

**В.А.Луценко, Т.Н.Голубенко, О.В.Луценко**

**ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ АУСТЕНИТИЗАЦИИ НА  
ВЕЛИЧИНУ ЗЕРНА ХРОМОМОЛИБДЕНОВАНАДИЕВОЙ СТАЛИ**

*Институт чёрной металлургии им. З.И.Некрасова НАН Украины*

Целью работы является изучение влияния температуры аустенитизации на размер аустенитного зерна хромомолибденованадиевой стали. Показано, что при температуре аустенитизации 850-1050<sup>0</sup>С в структуре хромомолибденованадиевой стали условный диаметр аустенитного зерна изменяется от 0,063 мм до 0,084 мм. При высоких температурах наблюдается также увеличение растворимости карбидов ванадия, поэтому с повышением температуры закалки количество избыточных карбидов уменьшается.

**Ключевые слова:** хромомолибденованадиевая сталь, температура, закалка, размер зерна

**Состояние вопроса.** В настоящее время особенно остро стоит вопрос энерго- и ресурсосбережения в промышленности [1]. Непостоянство объемов заказов на машиностроительную продукцию в современных условиях требует внедрения гибких технологических решений для сохранения рентабельности производства, что определяет первоочередность задач экономии энергоресурсов. На территории Украины большая часть сортового проката различного назначения производится из сталей углеродистых обычного качества (ДСТУ 4484-2005). Производство проката из сталей углеродистых качественных (ГОСТ 1050-88) и легированных конструкционных (ГОСТ 4543-71) особенно важно для машиностроения. Отсутствие на внутреннем рынке Украины некоторых сортовых профилей массового назначения вынуждает основных потребителей сортового проката (машиностроение и строительную отрасль) использовать аналогичные профили иностранного производства или заменять их другими имеющимися профилями [2]. Вследствие этого готовая продукция отечественного машиностроения имеет низкую конкурентоспособность.

Технологическая схема производства сортового проката представляет комплекс из трех основных операций, определяющих состав и компоновку оборудования: нагрев исходной заготовки; горячую прокатку необходимого профилеразмера сечения металла; охлаждение и отделку проката для придания ему необходимых товарных свойств (механических, технологических) и формы [3].

Максимальная твердость после закалки, определяющая прочностные характеристики стали и ее конструктивную прочность, обусловлена химическим составом стали. Однако повышенное содержание углерода и легирующих элементов в стали приводит к высокой твердости, которая вызывает значительный износ и затрудняет механическую обработку [4].

Термическая обработка стального проката в машиностроении преследует основную цель: создать структуру проката, обеспечивающую высокопроизводительную обработку резанием, холодной высадкой или штамповкой. Этого добиваются, в зависимости от марки стали, применением следующих процессов: нормализации, отжига, изотермического отжига или улучшения [5].

**Постановка задачи.** Изучить влияние предварительной термической обработки на структурообразование и на размер аустенитного зерна хромомолибденованадиевой стали.

**Методика исследования.** Исходным материалом для исследований служили образцы, поперечно вырезанные из круглого проката diam. 140 мм непрерывнолитой вакуумированной хромомолибденованадиевой стали марки 31CrMoV9 следующего химического состава: 0,337% С; 0,253% Si; 0,648% Mn; 2,587% Cr; 0,229% Mo; 0,011% P; 0,025% S.

Нагрев образцов проводили до температур в интервале 850-1050°C, выдержка 30 мин. и охлаждение в воде. После закалки образцы подвергались отпуску при 250°C в течение 1 часа с последующим охлаждением на воздухе.

Исследование структуры проводили с использованием микроскопа «Axiovert 200M MAT». Определение размера зерна аустенита производили согласно ГОСТ 5639-82 методом травления границ зерен.

