

## ВЕЛИЧИНА АУСТЕНИТНОГО ЗЕРНА ХРОМОМОЛИБДЕНСОДЕРЖАЩИХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ АУСТЕНИТИЗАЦИИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

В. А. ЛУЦЕНКО, Т. Н. ГОЛУБЕНКО, О. В. ЛУЦЕНКО, Н. А. ГЛАЗУНОВА\*

*Для изготовления деталей ответственного назначения, работающих в условиях больших нагрузок, используют хромомолибденсодержащие стали марок 42CrMo4 и 31CrMoV9. Содержание углерода и легирующих элементов в этих сталях, а также величина зерна оказывают существенное влияние на комплекс механических свойств. Изучено влияние температуры аустенитизации на величину аустенитного зерна хромомолибденовой и хромомолибденованадиевой сталей. Показано, что при повышении температуры аустенитизации с 850 до 1050 °С средний условный диаметр аустенитного зерна в структуре хромомолибденовой стали изменяется от 0,053 до 0,06 мм, а в хромомолибденованадиевой — от 0,044 до 0,078 мм. Для формирования крупнозернистой структуры аустенитизацию хромомолибденсодержащих сталей следует производить при температурах более  $A_1 + 200$  °С.*

*Ключевые слова: легированная сталь, хром, молибден, ванадий, сортовой прокат, температура аустенитизации, структура, величина зерна*

В современных экономических условиях перед промышленностью особенно остро стоит вопрос энерго- и ресурсосбережения [1]. Непостоянство объемов заказов на машиностроительную продукцию требует внедрения гибких технологических решений для сохранения рентабельности производства, что определяет первоочередность задач экономии энергоресурсов [2]. Большая часть сортового проката различного назначения производится из сталей углеродистых обыкновенного качества (ГОСТ 380-2005). Прокат из сталей легированных конструкционных (ГОСТ 4543-71), особенно важных для машиностроения, требует особой технологии производства, прокат изготавливают на специальных металлургических предприятиях [3]. Отсутствие на внутреннем рынке некоторых сортов профилей массового назначения вынуждает основных потребителей проката использовать аналогичные профили иностранного производства (более дорогие) или заменять их другими профилями [4]. Вследствие этого производимый прокат имеет низкую конкурентоспособность.

При разработке новых марок стали, используемых в машиностроении, основное внимание сосредоточено на повышении прочности и улучшении пластичности. Конструктивную прочность стали обеспечивает высокая твердость после закалки, которая обусловлена химическим составом [5]. Однако

повышенное содержание углерода и легирующих элементов в стали приводит к высокой твердости, которая затрудняет механическую обработку и вызывает значительный износ оборудования.

Технология производства легированного конструкционного сортового проката включает комплекс из следующих основных операций: нагрев исходной заготовки; горячую прокатку необходимого сечения металла; охлаждение и отделку проката для придания ему необходимых свойств (механических, технологических) и формы [6]. При этом когда, кроме требований по прочности и твердости, предъявляются еще и требования по пластичности и вязкости, следует применять сталь, обладающую соответствующей прокаливаемостью. Прокаливаемость стали определяет технологичность изделий, технологию их производства и эксплуатационные свойства [7]. Однако следует учитывать, что при снижении твердости обеспечением химического состава на нижнем требуемом уровне можно не достичь необходимых свойств по прокаливаемости.

Термическая обработка стального легированного проката [8] направлена на создание структуры проката, обеспечивающей высокопроизводительную обработку резанием, холодной высадкой или штамповкой. Этого добиваются, в зависимости от марки стали, применением нормализации, высокого отпуска, изотермического отжига или улучшения [9]. Необходимые значения твердости конструкционной легированной стали на прокатном переделе обеспечиваются применением умягчающей термической обработки (отжига или высокого отпуска), которая достаточно продолжительна, имеет низкую производительность и высокие энергетические затраты.

Для производства валов, шпинделей, дисков и других ответственных деталей, к которым предъявляются требования повышенной износостойкости

\* *Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины, г. Днепр, Украина;*

*докт. техн. наук В. А. Луценко, ведущий научный сотрудник; e-mail: lutsenko@optima.com.ua; канд. техн. наук Т. Н. Голубенко, научный сотрудник; канд. техн. наук О. В. Луценко, научный сотрудник;*

*ОАО «БМЗ — управляющая компания холдинга «БМК», Жлобин, Беларусь;*

*Н. А. Глазунова, начальник лаборатории металлургии ЦЗЛ*

Таблица 1.  
Требования различных нормативных документов к химическому составу хромомолибденосодержащих сталей

