



УДК 669.017:669.15–194:669.112.227.3

Поступила 11.04.2016

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ АУСТЕНИТИЗАЦИИ НА ВЕЛИЧИНУ ЗЕРНА СТАЛИ 31CrMoV9

EFFECTS OF TEMPERATURE ON AUSTENITIZING GRAIN SIZE STEEL 31CrMoV9

*В. А. ЛУЦЕНКО, Т. Н. ГОЛУБЕНКО, О. В. ЛУЦЕНКО, Институт черной металлургии
им. З. И. Некрасова НАН Украины, г. Днепропетровск, Украина, пл. Академика Стародубова, 1.*

E-mail: lutsenko@optima.com.ua,

*С. Н. ШЕХУРДИН, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл.,
Беларусь, ул. Промышленная, 37.*

*V. A. LUTSENKO, T. N. GOLUBENKO, O. V. LUTSENKO, Ferrous Metal Institute named after
Z. I. NEKRASOV of the National Academy of Science of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine, 1, Starodubov ave.*

E-mail: lutsenko@optima.com.ua,

*S. N. SHEHURDIN, JSW «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Gomel Region,
Belarus, 37, Promyshlennaya str.*

Изучено влияние температуры аустенитизации на размер аустенитного зерна хромомолибденованадиевой стали. Показано, что при температуре аустенитизации 850–1050°C в структуре хромомолибденованадиевой стали условный диаметр аустенитного зерна изменяется от 0,063 до 0,084 мм.

Austenitizing studied the effect of temperature on austenite grain size of the chrome-molybdenum-vanadium steel. It is shown that at austenitizing 850–1050°C in the structure of chrome-molybdenum-vanadium steel nominal diameter of austenite grain varies from 0,063 to 0,084 mm.

Ключевые слова. *Хромомолибденованадиевая сталь, температура, структура, размер зерна.*

Keywords. *Chrome-molybdenum-vanadium steel, temperature, structure, grain size.*

Непостоянство объемов заказов на машиностроительную продукцию в современных условиях требует внедрения гибких технологических решений для сохранения рентабельности производства, что определяет первоочередность задач экономии энергоресурсов. Производство проката из сталей, углеродистых качественных (ГОСТ 1050-88) и легированных конструкционных (ГОСТ 4543-71), особенно важно для машиностроения. Отсутствие на внутреннем рынке 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. 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: нагрева исходной заготовки; горячей прокатки необходимого сечения металла; охлаждения и отделки проката для придания ему необходимых свойств (механических, технологических) и формы.

Максимальная твердость после закалки, определяющая 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.

Термическая обработка стального проката в машиностроении преследует основную цель: создать структуру проката, обеспечивающую высокопроизводительную обработку резанием, холодной высад-

кой или штамповкой. Этого в зависимости от марки стали, добиваются применением следующих процессов: нормализации, отжига, изотермического отжига или улучшения [1].

В последнее время увеличивается количество новых марок стали для машиностроения. Основное внимание при разработке новых марок стали сосредоточено на повышении прочности и улучшении пластичности. Влияние ванадия в качестве легирующего элемента во многих отношениях аналогично влиянию хрома [2]. Но по сравнению с хромом ванадий более резко ограничивает аустенитную область, а также обладает большим карбидообразующим действием. Ванадий образует, кроме цементита, стабильный карбид ванадия VC или V₄C₃ [3].

Уже при небольшом содержании ванадия и небольшой скорости охлаждения превращение в перлитной области легированной стали оказывается подавленным, если при нагреве все карбиды ванадия были растворены. В то же время начало превращения в промежуточной области под влиянием ванадия почти не смещается. Перлитная и промежуточная области превращения разделяются при ~500 °С областью значительной устойчивости аустенита. При введении ванадия точка мартенситного превращения практически не изменяется. Вследствие этого, а также и в связи со снижением критической скорости охлаждения в перлитной области на диаграммах изотермического превращения ванадиевых сталей особенно отчетливо выявляется промежуточная область. Ванадий способствует очень тонкому распределению карбидов в перлите, которое получается даже при небольшой скорости охлаждения или при сравнительно высокой температуре изотермического превращения [3].

Поэтому представляло интерес изучить влияние предварительной термической обработки на структурообразование хромомолибденованадиевой стали.

Исходным материалом для исследований служили образцы проката диаметром 140 мм непрерывно-литой вакуумированной хромомолибденованадиевой стали марки 31CrMoV9 производства ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» следующего химического состава: 0,337% C; 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 °С, выдержка – 30 мин и охлаждение в воде. После закалки образцы подвергали отпуску при 250 °С в течение 1 ч с последующим охлаждением на воздухе.

Исследование структуры проводили с помощью микроскопов «НЕОРНОТ 2» и «Axiovert 200M MAT». Структуру оценивали по ГОСТ 8233-56, определение размера зерна аустенита – по ГОСТ 5639-82 методом травления границ зерен.

