



УДК 669.1.017:669.112.227.3:669.15*26*28*292-194

Поступила 16.02.2017

ВЛИЯНИЕ АУСТЕНИТИЗАЦИИ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ХРОМОМОЛИБДЕНОВАНАДИЕВОЙ СТАЛИ ПОСЛЕ ВЫСОКОГО ОТПУСКА

EFFECTS OF AUSTENITIZATION ON STRUCTURE FORMATION CHROMO-MOLYBDENUM-VANADIUM STEEL AFTER HIGH TEMPERING

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

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

Н. А. ГЛАЗУНОВА, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, 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 Sciences of Ukraine, Dnepr city, Ukraine, 1, Starodubov str.

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

N. A. GLAZUNOVA, OJSW «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Belarus, 37, Promyshlennaya str.

Изучено влияние температуры аустенитизации хромомолибденованадиевой стали на структурообразование при смягчающей термической обработке. Показано, что снижение температуры аустенитизации способствует уменьшению значений микротвердости благодаря интенсификации сфероидизации перлита после определенного переохлаждения и высокого отпуска. Повышение температуры аустенитизации приводит к формированию неравномерной структуры после отпуска.

Influence of austenitization temperature of chrome-molybdenum-vanadium steel on structure formation at the softening heat treatment is studied. It is shown that the decline of the austenitization temperature promotes to reduce the micro-hardness values due to the intensification of spheroidizing of pearlite after the overcooling and high tempering. Increasing the austenitization temperature leads to formation of an uneven structure after tempering.

Ключевые слова. *Хромомолибденованадиевая сталь, аустенитизация, температура, охлаждение, высокий отпуск, структура, микротвердость.*

Keywords. *Chrome-molybdenum-vanadium steel, austenitization, temperature, cooling, high tempering, structure, micro-hardness.*

Горячекатаный стальной прокат, предназначенный для механической обработки, после прокатки имеет повышенную твердость, обусловленную пластинчатой морфологией карбидной фазы. Высокая твердость затрудняет механическую обработку, поэтому такой прокат подвергают смягчающей обработке – отжигу, высокому отпуску.

Для низко- и среднеуглеродистых легированных сталей актуальна интенсификация процесса сфероидизации цементита с получением равномерной структуры. Основными способами интенсификации превращений являются подготовка структурного состояния стали перед обработкой и использование рациональных температурных режимов. В работах [1, 2] показано, что повышение температуры аустенитизации оказывает влияние на размер аустенитного зерна и устойчивость переохлажденного аустенита при непрерывном охлаждении. Поэтому представляет интерес исследовать влияние различных температур аустенитизации перед смягчающей термической обработкой на структуру и микротвердость легированной стали.

Цель работы – изучить влияние температуры нагрева (аустенитизации) и размера формируемого аустенитного зерна хромомолибденованадиевой стали на особенности структурообразования после высокого отпуска.

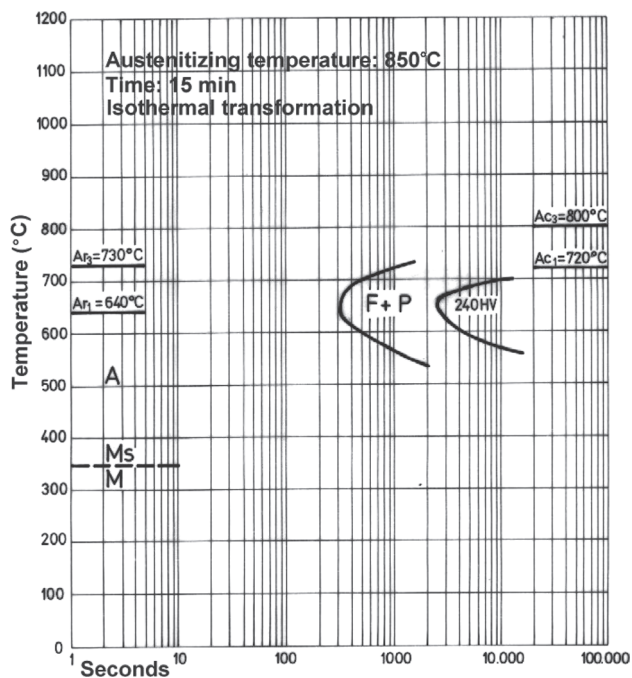


Рис. 1. Изотермическая диаграмма стали 31CrMoV9 [3]

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: 0,34% C; 0,25% Si; 0,65% Mn; 2,59% Cr; 0,23% Mo; 0,18% V; 0,011% P; 0,025% S.

Исследование структуры проводили с использованием микроскопа «НЕОРНОТ 2». Структуру оценивали по ГОСТ 8233-56, микротвердость – по ГОСТ 9450-76 (с использованием микротвердомера «ПМТ-3» с нагрузкой 100 г).

Легированная сталь марки 31CrMoV9 производится в виде проката больших сечений согласно требованиям норм EN 10085. В настоящий момент существует [3] изотермическая диаграмма для стали 31CrMoV9 (рис. 1).

