

В.А.Луценко, Т.Н.Голубенко

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ХРОМОМОЛИБДЕНОВОЙ СТАЛИ ПОСЛЕ СМЯГЧАЮЩЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Целью работы является разработка режимов термической обработки сортового проката из легированной конструкционной хромомолибденовой стали, обеспечивающих снижение энергозатрат. Показано влияние температурно–временных параметров термической обработки на структурообразование и твердость хромомолибденовой стали. Установлено, что отжиг по сокращенному режиму (на 15–20%) с длительностью выдержки 3 часа при температурах 680–650<sup>0</sup>С гарантированно обеспечит требуемые качественные показатели проката и экономии энергоресурсов.

**хромомолибденовая сталь, термообработка, структурообразование, экономия энергоресурсов**

**Состояние вопроса.** Сортовой прокат из легированной конструкционной стали широко применяется в различных областях машиностроения. После прокатки и охлаждения на воздухе характерная структура легированной конструкционной стали (42Cr4Mo2) представляет собой бейнит, пластинчатый перлит и феррит [1,2]. Такая структура обладает повышенной твердостью и может привести к снижению обрабатываемости металла резанием или давлением. Поэтому основной целью термической обработки сортового проката из легированных конструкционных сталей является снижение твердости до предусмотренного нормативного значения. На металлургических заводах с этой целью сортовой прокат подвергают отжигу при подкритических температурах 650–700<sup>0</sup>С с длительной изотермической выдержкой (более 6,5 часов). Структура металла после отжига должна состоять из феррита и перлита пластинчатой и зернистой формы. Большая длительность такого режима термической обработки (34 часа) приводит к значительному расходу энергоресурсов.

**Постановка задачи.** Изучить влияние температурно–временных параметров термической обработки на структурообразование и твердость легированной конструкционной хромомолибденовой стали.

**Методика исследования.** Исходным материалом для исследований служили образцы размером 5x5x25 мм углеродистой легированной стали марки 42Cr4Mo2 (производства РУП «БМЗ»), следующего химического состава: 0,385%С; 1,058%Cr; 0,225%Mo; 0,231%Si; 0,717%Mn; ≤0,012%P; ≤0,023%S. Твердость образцов после горячей прокатки превышает максимально допустимое значение 250НВ [1,2], что не соответствует требованиям [3].

Термическая обработка образцов из хромомолибденовой стали проводилась в лабораторных условиях ИЧМ НАНУ с использованием

муфельной печи СНОЛ–2,5.4,2.5/13U по следующим режимам: нагрев до 550, 600, 650 и 680<sup>0</sup>С, с выдержкой при данных температурах от 1 до 6 часов, и последующим охлаждением на воздухе. После термической обработки исследовалась микроструктура с использованием микроскопа НЕОРНОТ–2, фотографирование микроструктуры выполнили с помощью цифровой фотокамеры Olympus FE–20. Замеры твердости образцов проводились в соответствии с ГОСТ 9012.

**Изложение основных материалов исследования.** На РУП «БМЗ» смягчающая термическая обработка проката из хромомолибденовой стали проводится в колодцах замедленного охлаждения (режим для группы "Б") и включает: нагрев до 680<sup>0</sup>С, выдержку при данной температуре в течение 6...6,5 часов, охлаждение до 300<sup>0</sup>С в печи, далее – на воздухе [3]. Максимальная скорость нагрева и охлаждения при отжиге составляет около 40<sup>0</sup>С/ч.

В нашей работе исследована возможность сокращения режима термической обработки хромомолибденовой стали посредством проведения отжига при пониженных температурах и сокращения длительности выдержки. В структуре металла после отжига при 550<sup>0</sup>С структурные превращения в сравнении с исходным состоянием прошли незначительно. Морфология цементита в перлите при максимальной выдержке (6 часов) изменяется всего на 10% (рис.1,а). Твердость образца меняется не существенно (рис.2), даже выдержка в 6 часов не может обеспечить выполнение нормативных требований.

