



УДК 621.771:621.785:669.15*26*28-194

Поступила 30.06.2014

В. А. ЛУЦЕНКО, Т. Н. ГОЛУБЕНКО, О. В. ЛУЦЕНКО, ИЧМ им. З. И. Некрасова НАН Украины,
П. А. БОБКОВ, Л. А. ДРОБИШЕВСКИЙ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ХРОМОМОЛИБДЕНОВОГО ПРОКАТА В УСЛОВИЯХ ОАО «БМЗ – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК»

Показано, что после термомеханической обработки хромомолибденового проката, включающей охлаждение со скоростью $0,6-0,8^\circ\text{C}/\text{с}$, в структуре повышается количество бейнита до 75% и снижается количество пластинчатого перлита до 5–10%, что способствует сокращению режима последующей смягчающей обработки. Установлено, что при охлаждении с приведенной скоростью превращения в хромомолибденовой стали завершаются при температурах $350-370^\circ\text{C}$. Предложенная технология сокращенного режима термомеханической обработки обеспечивает необходимое качество проката и способствует снижению расхода энергоресурсов.

It is shown that after thermo-mechanical processing of chrome-molybdenic rolled metal including cooling with a speed of $0,6-0,8^\circ\text{C}/\text{sec}$, the quantity of bainite increases to 75% and the amount of lamellar pearlite decreases to 5-10% in structure that promotes reduction of the mode of subsequent softening processing. It is established that at cooling with a specified speed the transformations in chrome-molybdenic steel come to an end at temperatures of $350-370^\circ\text{C}$. The offered technology of the reduced mode of thermomechanical processing provides necessary quality of rolled metal and promotes decrease of energy resources consumption.

В настоящее время в металлургическом производстве необходимо создание технологических процессов, направленных на снижение энергозатрат с обеспечением требуемых качественных характеристик изготавливаемой металлопродукции.

Легированный сортовой прокат должен иметь достаточно низкие значения твердости для облегчения последующей механической обработки. Поэтому прокат из легированных конструкционных сталей группы «Б» на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» (ОАО «БМЗ – УКХ БМК») подвергается отжигу при подкритической температуре с длительной изотермической выдержкой и последующим медленным охлаждением в печи. Проведение такого режима термической обработки достаточно энергоемко, так как его общая продолжительность составляет 33,5 ч (рис. 1).

Проведенные исследования хромомолибденового проката (диаметром 140 мм) производства ОАО «БМЗ-УКХ БМК» (0,39 % С, 0,26 % Si, 0,75% Mn, 1,08 % Cr, 0,25 % Mo, 0,0013 % P, 0,023 % S), охлажденного после прокатки со скоростью $0,6-0,8^\circ\text{C}/\text{с}$, показали, что максимальные значения твердости проката составляют 265–275 НВ при требованиях ≤ 250 НВ.

Поверхность проката, охлажденная с большей скоростью, имеет участки с феррито-бейнитной

структурой (рис. 2, а, б). По мере снижения скорости охлаждения внутренних слоев проката по направлению к центру в структуре увеличивается количество перлита (рис. 2, в).

При детальном анализе микроучастков с бейнитной структурой (рис. 2, г, рис. 3, а–г) подтверждается наличие широких пластин α -фазы, тонких приграничных выделений цементита, в основном прерывистых, а также его внутрипластиночных выделений в виде очень дисперсных микрочастиц. В отдельных пластинах α -фазы эти выделения располагаются под определенными углами к продольной оси пластин (рис. 3, в). Такое расположение внутрипластиночных выделений цементита

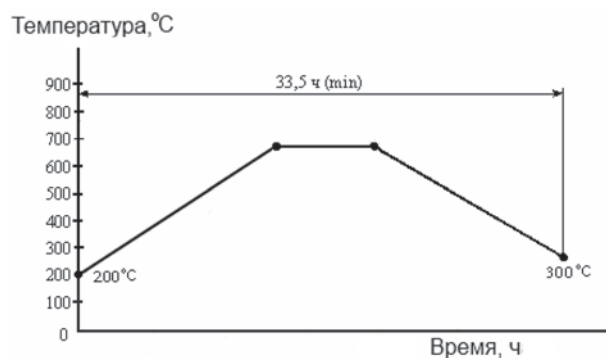


Рис. 1. Базовый режим термической обработки проката группы «Б» на стане 850 ОАО «БМЗ – УКХ БМК»

