



УДК 669.017:669.15*26*28*292-194:669.112,227.3

Поступила 09.08.2016

ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИКИ РАСПАДА И СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ В ХРОМОМОЛИБДЕНОВАНАДИЕВОЙ СТАЛИ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ОХЛАЖДЕНИИ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУР АУСТЕНИТИЗАЦИИ

FEATURES OF KINETICS OF DECAY AND FORMATION OF STRUCTURE IN CHROMO-MOLYBDENUM-VANADIUM STEEL AT CONTINUOUS COOLING FROM DIFFERENT TEMPERATURES OF AUSTENITIZATION

*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, 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, Dnepr city, Ukraine, 1, Starodubov ave.*

E-mail: lutsenko@optima.com.ua

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

Изучено влияние размера аустенитного зерна хромомолибденованадиевой стали на структурообразование при непрерывном охлаждении. Показано, что при укрупнении зерна с повышением температуры аустенитизации с 850 до 1050 °С увеличивается устойчивость переохлажденного аустенита в структуре хромомолибденованадиевой стали, что способствует снижению критической скорости закалки.

Influence of austenite grain size of chrome-molybdenum-vanadium steel on formation of structure at continuous cooling has been studied. It is shown, that at the coarsening of grain with increasing temperature of austenitization from 850 till 1050 °C stability of the supercooled austenite in structure of chrome-molybdenum-vanadium steel is increased, that is promoted decrease in critical quenching rate.

Ключевые слова. *Хромомолибденованадиевая сталь, аустенитизация, температура, размер зерна, охлаждение, структура, термокинетическая диаграмма.*

Keywords. *Chrome-molybdenum-vanadium steel, austenitization, temperature, grain size, cooling, structure, continuous cooling transformation diagram.*

Технология производства сортового проката включает в себя комплекс основных операций: нагрев заготовки, горячую прокатку, охлаждение, отделку проката для придания ему необходимых технологических свойств и формы и термическую обработку.

На производстве режимы горячей прокатки и термической обработки в основном определяются температурой аустенитизации, степенью, скоростью деформации и скоростью охлаждения после окончания деформации. Эти параметры влияют на формирование микро- и тонкой структуры и, как следствие, на комплекс механических свойств материала. Термическая обработка стального проката в машиностроении направлена на создание такого структурного состояния, которое обеспечивает высокую производительность обработки резанием, холодной высадки или штамповки. Окончательная термическая обработка направлена на получение необходимого комплекса свойств металлоизделия. При этом закалка сталей с ограниченной прокаливаемостью может быть затруднена, поскольку вследствие широкого температурно-деформационного интервала и низкой устойчивости аустенита образуется гетерогенная структура с большой степенью разнородности, что является причиной нестабильности механических свойств.

Поэтому для многих деталей машиностроения применяют стали, легированные хромом, молибденом и ванадием. Эти карбидообразующие элементы расширяют область устойчивого переохлажденного аустенита, снижая критическую скорость закалки.

Скорость охлаждения с температуры конца горячей деформации представляет особый интерес для производства крупногабаритных изделий, в конструкции которых присутствуют сечения различной величины.

Цель работы – изучить влияние температуры нагрева (аустенитизации) и соответственно размера формируемого аустенитного зерна хромомолибденованадиевой стали на особенности структурообразования при различном непрерывном охлаждении.

Исходным материалом для исследований служили образцы проката диаметром 140 мм непрерывно-литой вакуумированной хромомолибденованадиевой стали марки 31CrMoV9 производства ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», химический состав которой приведен в таблице. Нагрев образцов проводили до температур 850 и 1050 °С, выдержка 30 мин и охлаждение до комнатной температуры в печи, муфеле и на воздухе.

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

Сталь марки 31CrMoV9 (1.8519) относится к легированным азотируемым сталям для проката больших сечений и производится согласно требованиям норм EN 10085, а также стандарта DIN 17211 (Германия). Отечественным аналогом такой стали является марка 30X3МФ по ГОСТ 4543-71.

В настоящий момент существуют построенные термокинетические диаграммы для стали 31CrMoV9 [1] и ближайшего аналога 30X3АМФ [2], химический состав которых приведен в таблице.