Марка стали	Стандарт	Содержание химических элементов, %							
		C	Si	Mn	Cr	Mo	V	P	S
42CrMo4	EN 10083	0,38–0,45	≤0,4	0,60–0,90	0,90–1,20	0,15–0,30	–	≤0,025	0,020–0,035
38ХМ	ГОСТ 4543-71	0,35–0,42	0,17–0,37	0,35–0,65	0,90–1,30	0,20–0,30	–	≤0,035	≤0,035
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 4543-71	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

Таблица 2.  
Химический состав исследуемых легированных сталей

Марка стали	Содержание химических элементов, %							
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	P	S
42CrMo4	0,385	0,228	0,736	1,035	0,243	–	0,010	0,024
31CrMoV9	0,337	0,253	0,648	2,587	0,229	0,184	0,011	0,025

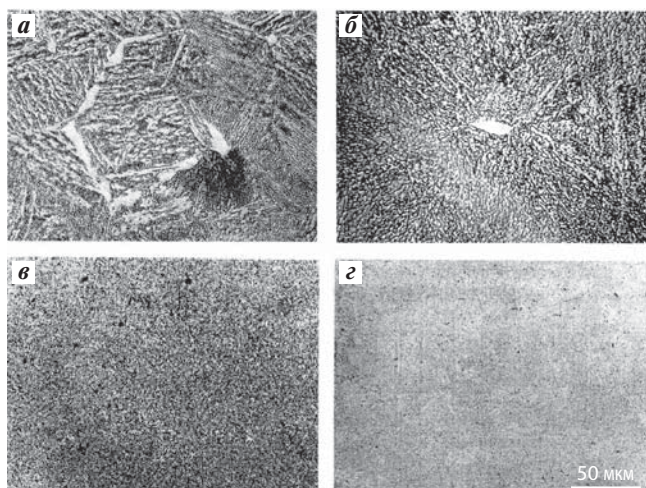


Рис. 1. Характерная структура (×500) хромомолибденосодержащей стали после горячей прокатки (а, б) и закалки с отпуском (в, з): а, в — марка 42CrMo4; б, з — марка 31CrMoV9

в сочетании с повышенной прочностью и вязкостью сердцевины, работающих в условиях больших нагрузок, применяются хромомолибденосодержащие стали (табл. 1). Окончательной термической обработкой, обеспечивающей необходимый комплекс свойств изделий, служит улучшение (42CrMo4, 38ХМ) и азотирование (31CrMoV9, 30ХЗМФ).

Известно [10], что величина зерна стали оказывает существенное влияние на комплекс механических свойств и твердость. Чем крупнее зерно, тем сталь менее прочная и легче обрабатывается, большая разнородность снижает конструктивную прочность [11].

Целью данной работы является исследование влияния температуры аустенитизации на величину аустенитного зерна хромомолибденовой и хромомолибденованадиевой сталей.

### Материал и методика проведения исследований

Исходным материалом для исследований служили образцы сортового проката непрерывнолитой вакуумированной хромомолибденовой и хромомолибденованадиевой сталей производства ОАО

«БМЗ — управляющая компания холдинга «БМК». Химический состав образцов представлен в табл. 2.

После горячей прокатки и охлаждения на воздухе структура стали марки 42CrMo4 состоит из бейнита (до 75 %), перлита и феррита (рис. 1, а), а стали марки 31CrMoV9 — бейнита (до 95 %) и феррита (см. рис. 1, б). Хромомолибденовая сталь (42CrMo4) после горячей прокатки и охлаждения на воздухе имеет повышенные значения твердости [12, 13]. В стали марки 31CrMoV9 благодаря большему содержанию хрома и легированию ванадием существенно замедляется диффузионное превращение, поэтому после горячей прокатки и охлаждения на воздухе перлитное превращение подавляется, и твердость исследуемой хромомолибденованадиевой стали достигает значений более 380НВ, что требует проведения умягчающей термической обработки.

Для изучения влияния температуры аустенитизации на структуру (величину зерна аустенита) хромомолибденовой и хромомолибденованадиевой сталей образцы нагревали до температур в интервале 850–1050 °С и после выдержки в течение 30 мин охлаждали в воде с последующим отпуском при температуре 250 °С в течение 1 ч. Размер зерна аустенита определяли методом травления границ зерен согласно ГОСТу 5639-82, оценку структуры производили по ГОСТу 8233-56. Исследование структуры проводили с использованием микроскопов НЕОРНОТ 2 и Axiovert 200M MAT.

### Результаты и их обсуждение

После приведенной выше опытной термической обработки структура хромомолибденовой и хромомолибденованадиевой сталей состояла из отпущенного мартенсита (см. рис. 1, в).