**Изложение основных материалов исследования.** В последнее время увеличивается количество новых марок стали для машиностроения. Основное внимание при разработке новых марок стали сосредоточено на повышении прочности и улучшении пластичности [6]. Для производства судовых деталей, распылителей форсунок, плунжерных пар, гильз и других ответственных деталей, которые должны обладать износостойкостью в условиях высоких давлений, применяется сталь марки 31CrMoV9 (аналог 30ХЗМФ) (табл.1). Легирование дает возможность закалывать изделия больших сечений при меньших скоростях охлаждения. При этом уменьшается изменение линейных размеров деталей, а в отдельных случаях предупреждается образование закалочных трещин [4].

Таблица 1. Требования к химическому составу исследуемой хромомолибденованадиевой стали

Марка стали	Стандарт	Содержание химических элементов, %							
		C	Si	Mn	Cr	Mo	V	P	S
31CrMoV9	EN 10085	0,27-0,34	≤ 0,4	0,40-0,70	2,30-2,70	0,15-0,25	0,10-0,20	≤ 0,025	≤ 0,035
30ХЗМФ	ГОСТ 4543	0,27-0,34	0,17-0,37	0,30-0,60	2,30-2,70	0,20-0,30	0,06-0,12	≤ 0,035	≤ 0,035

Термическая обработка необходима для обеспечения требований по механическим свойствам, предъявляемым к прокату из этих сталей (табл.2).

Таблица 2. Требования нормативов по механическим свойствам

Марка стали	Стандарт	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ , %	$\Psi$ , %	НВ*
31CrMoV9	EN 10085	900-1100	700	11	-	248
30X3МФ	ГОСТ 4543	980	835	12	55	229

\*– твердость после отжига.

Так как от величины зерна аустенита зависят многие механические свойства стали (особенно предел текучести и ударная вязкость), поэтому большое внимание уделяется именно размеру формируемого зерна. Величина первоначальных зерен аустенита и их способность к последующему росту во многом определяют величину действительного аустенитного зерна, образующегося в процессе термической обработки. Известно [7], что величина зерна стали оказывает существенное влияние на стандартный комплекс механических свойств и твердость. Чем крупнее зерно, тем больше сталь склонна к закалочным трещинам и деформации, а разноструктурность сильно снижает конструктивную прочность. При одинаковой твердости сталь с крупным зерном лучше обрабатывается резанием. Повышение температуры закалки и растворение карбидных фаз повышает устойчивость переохлажденного аустенита, уменьшает критическую скорость закалки и, следовательно, повышает прокаливаемость [8].

После прокатки и охлаждения на воздухе структура стали марки 31CrMoV9 состоит из бейнита (до 95%) и феррита (рис.1). Благодаря большому содержанию хрома в этой стали, перлитное превращение при обычных скоростях охлаждения (на воздухе) подавляется. Перлитное превращение возможно только при очень малых скоростях охлаждения [9].

Рис.1. Структура ( $\times 500$ ) стали марки 31CrMoV9 после прокатки и охлаждения на воздухе

Увеличение размера зерна аустенита, как и повышение температуры нагрева, существенно замедляет перлитное превращение, особенно процесс образования феррито-карбидной смеси, однако практически не влияет на кинетику промежуточного превращения. Максимальные значения твердости исследуемой горячекатаной стали составили до 388НВ.

После нагрева до различных температур и отпуска структура хромомолибденованадиевой стали состояла из отпущенного мартенсита (рис.2).

а б  
в

Рис.2. Структура стали марки 31CrMoV9 после закалки с температур 850°C (а), 950°C (б) и 1050°C (в) и отпуска

Определение размера зерна аустенита показало, что структура исследованных сталей имеет разносторонность с размером зерна от 4 до 7 номера. Средний условный диаметр зерна составлял 0,028-0,063 мм при 850°C, 0,033-0,079 мм при 950°C и 0,029-0,084 мм при 1050°C. Большая часть зерен аустенита (90-95%) имела 5-6 номер, что отвечает требованиям EN 10085. С повышением температуры аустенитизации с 850°C до 1050°C увеличивается количество крупных зерен. В хромомолибденованадиевой стали также наблюдается увеличение растворимости карбидов ванадия при высоких температурах [10], поэтому с повышением температуры закалки количество избыточных карбидов уменьшается (рис.2).