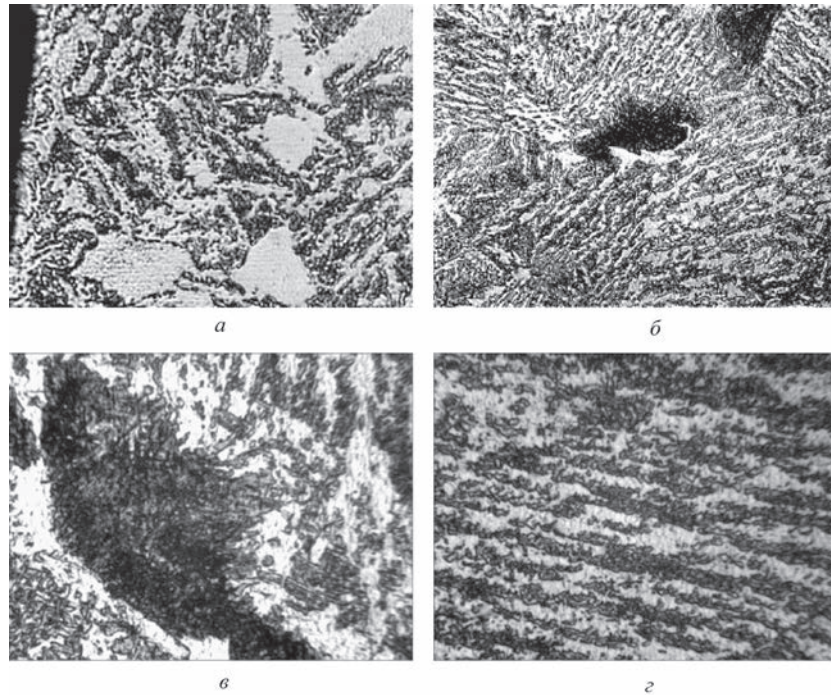


Рис. 2. Характерная микроструктура поверхности (а) и центра (б–г) хромомолибденового проката, охлажденного со скоростью 0,6–0,8 °С/с (световая микроскопия). а, б – $\times 500$; в, г – $\times 2000$

