УДК 669.15*26*28-194:621.771:621.785

В.А.Луценко, Т.Н.Голубенко, А.И.Сивак

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ РЕЖИМ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПРОКАТА ИЗ ХРОМОМОЛИБДЕНОВОЙ СТАЛИ

Институт черной металлургии НАН Украины

Показано влияние скорости охлаждения и температурно-временных параметров термической обработки на структурообразование и твердость хромомолибденовой стали. Установлено, что комбинированная термическая обработка с охлаждением после прокатки со скоростью 0,6–0,8^{0}С/с и отжигом по сокращенному режиму при температурах 650–680^{0}С гарантированно обеспечит требуемые качественные показатели проката и экономию энергоресурсов.

Ключевые слова: хромомолибденовая сталь, скорость охлаждения, термообработка, время, структура, твердость

Состояние вопроса. Сортовой прокат из легированной конструкционной стали широко применяется в различных областях машиностроения. После прокатки и охлаждения на воздухе характерная структура легированной конструкционной хромомолибденовой стали представляет собой бейнит, пластинчатый перлит и феррит [1, 2]. Такая структура обладает повышенной твердостью и может привести к снижению обрабатываемости металла резанием. 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 (~700^{0}С) с длительной изотермической выдержкой [2]. Большая продолжительность такого режима термической обработки (~35 часов) приводит к значительному расходу энергоресурсов. В этой связи для возможности снижения энергозатрат актуальным является изучение влияния скоростных и температурно-временных параметров комбинированной термической обработки на структурообразование и твердость хромомолибденовой стали на качественные показатели проката.

Целью работы является корректировка режимов комбинированной термической обработки сортового проката из легированной конструкционной хромомолибденовой стали, обеспечивающих снижение энергозатрат.

Методика исследования. Исходным материалом для исследований служили образцы размером 5х5х25 мм, поперечно вырезанные из круглого проката диам.140 мм (производства ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК») непрерывнолитой вакуумированной хромомолибденовой стали марки 42Cr4Mo2 [3] следующего химического состава: 0,385%C; 1,058%Cr; 0,225%Mo; 0,231%Si; 0,717%Mn; ≤0,012%P; ≤0,023%S. Твердость образцов после горячей прокатки 255–280 НВ пре-

вышает максимально допустимое значение ≤250 НВ [1-3]. 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^{0}С с выдержкой при данных температурах от 1 до 6 часов и последующим охлаждением на воздухе. После термической обработки исследование структуры проводили с использованием оптического микроскопа «Neophot-2» и растрового электронного микроскопа РЭМ-106 И. Замеры твердости образцов производились в соответствии с ГОСТ 9012.

Изложение основных материалов исследования. На ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» смягчающая термическая обработка проката из хромомолибденовой стали проводится в колодцах замедленного охлаждения и включает нагрев до 680^{0}С, выдержку при данной температуре в течение 6,5 часов, охлаждение до 300^{0}С в печи, далее – на воздухе. Проведенными исследованиями установлено, что в хромомолибденовой стали при охлаждении после прокатки со среднемассовой скоростью 0,4–0,5^{0}С/с образуется феррит, тонкопластинчатый перлит (10–15%), а также бейнит (до 65%), имеющий вид пакетов длинных и коротких игл [1]. Повышение скорости охлаждения до 0,6–0,8^{0}С/с приводит к увеличению доли бейнитной составляющей до 75% и снижению количества перлита до 5–10% (рис.1).