Разброс величины зерна аустенита обеих марок сталей составляет от 4-го до 7-го номера (рис. 1, з). При этом большая часть зерен аустенита имела величину номеров 5–6 (рис. 2).

В стали марки 31CrMoV9 повышенное содержание хрома (по сравнению со сталью марки 42CrMo4) и легирование ванадием [14] приводят к получению более мелкого аустенитного зерна, вследствие чего в хромомолибденованадиевой стали содержится большее количество зерен номера 6.

Средний условный диаметр зерна аустенита с повышением температуры аустенитизации увеличивается (рис. 3) в хромомолибденовой стали от

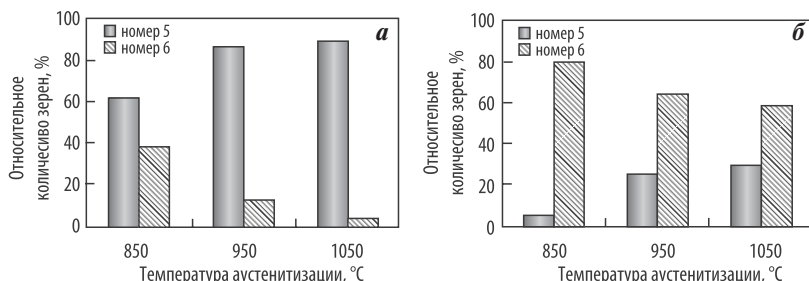


Рис. 2. Относительное количество зерен (номера 5 и 6) аустенита в стали марки 42CrMo4 (а) и 31CrMoV9 (б) после различной температуры аустенитизации

0,053 до 0,06 мм, а в хромомолибденованадиевой — от 0,044 до 0,078 мм.

Соответственно с повышением температуры аустенитизации размер мартенситных пластин увеличился от 2,5 баллов после охлаждения с нагрева при 850 °C до 3 баллов — при 1050 °C.

**Выводы**

Установлено, что с повышением температуры аустенитизации от 850 до 1050 °C средний условный диаметр аустенитного зерна хромомолибденовой стали увеличивается от 0,053 до 0,06 мм, а в хромомолибденованадиевой — от 0,044 до 0,078 мм.

Для формирования крупнозернистой структуры нагрев под аустенитизацию хромомолибденосодержащих сталей следует производить при высоких температурах ( $\geq A_1 + 200$  °C).

**Библиографический список**

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. Greger M., Kursa M. New Forging Technology for Bottoms of Nuclear Plants Pressure Vessels // Metallurgical Journal. 2011. Vol. LXIV. No. 4. P. 30–33.
3. Бурко В. А. Основные способы получения профилированных заготовок в ресурсосберегающих технологиях объемной штамповки // Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. наукових праць. — Мариуполь, 2012. Вып. 24. С. 75–83.
4. Авдеев В. А., Дрян В. М., Кудрин Б. И. Основы проектирования ме-

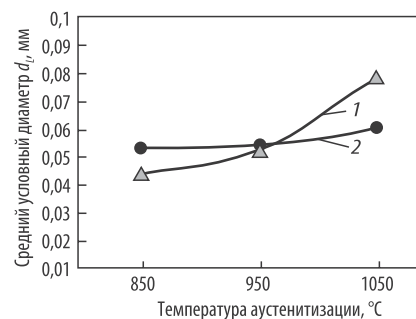


Рис. 3. Величина среднего условного диаметра зерен аустенита хромомолибденосодержащей стали после различной аустенитизации: 1 — 31CrMoV9; 2 — 42CrMo4

таллургических заводов [справочное издание]. — М. : Интермет Инжиниринг, 2002. — 464 с.