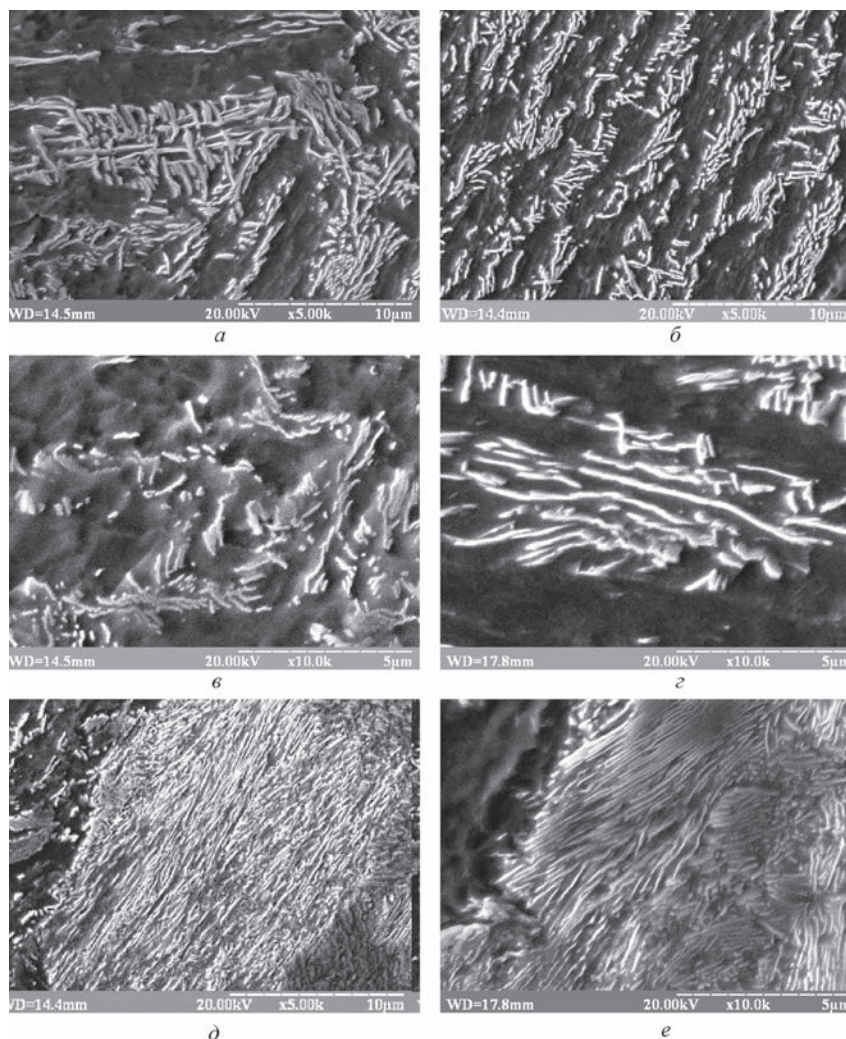


Рис. 3. Характерная микроструктура хромомолибденового проката, охлажденного со скоростью 0,6–0,8 °С/с (РЭМ). а, б, д – $\times 5000$; в, г, е – $\times 10000$

характерно для нижнего бейнита [1]. Наличие цементита в виде сплошных или прерывистых выделений по границам пластин α -фазы (рис. 3, з) является типичным для верхнего бейнита [1]. В нашем случае пластины нижнего и верхнего бейнита фактически соседствуют друг с другом, поэтому строгое разделение бейнита по типам на «верхний» и «нижний» произвести невозможно.

Высокая дисперсность перлитных участков (рис. 3, д, е) приводит к тому, что под световым микроскопом пластины феррита и цементита не различимы даже при больших увеличениях (см. рис. 2, в).

Известно [2], что в стали с молибденом начало превращения несколько сдвинуто в интервал более длительных выдержек и для этих сталей характерна высокая скорость превращения в промежуточной области.

Ранее проведенными исследованиями [3] показано, что значения твердости по сечению проката увеличиваются от половины радиуса к центру, чему способствует большее количество тонкопластинчатого перлита.

Известно, что чем больше дисперсность перлита, тем выше его твердость. Размер перлитных колоний зависит от соотношения линейных скоростей роста и скорости зарождения центров перлита [4]. Дисперсность перлитных колоний определяют два процесса: рост зерна аустенита и повышение степени его гомогенизации. При этом уменьшается число центров зарождения перлитных колоний и происходит укрупнение перлитных колоний [4]. Одновременно уменьшается межпластиночное расстояние, так как гомогенное и крупное зерно аустенита способно к большему переохлаждению [4].

Изучение кинетики распада аустенита хромомолибденовой стали [5] показало, что при повышении скорости охлаждения в прокате после горячей деформации сокращается количество перлита и повышается количество бейнита. Известно [6], что в метастабильной бейнитной структуре превращения проходят быстрее, и после нагрева и выдержки при подкритических температурах она имеет более низкие значения микротвердости, чем перлит. Это обуславливает общее снижение твердости стали. Использование термомеханической обработки, включающей после нагрева и горячей деформации охлаждение со скоростью $0,6\text{--}0,8^\circ\text{C}/\text{с}$, обеспечивает в структуре проката долевое соотношение: бейнит $\sim 75\%$, перлит $5\text{--}10\%$, остальное – феррит. Благодаря повышенному количеству бейнита при последующем отжиге проката при подкритических температурах с изотермической выдержкой в течение 4 ч сфероидизируется значительное количество карбидов, что обеспечивает снижение твердости до $207\text{--}220\text{HB}$ [7].