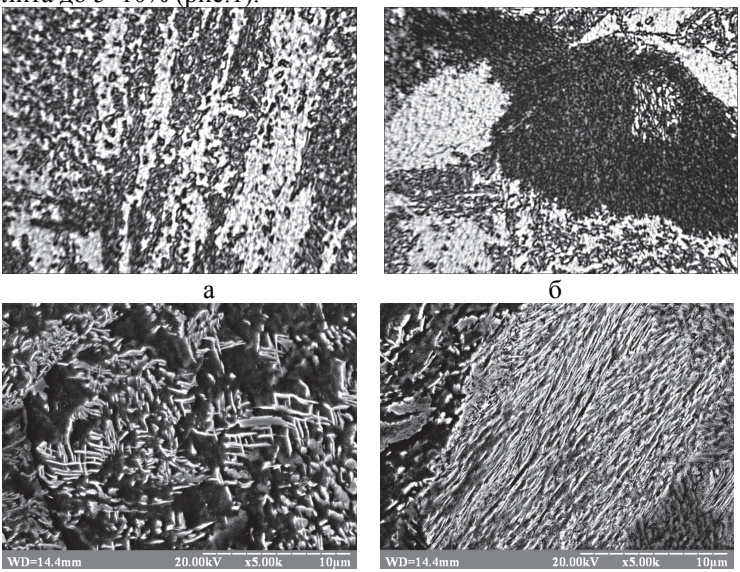


Рис. 1. Характерная микроструктура (а,б – ×2000, в,г – ×5000) хромомолибденового проката, охлажденного со скоростью 0,6-0,8^{0}С/с

Максимальные значения твердости после охлаждения со скоростью 0,4–0,5^{0}С/с составили 265 НВ, а при 0,6–0,8^{0}С/с – 275 НВ. Для обеспече-

ния требуемых сдаточных характеристик по твердости металла необходимо проведение смягчающей термической обработки, конечной целью которой является улучшение обрабатываемости металла на последующих переделах.

Микроструктурными и дюрометрическими исследованиями выявлено, что бейнитные участки имеют большее расстояние между карбидами в ферритной матрице (рис.1, а,в) по сравнению с перлитом (рис.1, б,г), поэтому значения микротвердости в них ниже [2].

Получение низкой твердости хромомолибденовой стали возможно проведением медленного охлаждения после прокатки со скоростью 0,03-0,07^{0}С/с и обеспечением феррито-перлитной структуры [4]. Однако в легированных сталях (особенно карбидообразующими элементами) такие низкие скорости охлаждения приведут к появлению нежелательного дефекта – полосчатости (строчечности) структуры [5]. Резко выраженные строчечные структуры служат основной причиной разрывов и брака при штамповке деталей. Поэтому наличие такого дефекта в конструкционном прокате недопустимо.

Чрезмерное повышение скорости охлаждения (с целью получения большего количества метастабильных структур [4]) может привести к короблению и образованию трещин, являющихся следствием возникновения в прокате больших внутренних напряжений, связанных с изменением их объема при термической обработке [6]. Поэтому нагрев и охлаждение легированных сталей, во избежание образования трещин и коробления, необходимо осуществлять очень медленно. Незначительное повышение скорости охлаждения с 0,4–0,5^{0}С/с до 0,6–0,8^{0}С/с не приводит к появлению нежелательного коробления проката.

Известно, что все процессы при отжиге связаны с диффузией. Поскольку коэффициент диффузии с повышением температуры быстро возрастает, структурные изменения идут тем быстрее, чем выше температура обработки [7]. Поэтому проведение смягчающей термической обработки хромомолибденовой стали при низкотемпературном режиме с нагревом до 550–600^{0}С в производственных условиях не рекомендовано, так как незначительное снижение твердости [8, 9] не может гарантировать стабильного выполнения требований по этому показателю на готовом прокате (рис.2).

При отжиге структур перлитного типа в интервале от 600^{0}С до Ac_1 изменяется степень дисперсности цементита [7]. При термической обработке структур промежуточного типа в основном происходит коагуляция цементита, а также увеличение содержания легирующих элементов в карбиде цементитного типа [7].