Химический состав исследуемой хромомолибденованадиевой стали и ее аналогов

Марка стали	Требования и материал	Содержание химических элементов, %					
		C	Si	Mn	Cr	Mo	V
31CrMoV9	EN 10085	0,27–0,34	max. 0,40	0,40–0,70	2,30–2,70	0,15–0,25	0,10–0,20
	Состав исследованной стали	0,34	0,25	0,65	2,59	0,23	0,18
	Состав [1]	0,30	0,40	0,55	2,50	0,20	0,15
30X3МФ	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
	30X3АМФ* [2]	0,29	0,37	–	2,47	0,21	0,14

* Содержание N – 0,0109%.

Дополнительное легирование стали азотом (30X3АМФ) приводит к значительному изменению линий термокинетической диаграммы (рис. 1): замедлению бейнитного превращения, уменьшению критической скорости закалки и повышению критических температур распада (A_1 и A_3). На кинетику распада аустенита и вид термокинетической диаграммы, кроме состава стали, могут оказывать влияние размер зерна и температура аустенитизации [2].

Изучение влияния температуры аустенитизации на кинетику распада и структурные превращения в хромомолибденованадиевой стали проводили на образцах, нагретых до температур 850 и 1050 °С, с последующим охлаждением с различной скоростью.

После аустенитизации и медленного охлаждения с печью структура исследуемой стали марки 31CrMoV9 состояла из феррита и пластинчатого перлита различной дисперсности (рис. 2). После нагрева до температуры аустенитизации 850 °С большое количество карбидов ванадия остается нерастворенным [3]. Они равномерно распределяются по всей поверхности в виде мелких частиц. Небольшие точки на светлых участках (рис. 2, а) представляют собой равномерное распределение в ферритной матрице карбидов ванадия.

При повышении температуры аустенитизации до температур 1050 °С наблюдается укрупнение зерен [4] и снижение количества остаточных карбидов, в результате основная часть зерен феррита не содержит мелких частиц (рис. 2, б). Это подтверждает известный факт [5], что на рост зерен аустенита влияют включения (карбиды [6], нитриды), которые тормозят движение границ зерен при температурах ниже их растворения в аустените.

В структуре при повышенной температуре нагрева формируется также некоторое количество бейнита, имеющего вид одинаково ориентированных стержней в пределах одного первичного зерна аустенита.