5. George E. Totten. Steel heat treatment: metallurgy and technologies / Portland State University. — Portland, Oregon, U.S.A., 2006. — 820 p.
6. Луценко В. А., Маточкин В. А., Панфилова Т. Н., Щербаков В. И. Влияние технологии производства на качественные характеристики горячекатаного крупносортового проката из хромомолибденовой электростали // Бюллетень научно-технической и экономической информации «Черная металлургия», 2009. Вып. 4(1312), С. 57–59.
7. Пачурин Г. В., Филиппов А. А., Кузьмин Н. А. Влияние химического состава и структуры стали на качество проката для изготовления болтов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 8. С. 87–92.
8. ASM Handbook. Heat Treating, ASM International, Metals Park, OH, USA, 1991. Vol. 4. — 2173 p.
9. Гудремон Э. Специальные стали / пер. с нем. под. ред. А. С. Займовского, М. Л. Бернштейна, В. С. Меськина. В 2 т., изд. 2-е. — М. : Металлургия, 1966. — 1274 с.
10. Романов И. Д., Шацов А. А., Закирова М. Г. Структура и свойства низкоуглеродистой мартенситной стали, закаленной с ковочного нагрева // Тр. Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева. 2014. № 2(104). С. 206–212.
11. Лахтин Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов. — М. : Металлургия, 1983. — 359 с.
12. Lutsenko V. A., Bobkov P. A., Golubenko T. N. et al. Structure formation in the heat treatment of alloy steel bar // Steel in Translation. 2013. Vol. 43. Iss. 6. P. 394–398.
13. Луценко В. А., Бобков П. А., Голубенко Т. Н., Дробышевский Л. А., Грицаенко В. И. Особенности структурообразования конструкционной легированной стали при термической обработке сортового проката // Сталь. 2013. № 6. С. 64–68.
14. Lagneborg P., Siwecki T., Zajac S., Hutchinson B. The role of vanadium in microalloyed steels // Scand. J. Metall. 1999. Vol. 28(5). P. 186–241.

“CHERNYE METALLY”/“FERROUS METALS”, 2016, № 12, pp. 17–20

**THE GRAIN SIZE OF AUSTENITE IN CHROMIUM-MOLYBDENUM-BEARING STEELS AFTER AUSTENITIZATION AT DIFFERENT TEMPERATURES**

Lutsenko V. A.<sup>1</sup>, Dr. Eng., Leading Researcher  
 Golubenko T. A.<sup>1</sup>, Cand. Eng., Researcher  
 Lutsenko O. V.<sup>1</sup>, Cand. Eng., Researcher  
 Glazunova N. A.<sup>2</sup>, Head of the Laboratory of Metallurgy central laboratory

<sup>1</sup> Z. I. Nekrasov Institute of Ferrous Metallurgy of NAS of Ukraine (Dnipro, Ukraine)

<sup>2</sup> JSW «BSW — Management Company of Holding «BMC», (Zhlobin, Belarus)

E-mail: lutsenko@optima.com.ua

**Abstract:** Chromium-molybdenum-bearing steels (grades 42CrMo4 and 31CrMoV9) are used for production of the details of responsible applica-

tion that are working in the conditions of heavy loads. The content of carbon and alloying elements in these steels, as well as the grain size have significant impact on a complex of mechanical properties. Influence of austenitization temperature on austenite grain size of chromium-molybdenum and chromium-molybdenum-vanadium steels is studied. It was revealed that the structure of both a.m. steels consisted of tempered martensite after pilot heat treatment. Dispersion of grain size values for austenite in both steel grades makes 4–7 points, while the most part of austenite grains were characterized as 5–6 points. Increased chromium content in 31CrMoV9 steel (compared with 42CrMo4 steel) and vanadium alloying resulted in obtaining of more fine austenite grain. It is shown that increase of austenitization temperature from 850 to 1050 °C leads to variation of the average nominal diameter of austenitic grain in the structure of chromium-molybdenum steel from 0.053 to 0.060 mm, and in chromium-molybdenum-vanadium steel — from 0.044 to 0.078 mm. Thereby, size of martensite plates increased from 2.5 to 3 points with the same increase of austenitization temperature from 850 to 1050 °C

To form the coarse-grained structure, heating for an austenitization of the steels, containing chromium and molybdenum, should be made at high temperatures above  $A1+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Keywords:** alloyed steels, chromium, molybdenum, vanadium, rolled sections, austenitization temperature, structure, grain size, austenite, martensite.