Известно [3], что в нормализованном состоянии твердость ванадиевых сталей ниже, чем углеродистых, так как карбид ванадия имеет зернистую, а карбид железа – пластинчатую форму. Для производства судовых деталей, распылителей форсунок, плунжерных пар, гильз и других ответственных деталей, которые должны обладать износостойкостью в условиях высоких давлений, применяется хромомолибденованадиевая сталь марки 31CrMoV9 (аналог 30Х3МФ) (табл. 1).

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
30Х3МФ	ГОСТ 4543-71	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 выполнения требований по механическим свойствам, предъявляемым к прокату из этих сталей (табл. 2).

Таблица 2. Требования нормативов по механическим свойствам

Марка стали	Стандарт	σ _в , Н/мм ²	σ _т , Н/мм ²	δ ₅ , %	Ψ, %	НВ*
31CrMoV9	EN 10085	900–1100	>700	>11	–	≤248
30Х3МФ	ГОСТ 4543-71	>980	>835	>12	>55	≤229

* Твердость после отжига.

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.

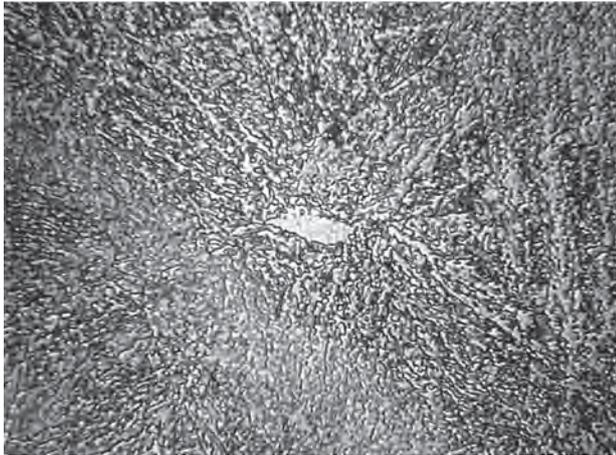


Рис. 1. Структура стали марки 31CrMoV9 после прокатки и охлаждения на воздухе. $\times 500$

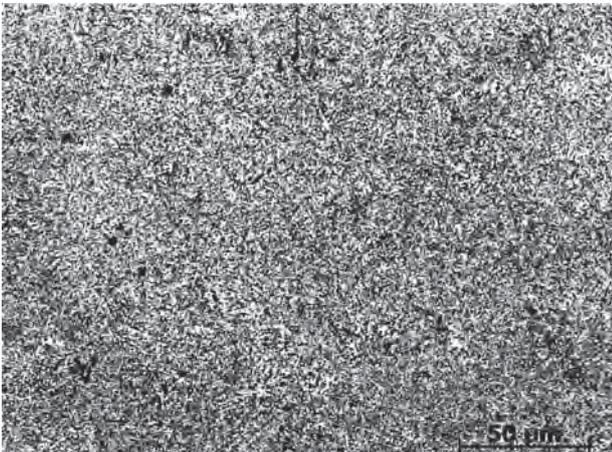


Рис. 3. Структура стали марки 31CrMoV9 после закалки с температуры 850 °C и отпуска

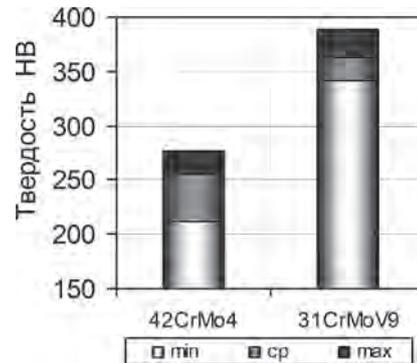


Рис. 2. Влияние ванадия на значения твердости горячекатаных хромомолибденосодержащих сталей

Так как от величины зерна аустенита зависят многие механические свойства стали (особенно предел текучести и ударная вязкость), большое внимание уделяется именно размеру формируемого зерна.

Величина первоначальных зерен аустенита и их способность к последующему росту во многом определяют величину действительного зерна, образующегося в процессе термической обработки. Известно [1], что величина зерна стали оказывает существенное влияние на механические свойства и твердость. Чем крупнее зерно, тем больше сталь склонна к закалочным трещинам и деформации, а разнородность сильно снижает конструктивную прочность. При одинаковой твердости сталь с крупным зерном лучше обрабатывается резанием.

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 спокойном воздухе) подавляется. Перлитное превращение возможно только при очень малых скоростях охлаждения [2].

Хромомолибденовые стали (42CrMo4) после горячей прокатки и охлаждения на воздухе имеют высокие значения твердости [2], дополнительное легирование ванадием (31CrMoV9) существенно замедляет перлитное превращение, особенно процесс образования ферритокарбидной смеси, однако практически не влияет на кинетику промежуточного превращения. Поэтому максимальные значения твердости исследуемой хромомолибденованадиевой стали после горячей прокатки и охлаждения на воздухе достигают значений более 380 HB (рис. 2), что требует проведения смягчающей термической обработки.