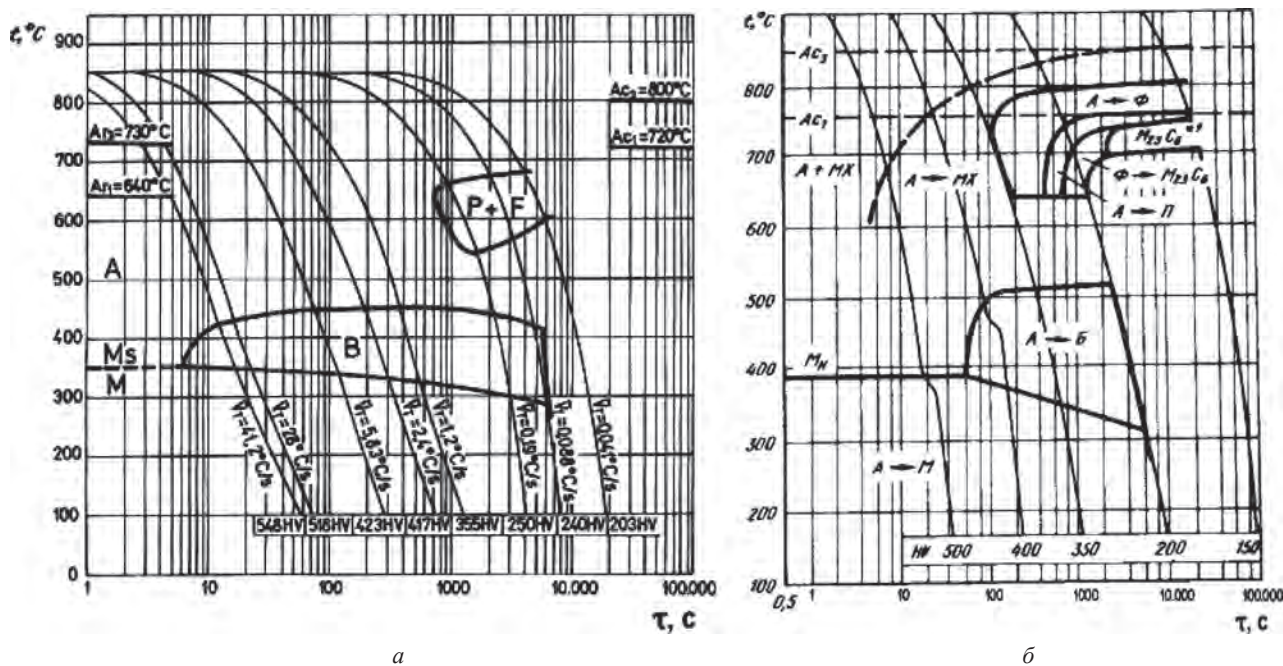


Рис. 1. Термокинетические диаграммы легированных сталей 31CrMoV9 (а) и 30X3AMФ (б) [1, 2]

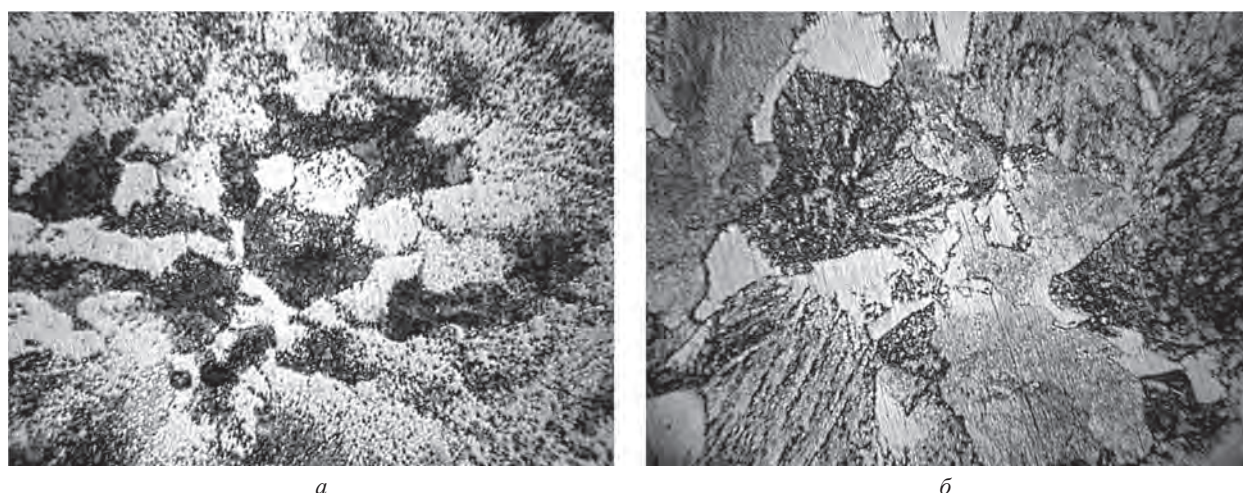


Рис. 2. Микроструктура стали 31CrMoV9 после нагрева до температур 850 °С (а), 1050 °С (б) и последующего охлаждения в печи. $\times 500$

Увеличение размера аустенитного зерна при повышенных температурах привело к образованию крупных зерен перлита и феррита.

С повышением скорости охлаждения (охлаждение в муфеле) после нагрева до различных температур структура исследуемой стали (рис. 3) состояла из бейнита с неравномерно распределенными частицами цементита и феррита, а также некоторых участков мартенсита.

Увеличение значений микротвердости исследованной стали от 2238–2609 Н/мм² при температуре 850 °С до 3897–5090 Н/мм² при 1050 °С показывает, что с повышением температуры аустенитизации последующий распад аустенита проходит при более низких температурах [7]. Таким образом, увеличение температуры аустенитизации хромомолибденованадиевой стали замедляет протекание промежуточного превращения.

