



УДК 669.017:669.112.227.3:669.15\*26\*26-194

Поступила 01.08.2017

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ АУСТЕНИТИЗАЦИИ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ОХЛАЖДЕНИИ ХРОМОМОЛИБДЕНОВОЙ СТАЛИ

## THE IMPACT OF AUSTENITIZATION TEMPERATURE ON A STRUCTURES FORMATION UNDER CONTINUOUS COOLING OF THE CHROMO-MOLYBDENUM STEEL

*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, Z. I. Nekrasov Iron & Steel Institute of the  
National Academy of Sciences of Ukraine, Dnepr city, Ukraine, 1, Starodubov area.*

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

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

*Изучено влияние изменения размера аустенитного зерна хромомолибденовой стали на кинетику распада при непрерывном охлаждении. Показано, что при укрупнении зерна с повышением температуры аустенизации с 850 до 1050 °С в структуре хромомолибденовой стали увеличивается устойчивость переохлажденного аустенита в процессе распада по промежуточному и сдвиговому механизму, что способствует снижению критической скорости закалки.*

*The impact of the austenite grain growth of chromo-molybdenum steel on the kinetics of structural decomposition under continuous cooling was studied. It is shown that when the grain is enlarged with an increase in the austenitization temperature from 850 till 1050 °C, the stability of the supercooled austenite in the structure of the chromo-molybdenum steel during the decay process by the intermediate and shear mechanism increases, which contributes to a decrease in the critical quenching rate.*

**Ключевые слова.** *Хромомолибденовая сталь, аустенизация, температура, размер зерна, охлаждение, структура.*

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

Современное машиностроение предъявляет все более высокие требования к эксплуатационным свойствам материалов. Применяя различные технологические схемы термической обработки легированного проката, можно изменять прочностные свойства путем воздействия на процессы структурообразования. Механические и эксплуатационные свойства металла определяются структурой металла, которая зависит от химического состава, условий деформации, температуры и режима охлаждения.

Стали, подвергающиеся упрочнению, легируют карбидообразующими элементами, повышающими устойчивость переохлажденного аустенита [1], улучшая закаливаемость. Для производства ответственных деталей (валов, шестерен, дисков, турбин), к которым предъявляют требования высокой прочности, вязкости и износостойкости, применяются среднеуглеродистые стали, легированные хромом и молибденом.

Традиционно основные параметры термической обработки устанавливаются на основании построенных термокинетических либо изотермических диаграмм. Кинетика распада аустенита и соответственно вид термокинетической диаграммы зависят от химического состава стали, однако на нее может оказывать влияние также величина исходного зерна, которая зависит от температуры аустенизации.

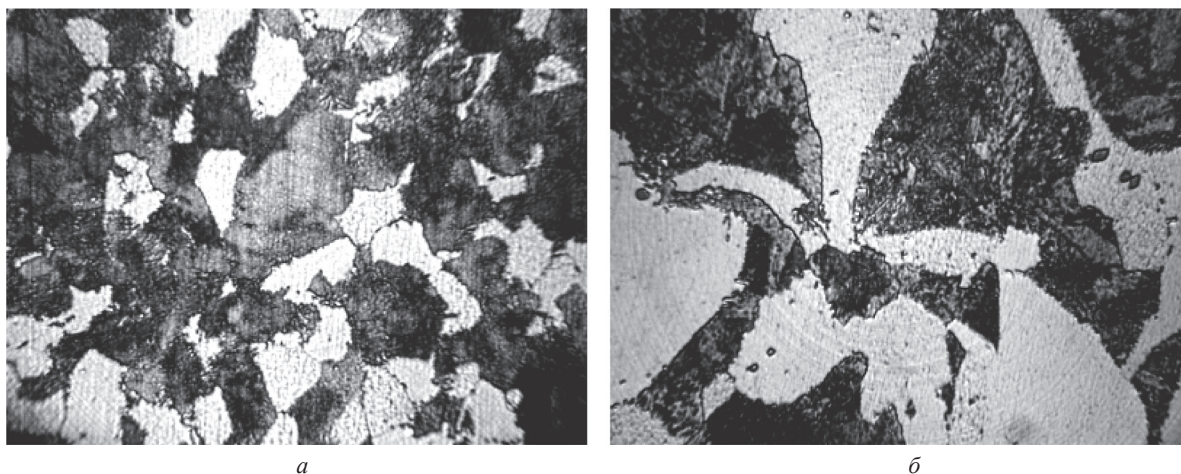


Рис. 1. Микроструктура стали 42CrMo4 после нагрева до температур 850 °C (а), 1050 °C (б) и последующего охлаждения в печи.  $\times 500$

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

Исходным материалом для исследований служили образцы проката диаметром 140 мм непрерывно-литой вакуумированной хромомolibденовой стали марки 42CrMo4 производства ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» следующего химического состава: 0,385%С, 0,228%Si, 0,736%Mn, 1,035%Cr, 0,243%Mo, 0,010%P, 0,024%S.