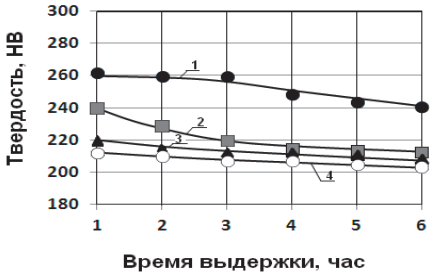
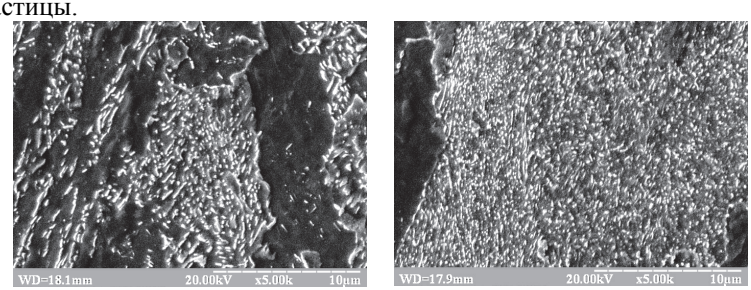


Рис. 2. Влияние на максимальные значения твердости хромомолибденовой стали продолжительности изотермической выдержки при температурах, ^{0}С: 550 (1), 600 (2), 650 (3), 680 (4)

При достаточно большой выдержке в интервале температур немного ниже Ac_1 все структуры (пластинчатый перлит, бейнит) изменяют свою морфологию с пластинчатой на глобулярную (рис.3). При этих температурах подвижность атомов углерода и железа высока, поэтому в бейните (рис.3, а) и перлите (рис.3, б) будут образовываться сфероидизированные частицы.



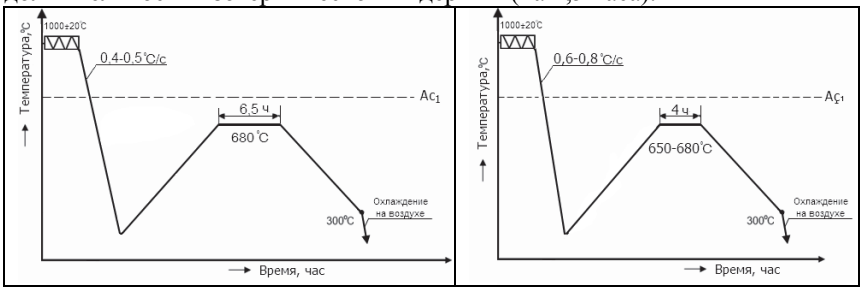
а б

Рис. 3. Микроструктура (×5000) хромомолибденовой стали после отжига при температуре 650-680°С с изотермической выдержкой 4 часа

Наиболее приемлемые значения твердости получены после выдержки при 650–680^{0}С в течение 3–4 часов (рис.2). Однако при выдержке в 3 часа, учитывая разность в размерах исследованных образцов и реального проката, можно не достичь равномерного прогрева по всему сечению проката, поэтому для обеспечения равномерных требуемых значений твердости выдержку при термической обработке необходимо проводить в течение 4 часов. Твердость стали, по сравнению с горячекатаным состоянием, снижается на 20–23% (до 207 НВ) [8].

На основании полученных данных комбинированную термическую обработку проката круглого сечения из хромомолибденовой стали (рис.4, а) предложено проводить по режимам (рис.4, б): охлаждение после горячей деформации со скоростью 0,6–0,8^{0}С/с, нагрев до 650–680^{0}С с изотермической выдержкой 4 часа, охлаждение с печью до 300^{0}С, далее на воздухе.

Рекомендуемые режимы комбинированной термической обработки не только обеспечат необходимые качественные показатели хромомолибденовой стали, но также сократят риск коробления проката при обеспечении значительной экономии энергоресурсов за счет сокращения на 38,5% продолжительности изотермической выдержки (на 2,5 часа).



а б

Рис. 4. Существующий (а) и усовершенствованный (б) режим комбинированной термической обработки проката из хромомолибденовой стали

