержки при нагреве под закалку оказывает влияние на свойства стали ШХ 15. При уменьшении времени выдержки 30 до 2 мин величина максимума коэрцитивной силы при исходной структуре зернистого перлита смещается в сторону более высоких температур закалки, в среднем на 50°C, при этом её уровень остается практически без изменений ±1%, что свидетельствует о надежности использования коэрцитивной силы для контроля качества закалки.

Выполнили эксперимент ½ реплики план 2<sup>2</sup>. В качестве факторов для варьирования были выбраны температура закалки, изменяющаяся от 830 до 980°C, и время выдержки от 5 до 15 мин. Для построения стандартной план-матрицы эксперимента выполнили кодирование факторов.

Проверку воспроизводимости опытов выполнили по критерию Кохрена  $G_{(0,05;4;1)} = 0,907$ . Для твердости его значение составило 0,309, а для коэрцитивной силы 0,369. При этом дисперсия воспроизводимости составила 0,58 и 0,34 соответственно. Адекватность модели проверили по критерию Фишера  $F_{(0,05;1;4)}$  равному 7,707. Полученное значение критерия для твердости составило 1,72 и для коэрцитивной силы 3,85. Оценку значимости производили по критерию Стьюдента  $\Delta b_i$ , равному 1,06 для первого отклика и 1,06 для второго 0,808.

Получены следующие уравнения регрессии:

$$HRC = 62,3 - 1,31T_{зак} \times \tau, \quad (1)$$

$$Hc = 32,8 - 2,58T_{зак} - 1,31\tau - 1,96T_{зак} \times \tau. \quad (2)$$

В результате обработки холодом часть остаточного аустенита, содержащегося после закалки в стали, распадается с образованием вторичного мартенсита. Для деталей, подвергнутых закалке при нормальной температуре 830°C и в которых процесс превращения мартенсита прошел сравнительно полно, повышение уровня твердости практически не происходит (не более 1%), а при перегреве 980°C уровень твердости повышается от 56-57 HRC до 60-62 HRC (практически на 9%). Однако значительная часть аустенита при этом сохраняется (рис. 4).

Такие изделия достаточно легко могут быть выявлены измерением коэрцитивной силы, так как её уровень при перегреве на 15-20% ниже.

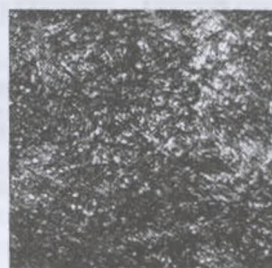


Рис. 4. Микроструктура стали ШХ 15 после закалки 980°C и обработки холодом (-60°C), ×500

Структура стали после закалки и обработки холодом представляет собой мартенсит, имеет некоторое количество остаточного аустенита и нерастворившиеся карбиды (см.рис. 4). Мартенсит и остаточный аустенит находятся в метастабильном состоянии.

При существующем контроле качества низкотемпературного отпуска закаленных деталей по измерению твердости и изучению микроструктуры не представляется возможным не только отделить нормально отпущенные детали от неотпущенных, но вообще нельзя отделить закаленные детали, совсем не проходившие никакого отпуска, от нормально отпущенных [2]. Детали отпущенные до 200°C, хотя и показывают некоторое снижение твердости, но все еще сохраняют значения не ниже 61-62 HRC. Контроль качества низкотемпературного отпуска может быть осуществлен по измерениям коэрцитивной силы.

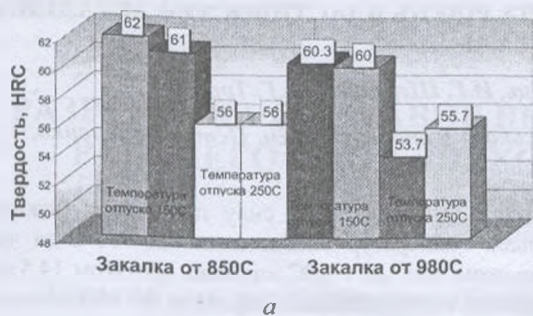
При нормальной закалке на скрытокристаллический мартенсит (830°C) значения твердости и коэрцитивной силы максимальны. При закалке с перегревом (980°C) начальные значения Hc и твердости сравнительно низки вследствие большого количества остаточного аустенита.

Изменение уровня коэрцитивной силы в зависимости от химического состава плавки в пределах марочного состава для низкотемпературного отпуска варьируется до 5% от среднего уровня для коэрцитивной силы (стандартное отклонение 9%) и до 3% для твердости (стандартное отклонение 17%).

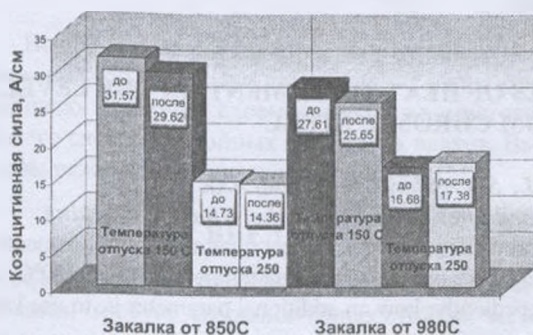
Для практических целей при нормальном отпуске снижение коэрцитивной силы должно быть принято не менее 10 и не более 15%, по сравнению с закаленным состоянием.

Старение преследует задачу обеспечения размеров закаленных изделий за счет стабилизации мартенсита и остаточного аустенита. Выполнены экспериментальные исследования по оценке влияния температур закалки 830-980°C, низкотемпературного отпуска 150-250°C на свойства стали ШХ 15 до и после старения при температуре 125°C в течение 14,5 ч (рис.5).

Как видно из рис. 5, старение практически не изменяет уровень твердости стали при нормальной температуре отпуска и закалки (до 1 ед. HRC). В то же



а



б

Рис. 5 Влияние температур закалки и отпуска после старения при 125°C в течение 14,5 ч на уровень: а – твердости, б – коэрцитивной силы

время уровень коэрцитивной силы уменьшается практически на 7%. Повышение температуры отпуска до 250°C заметно снижает общий уровень твердости до 56 HRC, что ниже требований технических условий, однако при старении изменений параметров не происходит, так как количество остаточного аустенита мало, и он стабилизирован обработкой холодом.

Перегрев стали при закалке до 980°C практически не понижает уровень твердости после старения при температуре отпуска 150°C, в то же время при повышенной температуре отмечается даже некоторый рост твердости и коэрцитивной силы до 4%, что связано с процессами распада избыточного остаточного аустенита, не стабилизированного обработкой холодом. Изменение уровня коэрцитивной силы при температуре отпуска 150°C соответствует 8%.

По результатам факторного эксперимента 1/2 реплики план 2<sup>2</sup>, оценке воспроизводимости опытов по критерию Кохрена (0,91), адекватности линейной модели по критерию Фишера (7,71) и оценки значимости коэффициентов регрессии с помощью критерия Стью-

дента (0,62-1,20) при 5% уровнях значимости получены уравнения регрессии зависимости твердости и коэрцитивной силы после отпуска от температур закалки (830-980°C) и отпуска (150-250°C):

$$HRC = 58.01 - 1.11T_{зак} - 3.26T_{отп}, \quad (3)$$

$$H_c = 22.65 - 6.95T_{отп} + 1.48T_{зак} \times T_{отп}. \quad (4)$$

Аналогичные уравнения получены для деталей, подвергнутых старению:

$$HRC = 58.25 - 2.5 \times T_{отп}, \quad (5)$$

$$H_c = 21.75 - 5.85T_{отп} + 1.75T_{зак} \times T_{отп}. \quad (6)$$

На основании проведенных исследований установлено, что возможной причиной заклинивания являются объемные изменения, возникающие как результат превращения остаточного аустенита в процессе работы прецизионных деталей. Однако рентгеновское определение количества остаточного аустенита в заклинивших деталях и в деталях, снятых с работающих машин, показывает, что однозначной зависимости заклинивания плунжерных пар от содержания остаточного аустенита не наблюдается. Одним из объяснений данного факта может служить то, что количество остаточного аустенита, зафиксированное у плунжерных пар, заклинивших в процессе эксплуатации, не отображает первоначального состояния материала. Значительная часть остаточного аустенита могла распасться и привести к схватыванию в процессе эксплуатации, а фиксируемое количество – это стабилизированный остаточный аустенит, который не претерпел структурных изменений.

Планированием эксперимента получены зависимости, позволяющие прогнозировать твердость и коэрцитивную силу в интервале температур закалки 830-980°C и времени выдержки 5-15 мин, температур отпуска 150-250°C, старении при 14,5 ч.

Для контроля качества стали ШХ15 в процессе изготовления целесообразно использовать оценку коэрцитивной силы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В.Н. Журавлев, О.И. Николаева *Машиностроительные стали*. Справочник. М.: «Машиностроение», 1981, 391 с.
2. В.Е. Щербинин, Э.С. Горкунов. *Магнитный контроль качества металлов*. Екатеринбург: УрО РАН, 1996, 263 с.

### ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА УРОВЕНЬ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ХРОМИСТОЙ СТАЛИ

Т.С. Скобло, А.И. Сидищенко, В.М. Власовец, И.Г. Шержуков, А.Г. Тридуб

Харьковский государственный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенко, г. Харьков, Украина

Получены зависимости, позволяющие прогнозировать твердость и коэрцитивную силу при различных режимах термической обработки плунжерных пар из стали ШХ 15 в интервале температур закалки 850-980°C и времени выдержки 5-15 мин (с последующей обработкой холодом) и отпуском при 150-250°C, старении в течение 14,5 ч. Для контроля качества в процессе изготовления целесообразно регулировать контролируемый параметр по коэрцитивной силе (Hc).

**ВПЛИВ РІЗНИХ РЕЖИМІВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА РІВЕНЬ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ З ХРОМИСТОЇ СТАЛІ**

*Т.С. Скобло, А.И. Сидашенко, В.М. Власовець, И.Г. Шергужков, А.Г. Тридуб*

*Харківський державний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенко,  
м. Харків, Україна*

Отримано залежності, що дозволяють прогнозувати твердість і коерцитивну силу при різних режимах термічної обробки плунжерних пар зі сталі ШХ 15 в інтервалі температур закалювання 850-980°C та часу витримки 5-15 хвил (з подальшою обробкою холодом) та відпуском при 150-250°C, старінні протягом 14,5 год. Для контролю якості в процесі виготовлення доцільно регулювати контрольований параметр по коерцитивній силі (Hc).

**ESTIMATION OF INFLUENCING DIFFERENT MODES OF HEAT TREATMENT ON THE LEVEL PROPERTIES OF DETAILS FROM CHROMIC STEEL**

*Skoblo T.S., Sidashenko A.I., Vlasovets V.M., Shergukov I.G., Tridub A.G.*

*Kharkiv national technical university of agriculture named after Petro Vasylenko, Kharkiv, Ukraine*

Dependences allowing to forecast hardness and koerctiv force at different modes of heat treatment pump elements in the interval of temperatures of oil quenching 850-980°C and soaking 5-15 mines, tempering temperature 150-250°C, aging at 14,5 h. For the control of quality in the process of making expediently, how an additional parameter is, to use koerctiv force.