После нагрева до различных температур (850–1050 °C), закалки и отпуска структура хромомолибденованадиевой стали состоит из отпущенного мартенсита (рис. 3). При этом размер мартенситных пластин (игельчатость) зависит от величины исходных зерен аустенита: чем крупнее зерна аустенита, тем более крупноигельчатый мартенсит [3].

Известно, что ванадий при определенных условиях повышает температуру начала сильного роста зерна, однако в случае медленного нагрева (< 300 °C/ч) наблюдается аномально резкий рост зерна уже при 800–900 °C [3].

Определение размера зерна аустенита показало, что структура исследованной стали имеет разнородность с размером зерна от 4-го до 7-го номера. Большая часть зерен аустенита (90–95%) имела 5–6-й номер, что соответствует требованиям EN 10085 (табл. 3).

Условный диаметр зерна с повышением температуры аустенитизации увеличивается (табл. 3). В хромомолибденованадиевой стали также наблюдается увеличение растворимости карбидов ванадия при

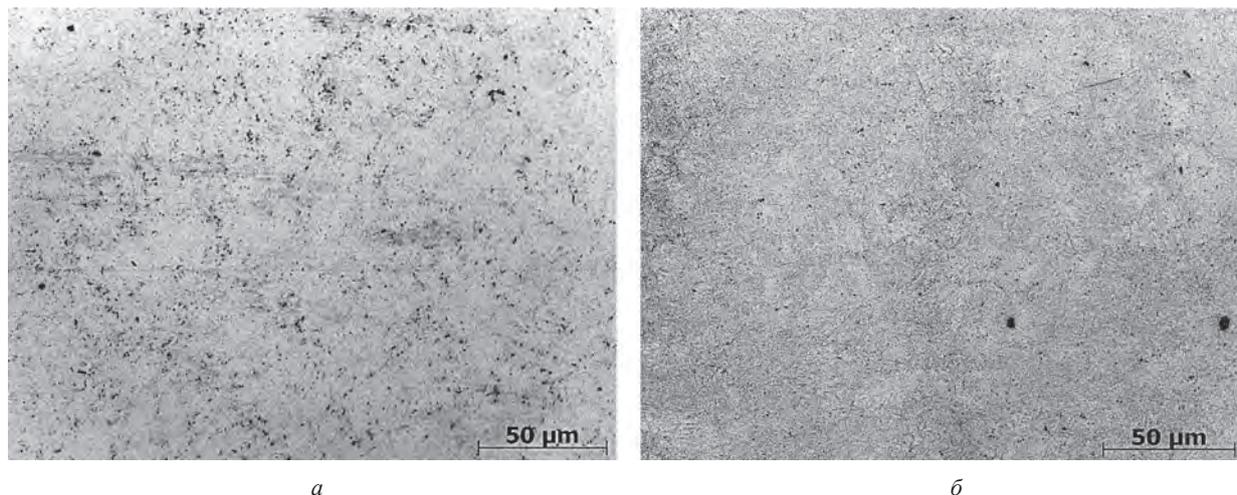


Рис. 4. Структура стали марки 31CrMoV9 после закалки с температур 950 (а) и 1050 °С (б) и отпуска (травление границ зерен)

Т а б л и ц а 3. Величина и количество зерен аустенита исследованной стали 31CrMoV9

Температура аустенизации, °С	Количество зерен, %		Условный диаметр зерна, мм	
	5-й номер	6-й номер	min	max
850	5	80	0,028	0,063
950	25	65	0,033	0,079
1050	30	60	0,029	0,084

высоких температурах [3], поэтому с повышением температуры закалки количество избыточных карбидов уменьшается (рис. 4).

Выводы

При разработке новых легированных марок стали основное внимание сосредоточено на улучшении пластичности при сохранении прочностных конструкционных характеристик. При этом существенное влияние на механические свойства и твердость оказывает величина зерна стали. Определено, что с повышением температуры аустенизации от 850 до 1050 °С максимальный условный диаметр аустенитного зерна хромомolibденованадиевой стали увеличивается от 0,063 до 0,084 мм.

Литература

1. Лахтин Ю. М. *Металловедение и термическая обработка металлов*. М.: Металлургия, 1983. 359 с.
2. Lutsenko V. A., Bobkov P. A., Golubenko T. N., Drobyshevskii L. A., Gritsaenko V. I. Structure formation in the heat treatment of alloy steel bar // *Steel in Translation*. 2013. Vol. 43. No. 6. P. 394–398.
3. Гудремон Э. *Специальные стали*. М.: Металлургия, 1966, 1274 с.

References

1. Lahtin Ju. M. *Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov* [Metal science and heat treatment], Moscow, Metallurgija Publ., 1983, 359 p.
2. Lutsenko V. A., Bobkov P. A., Golubenko T. N., Drobyshevskii L. A., Gritsaenko V. I. Structure formation in the heat treatment of alloy steel bar. *Steel in Translation*, 2013, Vol. 43, Issue 6, pp. 394–398.
3. Gudremon Je. *Special'nye stali* [Special steels]. Moscow, Metallurgija Publ., 1966, 1274 p.