**References:**

1. U. Jaroni, K.-P. Imlau, O. Hoffmann. Novye podkhody k innovatsionnym produktam i tekhnologiyam obrabotki davleniem v avtomobilestroenii (New approaches to innovative products and forming technologies in automotive industries). *Chernye Metally = Ferrous metals*. 2010. No. 12. pp. 46–53.
2. Greger M., Kursa M. New Forging Technology for Bottoms of Nuclear Plants Pressure Vessels. *Metallurgical Journal*. 2011. Vol. LXIV, No. 4. pp. 30–33.
3. Burko V. A. Osnovnye sposoby polucheniya profilirovannykh zagotovok v resursoberegayushchikh tekhnologiyakh obemnoy shtampovki (Basic methods of obtaining of profile billets in resource-saving technologies of die forging). *Visnik Priazovskogo derzhavnogo tekhnicheskogo universiteta: zbirnik naukovikh prats* (Bulletin of Pryazovia State Technical University: collection of scientific proceedings). Mariupol, 2012. Iss. 24. pp. 75–83.
4. Avdeev V. A., Druyan V. M., Kudrin B. I. *Osnovy proektirovaniya metallurgicheskikh zavodov* (Basis of design of metallurgical plants). Moscow: Intermet Engineering, 2002. 464 p.
5. Steel heat treatment: metallurgy and technologies. George E. Totten, editor — Portland State University: Portland (Oregon, USA). 2006. 820 p.
6. Lutsenko V. A., Matochkin V. A., Panfilova T. N., Shcherbakova V. I. Vliyaniye tekhnologii proizvodstva na kachestvennyye kharakteristiki goryachekatanogo krupnosortnogo prokata iz khromomolibdenovoy elektrostali (Influence of production technology on qualitative characteristics of hot-rolled heavy bars & sections from chromium-molybdenum electric steel). *Byulleten nauchno-tekhnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii «Chernaya metallurgiya» = Bulletin of scientific-technical and economic information "Ferrous metallurgy"*. 2009. Iss. 4(1312). pp. 57–59.
7. Pachurin G. V., Filippov A. A., Kuzmin N. A. Vliyaniye khimicheskogo sostava i struktury stali na kachestvo prokata dlya izgotovleniya boltov (Influence of chemical composition and structure of steel on the quality of rolled products for bolts manufacturing). *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy = International journal of applied and fundamental investigations*. 2014. No. 8. pp. 87–92.
8. ASM Handbook. Vol. 4. Heat Treating, ASM International, Metals Park, OH, USA, 1991. 2173 p.
9. Eduard Houdremont. *Spetsialnye stali* (Handbuch der Sonderstahlkunde). Translated from German; under the editorship of A. S. Zaymovskiy, M. L. Bernshteyn, V. S. Meskin. In two volumes, second edition. Moscow: Metallurgiya, 1966. 1274 p.
10. Romanov I. D., Shatsov A. A., Zakirova M. G. Struktura i svoystva nizkouglerodisty martensitnoy stali, zakalenny s kovochnogo nagreva (Structure and properties of low-carbon martensitic steel, hardened from forging heating). *Trudy Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni R. E. Alekseeva = Proceedings of Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev*. 2014. No. 2(104). pp. 206–212.
11. Lakhtin Yu. M. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov* (Metal science and thermal treatment of metals). Moscow: Metallurgiya, 1983. 359 p.
12. Lutsenko V. A., Bobkov P. A., Golubenko T. N. et al. Structure formation in the heat treatment of alloy steel bar. *Steel in Translation*. 2013. Vol. 43, Iss. 6. pp. 394–398.
13. Lutsenko V. A., Bobkov P. A., Golubenko T. N., Drobyshevskiy L. A., Gritsaenko V. I. Osobennosti strukturoobrazovaniya konstruktsionnoy legirovannoy stali pri termicheskoy obrabotke sortovogo prokata (Basis of structure-formation of structural alloyed steel during thermal treatment of bar). *Stal = Steel in Translation*. 2013. No. 6. pp. 64–68.
14. Lagneborg P., Siwecki T., Zajac S., Hutchinson B. The role of vanadium in microalloyed steels. *Scandinavian Journal of Metallurgy*. 1999. Vol. 28(5). pp. 186–241.

**Румянцев М. И., Черкасов К. Е., Якушев Е. В., Корнилов В. Л., Федосеев С. А., Логинов А. В.**

**Повышение действенности системы управления качеством трубного листового проката на базе статистического прогнозирования свойств. Монография**

Выполнен анализ требований СТО Газпром серии 9000 к системам менеджмента качества ОАО «Уральская Сталь», а также выявлены задачи ее дальнейшего совершенствования. Разработаны показатель и методика оценки действенности инструментов статистического прогнозирования, модели инструментов статистического прогнозирования механических свойств толстолистового проката для труб, а также разработаны и оценены мероприятия по улучшению качества толстолистового проката и действенности системы менеджмента качества ОАО «Уральская Сталь».

Монография может быть полезна как специалистам металлургических предприятий, так и студентам высших учебных заведений, а также аспирантам и соискателям ученых степеней.

ISBN: 978-5-9967-0430-9

Страницы: 135

Переплет: твердый

Издатель: Издательство ФГБОУ ВО МГТУ им. Г. И. Носова

Язык: Russian

Год издания: 2013



Реклама

**По вопросам приобретения книги обращайтесь:**

119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 6., корп. 1, НИТУ МИСИС, "А"-корпус, 6-й этаж, офис 624.

E-mail: books@rudmet.ru

Тел: (495) 955-01-75



**«Руда и Металлы»**  
Издательский дом