После процесса аустенитизации и последующего повышения скорости охлаждения (на воздухе) структура хромомолибденованадиевой стали состояла из бейнита и мартенсита (рис. 4).

С повышением температуры нагрева (аустенитизации) количество мартенсита увеличивается и составляет 5–10% при 850 °С (рис. 4, а) и 15–25% при 1050 °С (рис. 4, б).

Следовательно, повышение температуры аустенитизации при непрерывном охлаждении приводит к изменению кинетики распада аустенита: к увеличению устойчивости переохлажденного аустенита и снижению критической скорости закалки.

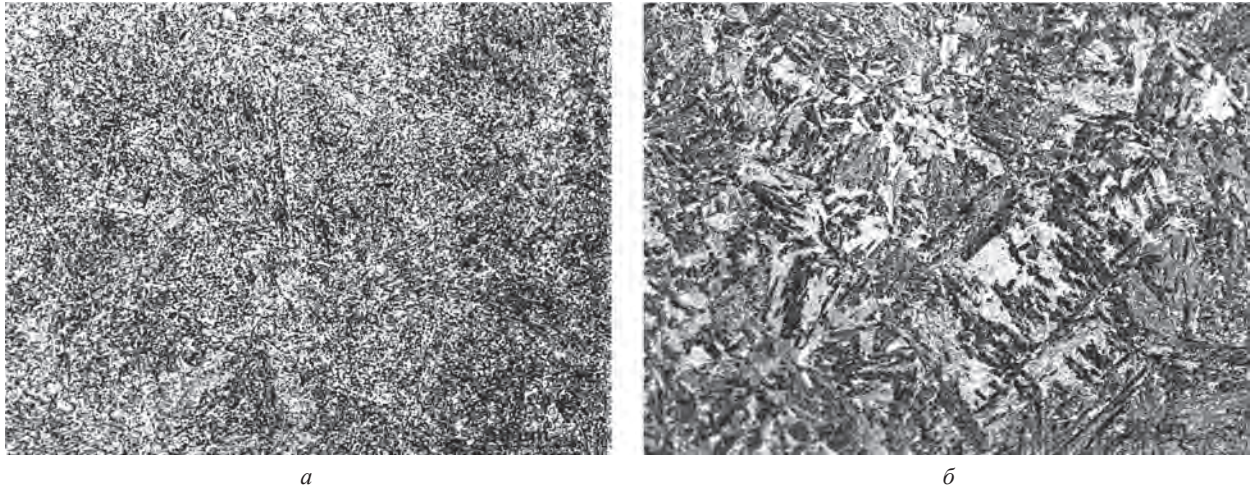


Рис. 3. Микроструктура стали 31CrMoV9 после нагрева до температур 850 °С (а), 1050 °С (б) и последующего охлаждения с муфелем. $\times 500$

