

Т.Н.Голубенко, В.А.Луценко

### ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ В ГОРЯЧЕКАТАНОМ ПРОКАТЕ ИЗ СТАЛИ, ЛЕГИРОВАННОЙ ХРОМОМ, МОЛИБДЕНОМ И ВАНАДИЕМ

Исследованы особенности структурообразования и изменения твердости по сечению горячекатаного проката из непрерывнолитой легированной стали 42Cr4Mo2 и 31CrMoV9. Показано, что легирование хромомолибденовой стали ванадием приводит к смещению области перлитного превращения и выделению мелкодисперсных карбидов, поэтому при охлаждении на воздухе структура стали 31CrMoV9 состоит из бейнита, имеющего зернистую морфологию, и феррита.

**непрерывнолитая легированная сталь, горячекатаный прокат, структурообразование, структура, перлитное превращение, бейнит, феррит**

**Состояние вопроса.** К качественным характеристикам металлоизделий, предназначенных для изготовления ответственных деталей автомобилей, предъявляются особые требования по химическому составу и механическим свойствам. Холодная штамповка при изготовлении автомобильных деталей требует хорошей обрабатываемости металла, которая зависит от механических свойств и структуры. Поэтому сортовой прокат из легированных конструкционных сталей перед механической обработкой подвергается смягчающей термической обработке.

**Методика исследования.** Для определения возможности реализации энергосберегающей технологии с обеспечением требуемых качественных характеристик в сортовом прокате из среднеуглеродистой стали, легированной хромом, молибденом и ванадием, необходимо исследование особенностей структурообразования при охлаждении.

Исходным материалом для исследований служили образцы, вырезанные по сечению горячекатаного (не подвергнутого термообработке) проката диаметром 140мм из непрерывнолитой вакуумированной стали марки 42Cr4Mo2 и 31CrMoV9. Химический состав исследуемых образцов приведен в табл.1. По сечению проката исследовали микроструктуру (с помощью светового микроскопа «Неофот–2») и твердость (ГОСТ 9012).

Таблица 1. Химический состав исследуемой стали

Марка стали	Содержание химических элементов, %							
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	P	S
42Cr4Mo2	0,391	0,257	0,748	1,083	0,248	–	0,013	0,023
31CrMoV9	0,325	0,269	0,620	2,582	0,205	0,166	0,012	0,029

**Изложение основных материалов исследования.** Исходная структура исследованных горячекатаных сталей представлена на рис.1 и состоит в основном из бейнита а также небольшого количества феррита (31CrMoV9) или феррита и перлита (42Cr4Mo2).