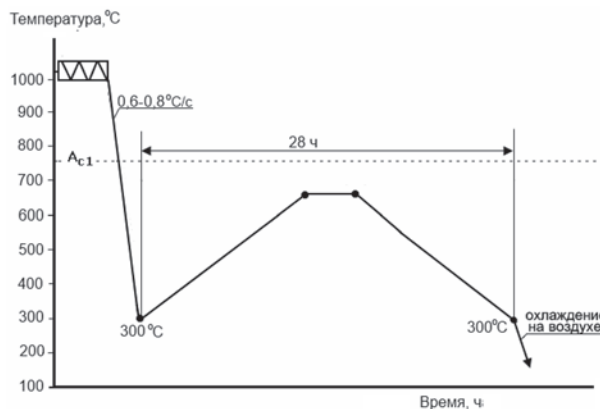


Рис. 4. Новый режим термической обработки проката из хромомолибденовой стали

При проведении термомеханической обработки следует стремиться использовать остаточную теплоту предобработок. Использование остаточной теплоты сокращает длительность нагрева, экономит энергию и топливо, способствует выравниванию скоростей нагрева поверхности и центра заготовки, а также равномерности протекания превращений [8]. Согласно термокинетической диаграмме [5], при охлаждении со скоростью $0,6\text{--}0,8^\circ\text{C}/\text{с}$ до температуры порядка $350\text{--}370^\circ\text{C}$ превращения в хромомолибденовой стали будут завершены. Поэтому для совершенствования режима термомеханической обработки проката с целью использования тепла прокатного нагрева рекомендовано охлаждение после горячей деформации проводить до температуры 300°C (вместо 200°C), что позволит сократить продолжительность нагрева под отжиг.

Таким образом, для проката из конструкционной хромомолибденовой стали рекомендован новый режим смягчающей термической обработки в колодцах замедленного охлаждения ОАО «БМЗ–УКХ БМК» по режиму (рис. 4): в процессе термомеханической обработки после прокатки и охлаждения со скоростью $0,6\text{--}0,8^\circ\text{C}/\text{с}$ до 300°C нагрев производят до подкритических температур с сокращением на 2,5 ч продолжительности изотермической выдержки с последующим охлаждением с печью. Общая продолжительность обработки составит 28 часов.

Усовершенствованный режим обеспечивает необходимые качественные показатели хромомолибденового проката и позволяет снизить продолжительность обработки, повысить производительность колодцев замедленного охлаждения с экономией природного газа и электроэнергии [7].

Выводы

1. Установлено, что при термомеханической обработке хромомолибденового проката, включающей после нагрева и горячей деформации охлаждение со скоростью $0,6\text{--}0,8^\circ\text{C}/\text{с}$, в структуре увеличива-

ется доля бейнита до 75%, а перлита снижается до 5–10%.

2. Учитывая, что при охлаждении со скоростью 0,6–0,8 °C/с до температуры порядка 350–370 °C превращения в хромомолибденовой стали завершены, с целью использования тепла прокатного нагрева рекомендовано охлаждение после горячей деформации проводить до температуры 300 °C.

3. Для хромомолибденового проката внедрена новая технология обработки: после нагрева, горя-

чей прокатки и охлаждения до температуры 300 °C (вместо 200 °C) производят нагрев в колодцах до подкритических температур (с сокращением на 2,5 ч продолжительности изотермической выдержки) и дальнейшее замедленное охлаждение с печью. Общая продолжительность режима смягчающей термической обработки составляет 28 ч (вместо 33,5 ч), что позволило повысить производительность термического оборудования, снизить расход природного газа и электроэнергии.

Литература

1. Курдюмов Г. В. Превращения в железе и стали / Г. В. Курдюмов, Л. М. Утевский, Р. И. Энтин. М.: Наука, 1977.
2. Гудремон Э. Специальные стали / Э. Гудремон / Пер. с нем.; под ред. А. С. Займовского, М. Л. Бернштейна, В. С. Меськина, изд. 2-е. М.: Металлургия, 1966.
3. Особенности формирования структуры и свойств в прокате из стали 42Cr4Mo2 / В. А. Луценко, Т. Н. Панфилова, В. И. Щербаков, П. К. Грибовский // Литье и металлургия. 2008. № 3. Спец. выпуск С. 299–302.
4. Лившиц Л. С. Металловедение и термическая обработка сварных соединений / Л. С. Лившиц, А. Н. Хакимов. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1989.
5. Особенности структурообразования в хромомолибденовой стали при непрерывном охлаждении / В. А. Луценко, Н. И. Анелькин, Т. Н. Панфилова, Л. А. Дробышевский // Литье и металлургия. 2009. № 3. Спец. выпуск С. 272–274.
6. Изменение морфологии структуры углеродистой хромомолибденовой стали под влиянием термической обработки / В. А. Луценко, Н. И. Анелькин, Т. Н. Голубенко и др. // Литье и металлургия. 2010. № 3. Спец. выпуск. С. 183–185.
7. Совершенствование режима термической обработки сортового легированного проката на стане 850 ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» / В. А. Луценко, Т. Н. Голубенко, П. А. Бобков и др. // Литье и металлургия. 2014. № 2. С. 71–73.
8. Технология термической обработки стали / Пер. с нем. Б. Е. Левина; под ред. М. Л. Бернштейна. М.: Металлургия, 1981.