### **Выводы**

Основное внимание при разработке новых марок стали сосредоточено на повышении прочности и улучшении пластичности. При этом существенное влияние на стандартный комплекс механических свойств и твердость оказывает величина зерна стали. Определено, что с повышением температуры аустенитизации максимальный условный диаметр аустенитного зерна хромомолибденованадиевой стали увеличивается от 0,063 мм при 850°C до 0,084 мм при 1050°C.

1. Ярони У. Умлау К.-П., Хоффман О. Новые подходы к инновационным продуктам и технологиям обработки давлением в автомобилестроении. // Черные металлы. – 2010. – № 12. – С.46-53.
2. Бурко В. А. Основные способы получения профилированных заготовок в ресурсосберегающих технологиях объемной штамповки. // Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. наукових праць. – ПДТУ. – Мариуполь, 2012. – Вып. 24. – С.75-83.
3. Авдеев В.А. Друян В.М., Кудрин Б.И. Основы проектирования металлургических заводов [справочное издание] – М.: Интермет Инжиниринг, 2002. – 464 с.
4. Качанов Н. Н. Прокаливаемость стали. 2-е изд. – М.: «Металлургия», 1978. – 192 с.

5. *Термическая обработка в машиностроении: Справочник / Под ред. Ю. М. Лахтина, А. Г. Рахштадта.* – М.: «Машиностроение», 1980. – 783 с.
6. *Бадюк С.И., Паламарь Д.Г., Раздобреев В.Г.* Текущее состояние сортопрокатного производства Украины. // Сборник научных трудов «Вестник НТУ «ХПИ». – 2011. – № 46. – С.116-126.
7. *Лахтин Ю.М.* Металловедение и термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин. – М.: Металлургия. – 1983. – 359 с.
8. *Захаров Б.П.* Термическая обработка металлов. – М.: МАШГИЗ. – 1962. – 295с.
9. *Голубенко Т. Н., Луценко В. А.* Особенности формирования структуры и свойств в горячекатаном прокате из стали, легированной хромом, молибденом и ванадием. // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* – Вып. 25. – 2012. – С.187-191.
10. *Гудремон Э.* Специальные стали. 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.

*Статья рекомендована к печати  
докт.техн.наук, проф. Г. В. Левченко*

***В.А.Луценко, Т.М.Голубенко, О.В.Луценко***

**Особливості впливу температури аустенізації на розмір зерна хромомолібденованадієвої сталі**

Метою роботи є вивчення впливу температури аустенізації на розмір аустенітного зерна хромомолібденованадієвої сталі. Показано, що при температурі аустенізації 850-1050<sup>0</sup>С в структурі хромомолібденованадієвої сталі умовний діаметр аустенітного зерна змінюється від 0,063 мм до 0,084 мм. При високих температурах спостерігається також збільшення розчинності карбідів ванадію, тому з підвищенням температури гарту кількість надлишкових карбідів зменшується.

**Ключові слова:** хромомолібденованадієва сталь, температура, структура, розмір зерна

***V.A.Lutsenko, T.N.Golubenko, O.V.Lutsenko***

**Features of influence of the austenitizing temperature on the grain size chrome-molybdenum-vanadium steel**

The aim is to study the influence of austenitizing temperature on austenite grain size of molybdenum vanadium steel. It is shown that at austenitizing 850-1050<sup>0</sup>C in chrome-molybdenum vanadium steel structure of the conventional austenite grain diameter ranges from 0.063 mm to 0.084 mm. At high temperatures, an increase in solubility as vanadium carbides, therefore with increasing quenching temperature decreases the amount of excess carbides.

**Keywords:** molybdenum vanadium steel, temperature, hardening, grain size  
**Keywords:** molybdenum vanadium steel, temperature, texture, grain size