Нагрев образцов проводили до температур 850 и 1050 °C с выдержкой полчаса и охлаждением до комнатной температуры при различных условиях: с печью (0,03–0,07 °C/с), в муфеле (0,4–0,8 °C/с), на воздухе (2–8 °C/с), в воде (250–300 °C/с).

Исследование структуры проводили с использованием микроскопа «НЕОФНОТ 2». Структуру оценивали по ГОСТ 8233-56, микротвердость – по ГОСТ 9450-76 (с использованием микротвердомера «ПМТ-3» с нагрузкой 100 г), величину зерна определяли по ГОСТ 5639-82.

Хромомolibденовая сталь марки 42CrMo4 производится согласно требованиям европейского стандарта EN 10083. Отечественным аналогом стали служат стали марки 35ХМ и 38ХМ по ГОСТ 4543-71.

В настоящий момент существует построенная нами термокинетическая диаграмма для стали 42CrMo4 [2] и ближайшего аналога 35ХМ [3]. Как было показано ранее для стали 31CrMoV9 [4], на кинетику распада аустенита может оказывать влияние температура аустенитизации.

Исследования влияния температуры нагрева на величину зерна аустенита хромомolibденовой стали проводили согласно ГОСТ 5639-82 после закалки в воде. Основная часть зерен (73%) при температурах нагрева 850–1050 °C отвечала 5-му номеру. С повышением температуры количество зерен 6-го номера снизилось с 25 до 6%, а 4-го номера повысилось от 2 до 22%.

В ранее изученной стали, дополнительно легированной ванадием [5], разница в размере зерен более существенная (разнозернистость от 4-го до 7-го номера).

После аустенитизации и медленного охлаждения с печью структура исследуемой стали марки 42CrMo4 состояла из феррита и пластинчатого перлита различной дисперсности (рис. 1).

Увеличение размера аустенитного зерна при повышенных температурах (1050 °C) привело к образованию крупных зерен перлита и феррита. В этом случае температура нагрева повлияла на размер зерна структурных составляющих, не влияя на кинетику распада аустенита.

Ускорение охлаждения (охлаждение в муфеле) после нагрева до различных температур привело к изменению структурного состояния. Структура исследуемой стали состояла из бейнита, перлита и феррита. Причем количественное соотношение структурных составляющих различалось. Количество бейнита, образующегося при охлаждении с температур аустенитизации 850 °C, составляет 40–50% (рис. 2, а). С повышением температуры аустенитизации до 1050 °C образуется 65–75% бейнита (рис. 2, б), что свидетельствует о повышении устойчивости переохлажденного аустенита (смещение линий превращений на термокинетической диаграмме). Увеличение средних значений микротвердости структурных составляющих исследованной стали (см. таблицу) подтверждает повышение устойчивости распада аустенита, превращение которого проходит при более низких температурах.



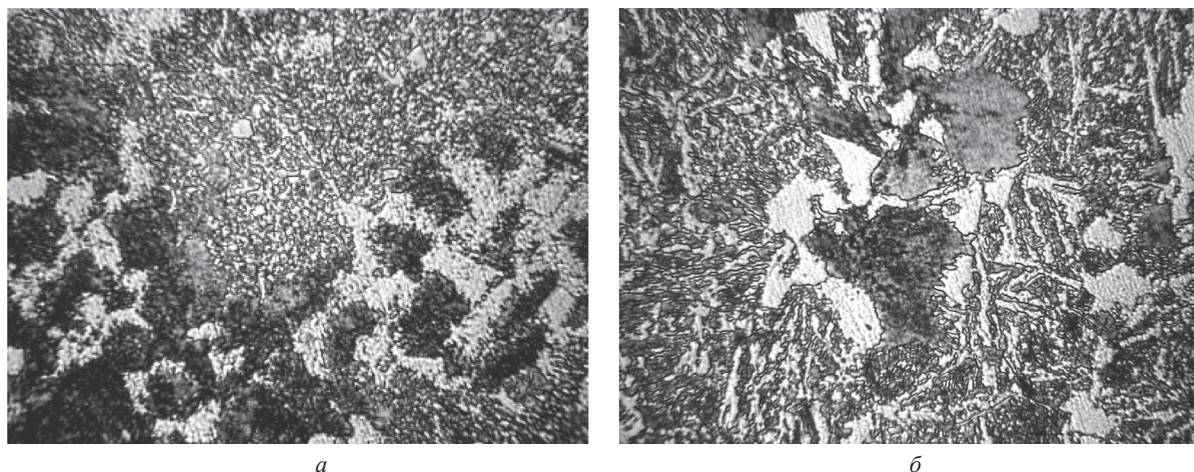


Рис. 2. Микроструктура стали 42CrMo4 после нагрева до температур 850 °С (а), 1050 °С (б) и последующего охлаждения с муфелем.  $\times 500$