Заключение. Микротвердость отпущенного бейнита из-за меньшей концентрации карбидов в ферритной матрице имеет меньшие значения, чем в сфероидизированных перлитных участках. Поэтому в исходном, охлажденном со скоростью 0,6–0,8^{0}С/с, прокате (в сравнении с 0,4–0,5^{0}С/с) образование повышенной доли метастабильных (бейнитных) структур до 75% (вместо 65%) и снижение доли перлита до 5–10% (вместо 15–20%) обусловливает при отжиге общее снижение твердости хромомолибденовой стали, что позволяет снизить на 38,5% время изотермической выдержки при 650–680^{0}С до 4 часов (вместо 6,5 часов). Для сортового проката круглого сечения из хромомолибденовой стали предложена новая научно обоснованная технология комбинированной термической обработки: охлаждение после горячей деформации со скоростью 0,6–0,8^{0}С/с, нагрев до 650–680^{0}С с изотермической выдержкой 4 часа, охлаждение в печи до 300^{0}С, далее на воздухе. Усовершенствованный режим при экономии энергоресурсов не только обеспечит необходимые качественные показатели стали, но также снизит риск коробления проката.

1. *Влияние* технологии производства на качественные характеристики горячекатаного крупносортного проката из хромомолибденовой электростали / В. А. Луценко, В. А. Маточкин, Т. Н. Панфилова, В. И. Щербаков// Бюл. Черная металлургия. – 2009. – № 4. – С.57-59.
2. *Особенности* формирования качественных характеристик в горячекатаном крупносортном 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.

3. *Спецификация* TATA SS:4027. Горячекатаные прутки и заготовки из ковкой нелегированной углеродистой и легированной конструкционной стали для автомобильных деталей.
4. *Исследование* кинетики фазовых превращений в электростали 42Cr4Mo2 / В. А. Луценко, М. Ф. Евсюков, Т. Н. Панфилова, А. И. Сивак // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – 2009. – Вып. 20. – С. 232-237.
5. *Металловедение* и термическая обработка металлов / Болховитинов Н. Ф. – [изд. 6-е] – М.: Машгиз. – 1965. – 505 с.
6. *Технология* термической и комбинированной обработки металлопродукции: [учебник для вузов] / Большаков В. И., Долженков И. Е, Долженков В. И. – Днепропетровск: Gaudeamus. – 2002. – 390 с.
7. *Специальные* стали. / Гудремон Э.; перев. с нем. под. ред. А. С. Займовского, М. Л. Бернштейна, В. С. Меськина: [в 2 т.] – [изд. 2-е] – М.: Металлургия. – 1966. – 1274 с.
8. *Структура* и свойства хромомолибденовой стали после смягчающей термической обработки / В. А. Луценко, Т. Н. Голубенко // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – 2011. – Вып. 24. – С. 199-203.
9. *Изменение* структурного состояния горячекатанного сортового проката из хромомолибденовой стали при отжиге / В. А. Луценко, П. А. Бобков, Т. Н. Голубенко, В. В. Гордиенко, В. И. Грицаенко // Черные металлы. – 2013. – №1. – С. 13-17.

Статья рекомендована к печати
докт.техн.наук, проф. В.В.Парусовым

В.А.Луценко, Т.М.Голубенко, Г.І.Сівак

Удосконалений режим комбінованої термічної обробки прокату з хромомолібденової сталі

Метою роботи є коригування режимів комбінованої термічної обробки сортового прокату з легованої конструкційної хромомолібденової сталі, що забезпечують зниження енерговитрат. Показано вплив швидкості охолодження і температурно-часових параметрів термічної обробки на структуроутворення і твердість хромомолібденової сталі. Встановлено, що комбінована термічна обробка з охолодженням після прокатки зі швидкістю 0,6-0,8°С/с і відпалом за скороченим режимом при температурах 650-680ºС гарантовано забезпечить необхідні якісні показники прокату і економію енергоресурсів.

V.A.Lutsenko, T.N.Golubenko, A.I.Sivak

The improved of the mode of the combined heat treatment of rolled of chrome-molybdenum steel

The purpose of the work is the correction of modes of combined heat treatment of rolled bar from the alloyed constructional chrome-molybdenum steel, providing decrease consumption energy. It is shown the influence of speed of cooling and temperature and time parameters of heat treatment on forming of structure and hardness of chrome-molybdenum steel. It is established that the combined heat treatment with cooling after rolling with at a speed of 0,6-0,8°C/sec and annealing at reduced mode at temperatures 650-680ºC guaranteed to ensure the demanded quality indicators of hire and economy of energy resources.