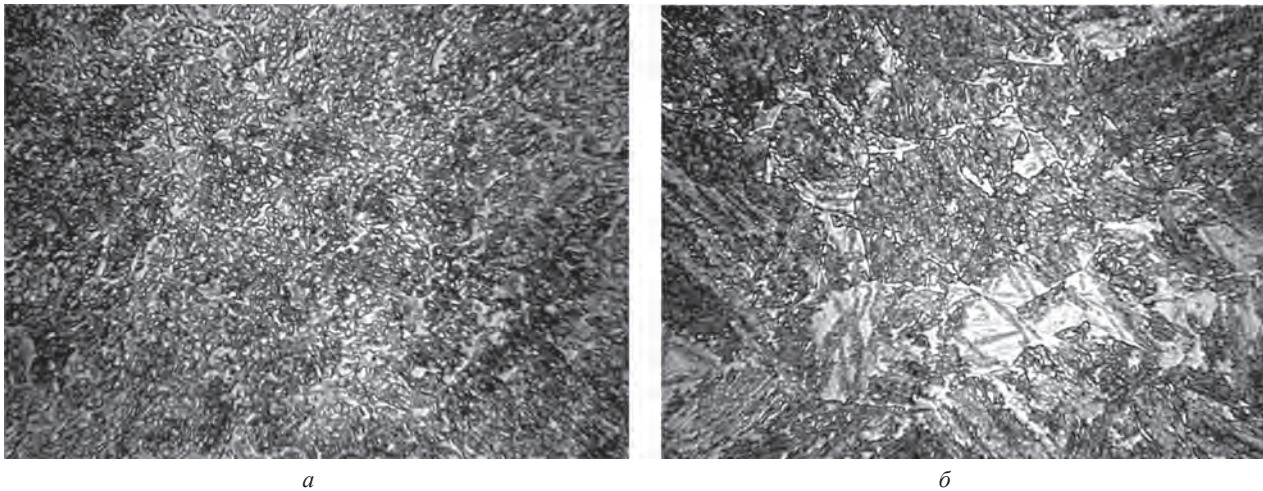


Рис. 4. Микроструктура стали 31CrMoV9 после нагрева до температур 850 °С (а) и 1050 °С (б) и последующего охлаждения на воздухе. $\times 500$

Выводы

Изучены особенности структурообразования в хромомолибденованадиевой стали после нагрева до различных температур аустенитизации (850, 1050 °С) и последующего непрерывного охлаждения с различными скоростями. Выявлено, что повышение температуры аустенитизации приводит к укрупнению зерен хромомолибденованадиевой стали за счет растворения карбидов ванадия, что обеспечивает замедление процесса распада и повышение устойчивости переохлажденного аустенита и снижению критической скорости закалки.

Литература

1. Metal Ravne: Steel PO735 [Электронный ресурс].
2. Попова Л. Е. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана: справ. термиста / Л. Е. Попова, А. А. Попов. М.: Metallurgy, 1991. 503 с.
3. Металлография железа. Структура сталей (с атласом микрофотографий) / Пер. с англ. В. П. Калинина, Н. А. Зоидзе, Н. В. Чаргеишвили; под ред. Ф. Н. Тавадзе. М.: Metallurgy. 1972. Т. 2. 284 с.
4. 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. С. 52–55.
5. Steel heat treatment: metallurgy and technologies / George E. Totten.: Taylor & Francis Group, LLC, 2006. 820 p.
6. Воробьев Ю. П. Карбиды в сталях // Изв. Челябинского науч. центра. 2004. Вып. 2(23). С. 34–60.
7. Особенности распада переохлажденного аустенита в стали 10X9B2MФБР в условиях непрерывного охлаждения [Электронный ресурс]: электронный научный журнал / В. Н. Скоробогатых, И. А. Щенкова, П. А. Козлов, С. В. Беликов, А. Ю. Жиляков // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 1. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=8200>.

References

1. **Metal Ravne:** Steel PO735 [Elektronnyiy resurs].
2. **Popova L. E., Popov A. A.** *Diagrammy prevrascheniya austenita v stalyah i beta-rastvora v splavah titana (spravochnik termista)*. Moscow, Metallurgiya Publ., 1991. 503 p.
3. **Metallografiya zheleza.** *Struktura staley (s atlasom mikrofotoGRAFIY)*. Moscow, Metallurgiya Publ., 1972. Vol. 2. 284 p.
4. **Lutsenko V. A., Golubenko T. N., Lutsenko O. V., Shehurdin S. N.** Vliyanie temperatury austenizatsii na velichinu zerna stali 31CrMoV9 [Effects of temperature on austenitizing grain size steel 31CrMoV9]. *Lit'e i metallurgiya = Foudry production and metallurgiya*, 2016, no. 2, pp. 52–55.
5. **Steel heat treatment: metallurgy and technologies.** George E. Totten. Taylor & Francis Group, LLC. 2006. 820 p.
6. **Vorob'ev Yu. P.** *Karbidy v stalyah.* Izvestiya Chelyabinskogo nauchnogo tsentra. 2004. Vyip. 2(23), pp. 34–60.
7. **Osobennosti raspada pereohlazhdennogo austenita v stali 10H9V2MFBR v usloviyah nepreryivnogo ohlazhdeniya** [Elektronnyiy resurs]: elektronnyiy nauchnyiy zhurnal. V. N. Skorobogatyih, I. A. Schenkova, P. A. Kozlov, S. V. Belikov, A. Yu. Zhilyakov. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. 2013. no. 1. Rezhim dostupa: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=8200>.