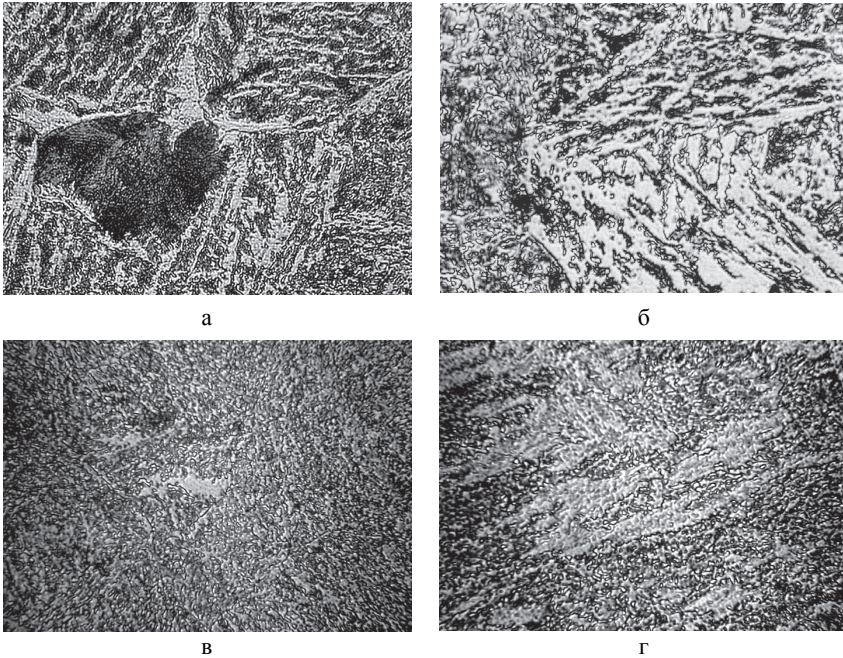


Рис.1. Микроструктура (x500) поверхности (а, в) и центра (б, г) горячекатаного проката стали марки 42Cr4Mo2 (а, б) и 31CrMoV9 (в, г)

Структура стали 31CrMoV9 имеет наиболее зернистую морфологию по сравнению со сталью 42Cr4Mo2. Среднее значение твердости (рис.2) горячекатаного проката составляет 255НВ (42Cr4Mo2) и 363НВ (31CrMoV9), что не удовлетворяет нормируемым значениям.

Известно, что ванадий способствует более тонкому распределению карбидов в стали, поэтому хромомолибденовая сталь, содержащая ванадий, имеет зернистое строение и повышенную твердость.

Для определения наиболее рациональных режимов термической обработки необходимы знания об особенностях распада аустенита исследуемых сталей, которые можно получить на основании анализа термокинетических диаграмм (рис.3) [1–3].

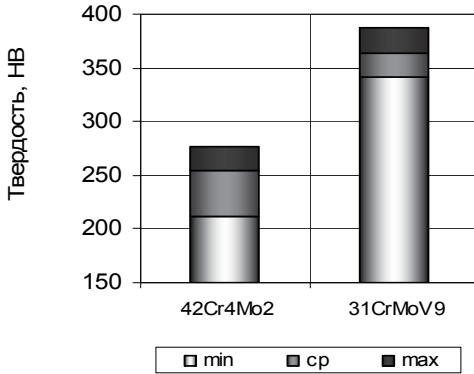


Рис. 2. Минимальное (min), среднее (cp) и максимальное (max) значения твердости горячекатаного проката стали марки 42Cr4Mo2 и 31CrMoV9

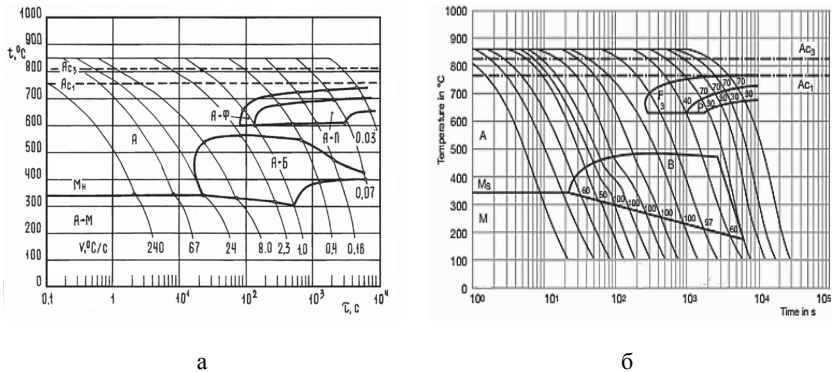


Рис.3. Термокинетическая диаграмма превращения аустенита стали 42Cr4Mo2 (а) [1,2] и 31CrMoV9 (б) [3]