Из рисунка видно, что превращения в исследуемой стали проходят в интервале температур 540–730 °С.

Экспериментальная термическая обработка стали марки 31CrMoV9 состояла в нагреве в печи до

850 и 1050 °С с выдержкой 30 мин и ступенчатой обработкой: с подстуживанием и выдержкой при температурах ниже перлитного превращения, последующим высоким отпуском с нагревом до 680 °С и изотермической выдержкой, достаточной для завершения превращений.

После аустенизации с нагревом до 850 °С и ступенчатой термической обработки структура хромомолибденованадиевой стали равномерна и состоит из пластинчатого и сфероидизированного перлита различной дисперсности (рис. 2, а, б).

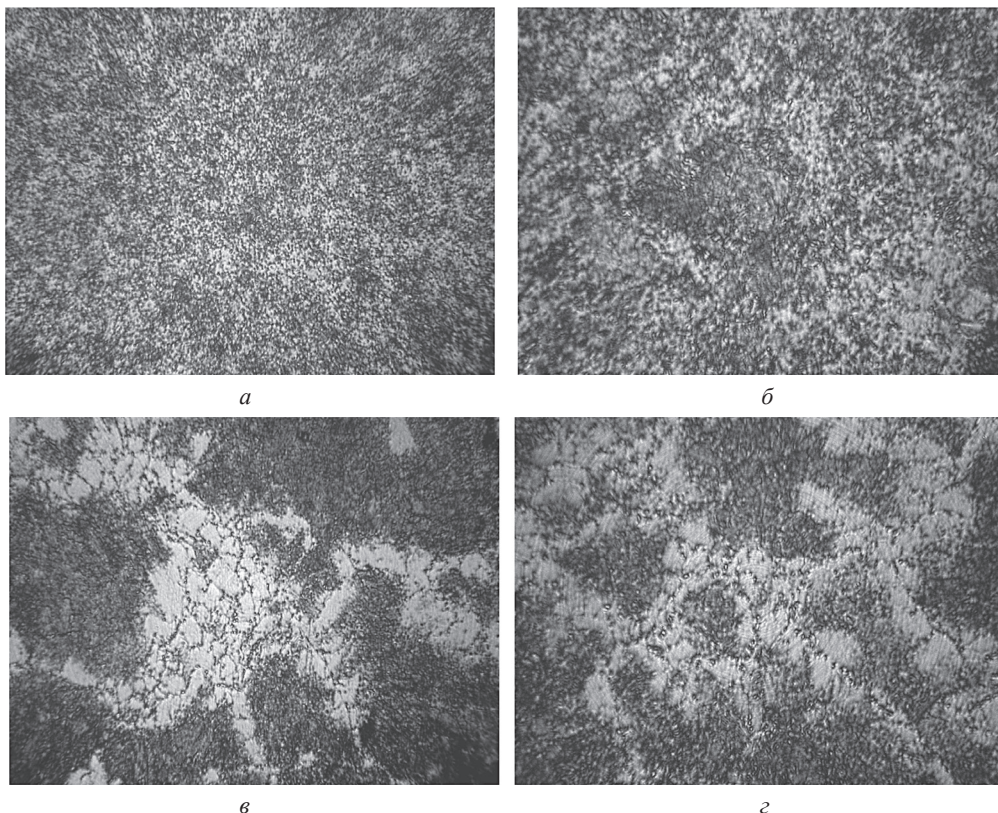


Рис. 2. Структура стали 31CrMoV9 после нагрева до температуры 850 °С (а, б) и 1050 °С (в, г) и высокого отпуска: а, в – ×500; б, г – ×800

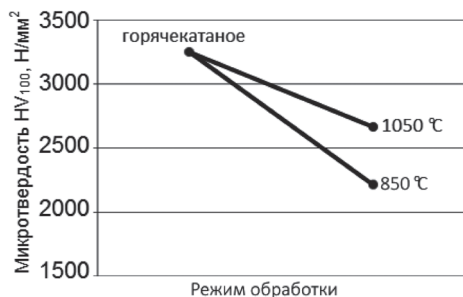


Рис. 3. Изменение средних значений микротвердости исследуемой стали после нагрева (850 и 1050 °C), охлаждения и высокого отпуска от исходного горячекатаного состояния

С повышением температуры аустенитизации от 850 до 1050 °C величина зерна растет. Так, максимальный условный диаметр аустенитного зерна увеличивается от 0,063 до 0,084 мм [2], т. е. с 5-го до 4-го номера согласно ГОСТ 5639-82.

При высоком отпуске после охлаждения от температуры аустенитизации 1050 °C в структуре наблюдаются крупные зерна (рис. 2, в, з), по границам которых образовались ферритные зерна. Структура характеризуется неравномерностью и состоит из избыточного полигонального феррита, пластинчатого и сфероидизированного перлита. Такая структурная неоднородность объясняется повышением устойчивости аустенита. Известно [1], что повышение температуры аустенитизации увеличивает устойчивость аустенита при охлаждении хромомолибденованадиевой стали, в результате чего частичное превращение аустенита проходит в ферритной области.