При температуре 600<sup>0</sup>С и выдержке 1 час твердость стали снизилась на 13%. С повышением длительности выдержки увеличивается степень сфероидизации перлита, и при максимальной выдержке 6 часов его количество составляет 20% (рис.1,б), при этом твердость металла снижается на 17%, достигая граничных допустимых значений 211НВ.

После нагрева до 650<sup>0</sup>С в структуре металла превращения проходят в большей степени. При нагреве до 650<sup>0</sup>С и выдержке 1–2 часа значения твердости снижаются и находятся на верхнем пределе требований (212...220НВ). После термической обработки с выдержкой в течение 3 часов твердость стали, по сравнению с горячекатаным состоянием, снижается на 19%, при этом происходит значительная степень сфероидизации перлита (рис.1,в). Дальнейшее увеличение выдержки не приводит к значительным структурным изменениям (рис.1,г) и снижению твердости. Таким образом, выдержку при температуре 650<sup>0</sup>С можно проводить в течение 3 часов, при этом сфероидизации перлита (до 25%) достаточно для обеспечения необходимых требований по твердости стали.

В структуре перлитного участка после отжига при 680<sup>0</sup>С заметно изменение морфологии цементита (рис.1, д,е) в результате прохождения структурных превращений, что сопровождается соответствующим падением твердости (рис.2). Твердость стали снижается значительно уже

при выдержке 1 час и достигает минимальных значений после выдержки 3 часов и более.

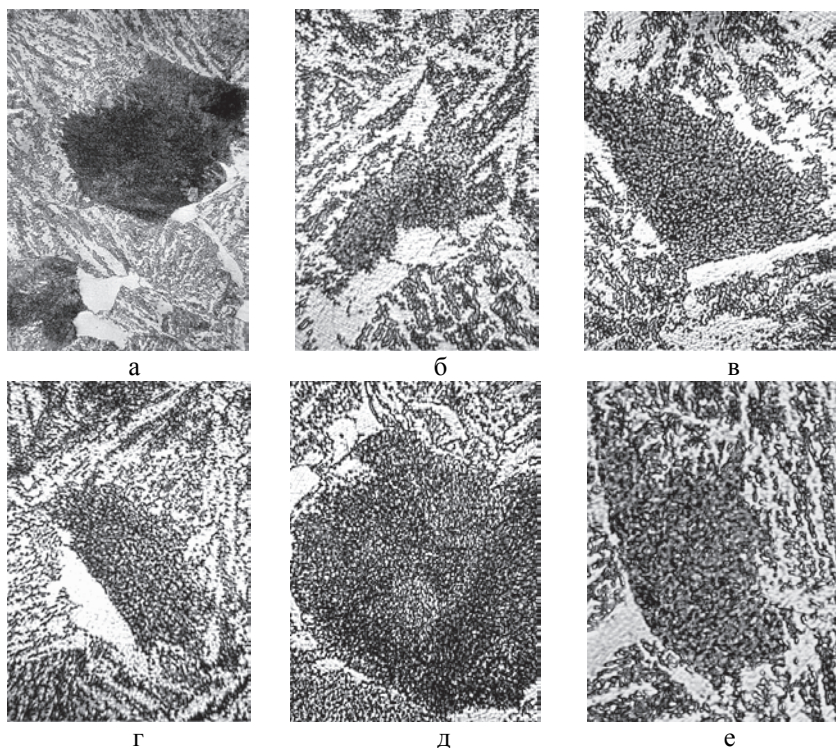


Рис.1. Микроструктура (x800) стали 42Cr4Mo2 после термической обработки: нагрев до температуры 550 (а), 600 (б), 650 (в,г) и 680<sup>0</sup>С (д,е) с различной изотермической выдержкой (час): а, б, г – 6; в, е – 3; д – 1

На основании полученных результатов после различных термических обработок следует отметить, что отжиг в течение 6 часов при 600<sup>0</sup>С оказывает такое же влияние, что и отжиг в течение 3 часов при 650<sup>0</sup>С и 2 часов при 680<sup>0</sup>С. Однако такая продолжительная изотермическая выдержка при 600<sup>0</sup>С хоть и обеспечивает необходимые значения твердости, но экономически нецелесообразна.