Карбидообразующие элементы хром и молибден в среднеуглеродистой стали способствуют замедлению распада аустенита вследствие малой скорости их диффузии. Хром имеет большое сродство к углероду, поэтому он затрудняет процесс диффузионного обмена атомами местами, необходимый для выделения углерода в форме карбида, и сдвигает линии диаграммы вправо, снижая критическую скорость охлаждения. Молибден затрудняет в основном самодиффузию железа, благодаря чему повышается температура рекристаллизации феррита и замедляется диффузионное образование феррита и перлита [4]. Замедленное протекание превращения в перлитной области по сравнению с промежуточной способствует тому, что в сталях 42Cr4Mo2 и 31CrMoV9 при охлаждении на воздухе образуется значительное количество промежуточной структуры. В бейнитной области образование феррита проходит сдвиговым путем, поэтому торможение диффузии атомов основы не играет существенной роли. В резуль-

тате промежуточная область смещается относительно перлитной и отделяется областью высокой устойчивости аустенита в интервале температур 550-600<sup>0</sup>С для стали 42Cr4Mo2 (рис.3.а) и 480-630<sup>0</sup>С для 31CrMoV9 (рис.3.б).

Ванадий более резко ограничивает  $\gamma$ -область, обладая большим карбидообразующим действием. При небольшом содержании ванадия превращение в перлитной области замедляется, линии на диаграмме смещаются в сторону меньших скоростей охлаждения [4]. Результатом такого смещения является отсутствие при охлаждении на воздухе перлитной структуры в стали 31CrMoV9 в отличие от стали 42Cr4Mo2.

Основной способ проведения смягчающего отжига состоит в многочасовой выдержке при температуре немного ниже  $A_{C1}$ . Снижение твердости достигается благодаря частичному формированию зернистой структуры и уменьшению внутренних напряжений. Однако такой режим обработки из-за своей значительной продолжительности достаточно энергозатратный. Сокращению продолжительности режима термической обработки хромомолибденованадиевой стали на базе новых научных результатов будут посвящены дальнейшие исследования.

**Заключение.** Исследованы особенности формирования структуры и изменения значений твердости горячекатаного охлажденного на воздухе сортового проката диаметром 140мм из непрерывнолитой стали 42Cr4Mo2 и 31CrMoV9. При охлаждении на воздухе структура стали 42Cr4Mo2 состоит из бейнита, а также небольшого количества феррита и перлита. Легирование хромомолибденовой стали ванадием приводит к смещению области перлитного превращения и выделению мелкодисперсных карбидов, поэтому структура проката стали 31CrMoV9 состоит преимущественно из бейнита, имеющего зернистую морфологию, и феррита. Значения твердости горячекатаного проката обеих сталей не соответствуют нормируемому уровню, что требует проведения дополнительной смягчающей термической обработки.

1. *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*. Днепропетровск – 2009г. – Вып.20. – С.208-213.
2. *Влияние* скорости охлаждения на структурообразование и свойства углеродистой хромомолибденовой стали. / В.А.Луценко, Т.Н.Голубенко, М.Ф.Евсюков, А.И.Сивак. // *Металознавство та термічна обробка металів*.– 2009г.– №3 (46). – С. 56-60.
3. *Deutsche Edelstahlwerke*. Providing special steel solutions / [www.dew-stahl.com/upload/binarydata\\_ewkinterd4cms](http://www.dew-stahl.com/upload/binarydata_ewkinterd4cms)

4. Гудремон Э. Специальные стали. Изд. 2-е сокр. и перераб. М. –Металлургия – 1966. –1274 с.

*Статья рекомендована к печати  
канд.техн.наук А.И.Бабаченко*

***Т.Н.Голубенко, В.А.Луценко***

**Особливості формування структури і властивостей у гарячекатаному прокаті зі сталі, що легована хромом, молібденом та ванадієм**

Досліджено особливості структуроутворення та зміни твердості по Перетині гарячекатаного прокату з безперервнолитої легованої сталі 42Cr4Mo2 і 31CrMoV9. Показано, що легування хромомолібденової сталі ванадієм призводить до зміщення області перлітного перетворення та виділення дрібнодисперсних карбідів, тому при охолодженні на повітрі структура сталі 31CrMoV9 складається з бейніту, що має зернисту морфологію, і фериту.