Процесс сфероидизации сопровождается коагуляцией карбидов на границах ферритных зерен [4]. Темные участки (рис. 2, в, з) представляют собой результат неполного структурного превращения и имеют смешанную морфологию карбидов (сферическую и пластинчатую).

Изучение микротвердости исследуемых образцов (рис. 3) показало, что обработка после аустенитизации, подстуживания и высокого отпуска приводит к снижению значений микротвердости хромомолибденованадиевой стали по сравнению с исходным горячекатаным состоянием. Повышенное значение микротвердости после аустенитизации при 1050 °C в сравнении с температурой 850 °C предположительно связано с растворением карбидов ванадия [5], переходом их в твердый раствор и упрочнением ферритной матрицы [6].

Таким образом, показано, что высокотемпературная аустенитизация хромомолибденованадиевой стали и последующая ступенчатая обработка с определенным подстуживанием и высоким отпуском при 680°C приводит к образованию частично сфероидизированной структуры и уменьшению микротвердости. Такие свойства обеспечат улучшение механической обрабатываемости данной стали, что снизит расход режущего инструмента.

Выводы

Изучены особенности структурообразования в хромомолибденованадиевой стали после нагрева до различных температур аустенитизации и последующего высокого отпуска. Установлено, что повышение температуры аустенитизации до 1050 °C приводит после охлаждения и высокого отпуска к формированию неравномерной структуры: избыточного полигонального феррита, пластинчатого и сфероидизированного перлита. Такая же обработка при температуре аустенитизации 850 °C формирует равномерную структуру из пластинчатого и сфероидизированного перлита различной дисперсности. Интенсификация образования сфероидизированной структуры снижает значения микротвердости в сравнении с горячекатаным состоянием.

Литература

1. Особенности кинетики распада и структурообразования в хромомолибденованадиевой стали при непрерывном охлаждении от различных температур аустенитизации / В. А. Луценко, Т. Н. Голубенко, О. В. Луценко, Н. А. Глазунова // *Литье и металлургия*. 2016. № 3 (84). С. 82–86.
2. Влияние температуры аустенитизации на величину зерна стали 31CrMoV9 / В. А. Луценко, Т. Н. Голубенко, О. В. Луценко, С. Н. Шехурдин // *Литье и металлургия*. 2016. № 2 (83). С. 52–55.
3. Metal Ravne: Steel PO735 [Электронный ресурс] / завод «Metal Ravne d. o. o.» – Электронные данные. Словения, 2015. Режим доступа: <http://www.metallravne.com/steelselector/steels/PO735.html>, свободный.
4. Mechanical properties and structure of the Cr-Mo-V low-alloyed steel after long-term service in creep condition / J. Dobrzański, A. Zieliński, H. Krztoń // *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 2007. Vol. 23, № 1. P. 39–42.
5. The role of Vanadium in microalloyed steels / R. Lagneborg, T. Siwecki, S. Zajac, B. Hutchinson. Swedish Institute for Metals Research: Stockholm, Sweden. 1999. 81 p.
6. Гудремон Э. Специальные стали / Э. Гудремон. В 2-х т. Изд. 2-е. М.: Металлургия, 1966. 1274 с.

References

1. Lutsenko V. A., Golubenko T. N. Osobennosti kinetiki raspada i strukturoobrazovaniya v hromomolibdenovanadievoy stali pri nepreryivnom ohlazhdenii ot razlichnykh temperatur austenitizatsii [Features of kinetics of decay and formation of structure in chro-

mo-molibdenum-vansdium steel at continuous cooling from different temperatures of austenitization]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*. 2016, no. 3, pp. 82–86.

2. **Lutsenko V. A., Golubenko T. N., Lutsenko O. V., Shehurdin S. N.** Vliyanie temperatury austenizatsii na velichinu zerna stali 31CrMoV9 [Effects of temperature on austenitization grain size steel 31CrMoV9]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2016, no. 2, pp. 52–55.

3. **Metal Ravne:** Steel PO735 [Elektronnyy resurs] / zavod «Metal Ravne d. o. o.» – Elektron. dan. Sloveniya, 2015. – Rezhim dostupa: <http://www.metalravne.com/steelselector/steels/PO735.html>, svobodnyiy.

4. **Mechanical** properties and structure of the Cr-Mo-V low-alloyed steel after long-term service in creep condition. J. Dobrzański, A. Zieliński, H. Krztoń. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2007, vol. 23, is. 1, pp. 39–42.

5. **The** role of Vanadium in microalloyed steels / R. Lagneborg, T. Siwecki, S. Zajac, B. Hutchinson. Swedish Institute for Metals Research: Stockholm, Sweden, 1999. 81 p.

6. **Houdremont E.** *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 Publ., 1966. 1274 p.