Таким образом, сортовой прокат из стали 42Cr4Mo2 можно перевести с термообработки по режиму для группы "Б" (680<sup>0</sup>С, 6 часов) на режим с нагревом до 680–650<sup>0</sup>С и выдержкой 3 часа, что обеспечит требуемые качественные характеристики стали.

Термическая обработка хромомолибденовой стали по рекомендуемому режиму позволит при обеспечении требуемых

качественных показателей, сократить продолжительность обработки на 15–20%, что приведет к экономии энергоресурсов.

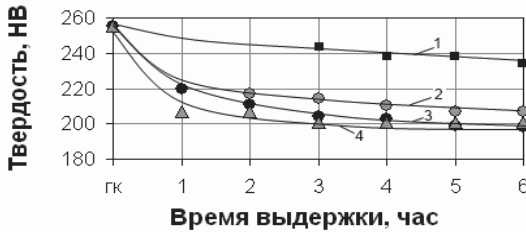


Рис.2. Влияние длительности изотермической выдержки при температуре 550 (1), 600 (2), 650 (3) и 680<sup>0</sup>С (4) на значения твердости стали 42Cr4Mo2 (гк–горячекатаное состояние)

**Заключение.** Исследованиями влияния температурно–временных параметров термической обработки на изменение структуры и свойств стали 42Cr4Mo2 показано, что в структуре металла после отжига при 650<sup>0</sup>С частично изменяется морфология цементита, а структура металла после отжига при 550–600<sup>0</sup>С претерпевает изменения в значительно меньшей степени. При температуре 600<sup>0</sup>С качественные показатели стали обеспечиваются повышением времени изотермической выдержки до 6 часов. Установлено, что выдержка в течение 3 часов при температуре 650<sup>0</sup>С обеспечивает необходимые качественные показатели металла (твердость стали по сравнению с горячекатаной снижается на 19%). Рекомендуется проводить отжиг проката из хромомолибденовой стали по сокращенному режиму с выдержкой не менее 3 часа при температурах 680–650<sup>0</sup>С, что обеспечит необходимые качественные показатели проката и экономию энергоресурсов (сокращение продолжительности термической обработки на 15–20%).

1. *Особенности* формирования качественных характеристик в горячекатаном крупносортовом прокате из хромомолибденовой электростали / В.А.Луценко, Т.Н.Панфилова, А.И.Сивак, О.В.Луценко // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* – 2008. – Вып. 17. – С. 245–250.
2. *Влияние* технологии производства на качественные характеристики горячекатаного крупносортового проката из хромомолибденовой электростали / В.А.Луценко, В.А.Маточкин, Т.Н.Панфилова, В.И.Щербаков// *Бюл. Черная металлургия.* – 2009. – № 4. – С.57–59.
3. *Спецификация* ТАТА SS:4027. Горячекатаные прутки и заготовки из ковкой нелегированной углеродистой и легированной конструкционной стали для автомобильных деталей.

*В.А.Луценко, Т.М.Голубенко*

**Структура та властивості хромомолібденової сталі після пом'якшуючої термічної обробки**

Метою роботи є розроблення режимів термічної обробки сортового прокату з легованої конструкційної хромомолібденової сталі, що забезпечують зниження енерговитрат. Показано вплив температурно-часових параметрів термічної обробки на структуроутворення та твердість хромомолібденової сталі. Встановлено, що відпал за скороченим режимом (на 15–20%) з тривалістю витримки 3 години при температурах 680–650<sup>0</sup>С гарантовано забезпечить потрібні якісні показники прокату та економію енергоресурсів.