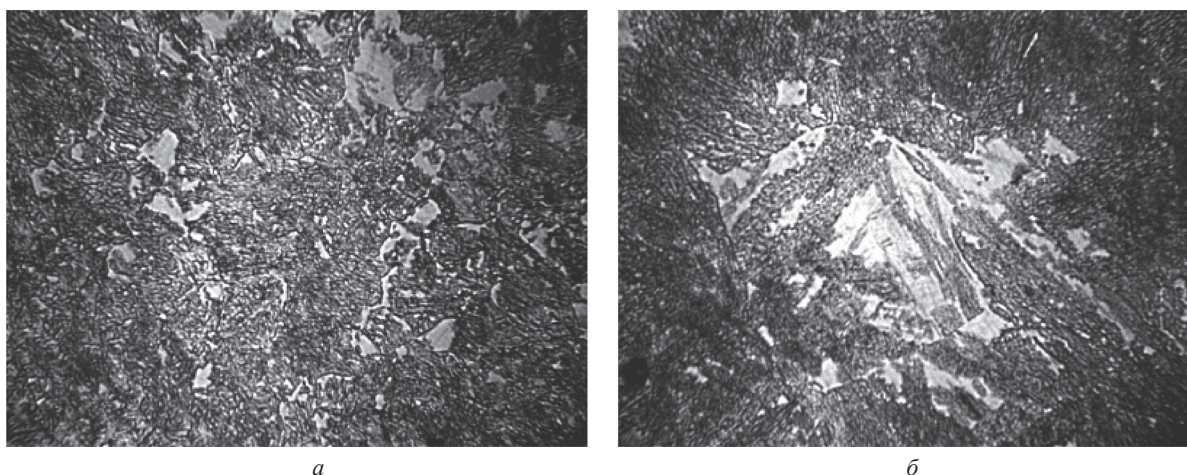


Рис. 3. Микроструктура стали 42CrMo4 после нагрева до температур 850 °С (а) и 1050 °С (б) и последующего охлаждения на воздухе.  $\times 500$

#### Влияние температуры аустенитизации хромомолибденовой стали на значения микротвердости формируемых структур

Температура аустенитизации, °С	Средние значения микротвердости по структурным составляющим, Н/мм <sup>2</sup>	
	бейнит	перлит
850	3215	2671
1050	4603	4331

Следовательно, повышение температуры аустенитизации хромомолибденовой стали замедляет протекание промежуточного превращения.

После процесса аустенитизации и последующего повышения скорости охлаждения (на воздухе) структура хромомолибденовой стали состояла из бейнита и мартенсита (рис. 3).

С повышением температуры нагрева (аустенитизации) количество мартенситной структуры увеличивается и составляет: 10–15% при 850 °С (рис. 3, а) и 30–45% при 1050 °С (рис. 3, б).

Следовательно, повышение температуры аустенитизации сталей, легированных хромом и молибденом, при непрерывном охлаждении приводит к изменению кинетики распада аустенита в бейнитной и мартенситной областях: к увеличению устойчивости переохлажденного аустенита и снижению критической скорости закали.

#### Выводы

Изучены особенности структурообразования в хромомолибденовой стали после нагрева до различных температур аустенитизации (850, 1050 °С) и последующего непрерывного охлаждения в различных условиях. Выявлено, что повышение температуры аустенитизации приводит к укрупнению зерен хромомолибденовой стали, что в процессе распада по промежуточному и сдвиговому механизму обеспечивает

замедление протекания распада, повышение устойчивости переохлажденного аустенита и повышение закаливаемости.

### Литература

1. **Металлография** железа. Структура сталей (с атласом микрофотографий) / Под ред. Ф. Н. Тавадзе. М.: Металлургия, 1972. 284 с.
2. **Особенности** формирования структуры в сортовом прокате из конструкционной легированной электростали / В. А. Луценко, П. А. Бобков, Т. Н. Голубенко, Л. А. Дробышевский, А. С. Козачек и др. // Бюл. науч.-техн. и эконом. информ. «Черная металлургия». 2013. № 1. С. 63–66.
3. **Попова Л. Е.** Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана / Л. Е. Попова, А. А. Попов. М.: Металлургия, 1991. 503 с.
4. **Особенности** кинетики распада и структурообразования в хромомolibденованадиевой 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. С. 82–86.
5. **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.

### References

1. **Metallografija zheleza. Struktura stalej (s atlasom mikrofotografij)** [Metallography of iron. Structure of steels (with atlas of microphotographs)]. Moscow, Metallurgija Publ., 1972, 284 p.
2. **Lutsenko V. A., Bobkov P. A., Golubenko T. N., Drobyshevskij L. A., Kozachek A. S., Lutsenko O. V., Gricenko V. I.** Osobennosti formirovaniya struktury v sortovom prokate iz konstrukcionnoj legirovannoj jelektrostali [Features of the formation of the structure in the rolled products of structural alloyed steel]. *Chernaja metallurgija = Ferrous metallurgy*, 2013, no. 1, pp. 63–66.
3. **Popova L. E., