

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЛИТОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ

Ю. П. Хараев<sup>1</sup>, Б. Д. Лыгденов<sup>1, 2</sup>, Г. Венбан<sup>2</sup>, Си Юн<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,  
г. Улан-Удэ, Россия

<sup>2</sup> Уханьский текстильный университет, г. Ухань, Китай

На основе литературных данных проведен анализ предварительной термической обработки и предложен метод термоциклической обработки (ТЦО). ТЦО оказывает существенное влияние на структурное состояние карбидов. Из непрерывной сетки в результате ТЦО образуются изолированные карбиды округлой формы, располагающиеся, как по границам аустенитных зерен, так и в пределах зерна

**Ключевые слова:** термоциклическая обработка, карбиды, инструментальная сталь

## THERMAL PRETREATMENT CAST TOOL STEEL

Y. P. Kharaev<sup>1</sup>, B. D. Lygdenov<sup>1, 2</sup>, G. Venban<sup>2</sup>, S Yoon<sup>2</sup>

<sup>1</sup> East Siberia state university of technology and management, Ulan-Ude, Russia

<sup>2</sup> Wuhan Textile University, Wuhan, China

On the basis of literature data analyzed preliminary heat treatment and the method of thermal cycling treatment (TCT). TCT has a significant impact on the structural state of carbides. From the continuous network formed as a result of the PCR isolated rounded carbides, which are located both in the austenite grain boundaries and within grains

**Keywords:** thermocyclic processing, carbides, tool steel

Очень важной операцией предварительной термической обработки быстрорежущих сталей, как в деформированном, так и в литом состоянии является изотермический отжиг [1]. Для его проведения рекомендуют следующий режим: нагрев до  $860 \pm 10$  °С с выдержкой 2–4 часа, охлаждение со скоростью не более  $30\text{--}40$  °С / ч до  $720\text{--}730$  °С и выдержка 4–8 ч с целью более полного распада аустенита, затем медленное ( $30\text{--}40$  °С / ч) охлаждение до  $600$  °С и далее на воздухе.

Для литых сталей правильно выполненный отжиг выравнивает строение металлической основы, однако, не изменяет форму и расположение эвтектических карбидов [15]. В связи с этим предлагается вести отжиг при более высоких температурах (до  $950\text{--}980$  °С) [1], либо увеличить выдержку при  $880$  °С до 6–8 ч [3].

В то же время не рекомендуется превышать время выдержки более 4 ч из-за возможного образования стабильных карбидов MeC, трудно-растворимых в аустените, что вызывает снижение теплостойкости [4].

С целью устранения эвтектической сетки карбидов применяют гомогенизирующий (диффузионный) отжиг при высоких температурах. Для стали Р6М5 рекомендуется проводить в интервале  $1250\text{--}1270$  °С. При таких температурах происходит устранение эвтектической сетки карбидов [4]. Однако, несмотря на притягательность, вопрос применения высокотемпературного отжига литых сталей в производственных условиях остается открытым в связи со сложностью регулирования температур и их высоким уровнем.

В последнее время находит применение термоциклический отжиг (ТЦО) литых быстрорежущих сталей [5–7].

В работе [19] предлагается использовать циклический отжиг в интервале  $815\text{--}650$  °С с последним охлаждением на воздухе. В результате ТЦО литой быстрорежущей стали по описанному режиму достигается такой же эффект, как при изотермическом отжиге. К аналогичным выводам пришли авторы работы [8]. В связи с устранением карбидной сетки по границам зерен удалось вдвое повы-

сить ударную вязкость материала инструмента после ТЦО по сравнению с литым нетермоциклированным.

Исследования по применению циклического отжига показывают, что ТЦО может быть применена вместо традиционного отжига быстрорежущей стали, она непродолжительна и легко осуществима, как в лабораторных, так и в производственных условиях.

По данным авторов [9] при получении инструмента литьем в металлические формы можно вообще исключить операцию отжига, а также закалки и проводить только трехкратный отпуск при 560 °С.

**Окончательная термическая обработка литого инструмента.** По рекомендациям Геллера Ю. А. [10] закалку и отпуск литого инструмента проводили, как правило, по режимам аналогичным для инструмента из деформированной стали, что объясняется идентичным химическим составом.

В отношении отпуска литого инструмента никаких особых рекомендаций в литературе не имеется. В частности для литой стали Р6М5 так же, как и для деформированной рекомендуется трехкратный отпуск при 560 °С.

Вместе с тем следует отметить, что наличие жесткой сетки эвтектических карбидов снижает склонность литой стали к перегреву и позволяет использовать для закалки более высокую температуру. Аналогичный вывод приводится и в работе [11], где ударная вязкость и износостойкость у литых сталей, оказываются стабильными в широком интервале температур нагрева под закалку.

Автор [3] предлагает увеличить время выдержки при нагреве под закалку вдвое на том основании, что в литой стали диффузионные процессы протекают медленнее. Также сообщается о благоприятном влиянии на ударную вязкость изотермической закалки с выдержкой при 570 °С. С другой стороны, по мнению [2], увеличение времени выдержки не приводит к повышению прочности литой стали. Тихонов И. Т., исследовавший термическую обработку литых быстрорежущих сталей, также не согласен с мнением о желательности увеличения времени выдержки при нагреве под закалку, так как это незначительно сказывается на характере изменений литой структуры.

ТЦО оказывает существенное влияние на структурное состояние карбидов. Из непрерывной сетки в результате ТЦО образуются изолированные карбиды округлой формы,

располагающиеся, как по границам аустенитных зерен, так и в пределах зерна [14].

Преобразование карбидов в литой стали может быть обусловлено сочетанием ряда воздействий, главными из которых являются: частичная фазовая перекристаллизация типа выделение–растворение карбидов в аустените, вследствие чередующихся нагреваний и охлаждений; деформационные явления в аустените и карбидах, связанные с различием коэффициентов линейного расширения аустенита и карбидов, их удельных объемов, модулей упругости и т. д.; рекристаллизационные явления в аустените и полигонизационные – в карбидах, обусловленные фазовым наклепом и высокой температурой ТЦО, обеспечивающее повышение дополнительного числа высоко- или малоугловых границ в аустените и карбидах; деление протяженных кристаллов, то есть появление новых межфазных границ за счет избытка свободной энергии границ зерен аустенита и карбидов, накопленной при предшествующих процессах (например, путем образования канавок на поверхности карбидной пластины в месте выхода на нее высокоугловой рекристаллизационной границы в аустените, либо малоугловой границы в карбиде); сфероидизация карбидных частиц, обусловленная стремлением к минимуму поверхностной энергии границ за счет массопереноса вещества по механизму поверхностной диффузии вдоль межфазных поверхностей каждой отдельной частицы; коагуляция карбидов за счет массопереноса вещества через аустенит между крупными и мелкими частицами с ростом наиболее крупных и растворением наиболее мелких карбидов [12, 13].

Необходимо отметить, что исследование воздействия ТЦО в основном проводилось применительно к деформированным сталям. В отношении литых быстрорежущих сталей вопрос освещен далеко не полностью. В связи с этим представляется целесообразным дальнейшее изучение возможностей использования ТЦО для улучшения структуры и свойств литых быстрорежущих сталей, поскольку именно в этом случае можно ожидать наибольших структурных изменений, позволяющих повысить некоторые важнейшие характеристики и, прежде всего, вязкость и пластичность.

#### Список литературы

1. Алексеев, Б. А. Технология производства литого инструмента на Уралмашзаводе [Текст] / Б. А. Алексеев // Литой и наплавленный инструмент. – М.: Машгиз, 1951. – С. 138–150.

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЛИТОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ

2. Гурьев, А. М. Разработка технологии изготовления и термической обработки литого штампового инструмента [Текст]: Дис. ... канд. техн. наук. – Минск, 1992. – 235 с.

3. Шумилин, А. Н. Спекание быстрорежущей стали из стружковых отходов [Текст] / А. Н. Шумилин // Теоретические закономерности и экспериментальные исследования металлургических процессов получения металлов из руд. – М.: 1986. – С. 46–50.

4. Кватер, И.С. Исследование сталей для литого инструмента [Текст] / И. С. Кватер // Литой и наплавленный инструмент. – М.: Машгиз, 1951. – С. 37–47.

5. Черкасов, В. Е. Исследование структуры и свойств быстрорежущих сталей и разработка оптимального состава для производства литого инструмента [Текст]: Дис. ... канд. техн. наук. – Тула, 1981. – 212 с.

6. Исследование свойств литых металлов и сплавов [Текст]: Сб. научн. трудов. – Томск, 1973. – 175 с.

7. Бельский, Е. И. Новое в изготовлении и упрочнении инструментальной оснастки [Текст] / Е. И. Бельский, С. С. Гурин, Е. И. Понкратин [и др.]. – Минск: Беларусь, 1986. – 112 с.

8. Габриелов, И. П. Применение стружковых отходов быстрорежущей стали для магнитоабразивной обработки [Текст] / И. П. Габриелов, К. Я. Скворчевский, В. Г. Рыбаков, Е. С. Туровская // Порошковая металлургия. – 1987. – № 4. – С. 100–104.

9. Эмингер, З. Литой и наплавленный инструмент [Текст] / З. Эмингер, В. Кошелев. – М.: Машгиз, 1962.

10. Геллер, Ю. А. Инструментальные стали [Текст] / Ю. А. Геллер. – М.: Металлургия, 1983. – 527 с.

11. Геллер, Ю. А. Влияние длительности и температуры отжига на свойства быстрорежущих сталей [Текст] / Ю. А. Геллер, К. В. Мельниченко // Сталь. – 1964. – № 12. – С. 1123–1126.

12. Тофпенец, Р. Л. Оптимизация режимов термоциклической обработки быстрорежущих сталей [Текст] / Р. Л. Тофпенец, С. Е. Бельский, И. И. Шилланский // Пути повышения эффективности использования инструментальных материалов: тез. докл. науч.-техн. конф., апрель 1989. – Минск: Высшая школа, 1989. – С. 35–37.

13. Баранов, А. А. Особенности фазовых и структурных превращений при ТЦО металлов [Текст] / А. А. Баранов // Закономерности формирования структуры сплавов эвтектического типа: II Всесоюзная науч. конф. – Днепропетровск. – 1982. – С. 5–6.

14. Лыгденов, Б. Д. Термоциклирование. Структура и свойства [Текст] / Б. Д. Лыгденов, Ю. П. Хареев, А. Д. Грешилов, А. М. Гурьев. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2014. – 252 с.

**Хареев Юрий Петрович**<sup>1</sup> – д.т.н., профессор  
**Лыгденов Бурьял Дондокович**<sup>1,2</sup> – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой  
**Г. Венбан**<sup>2</sup> – PhD, профессор  
**Си Юн**<sup>2</sup> – PhD, профессор

<sup>1</sup> ФГБОУ ВПО «Восточно-сибирский государственный университет технологий и управления» (ВСГУТУ), г. Улан-Удэ, Россия

<sup>2</sup> Уханьский текстильный университет, г. Ухань, Китай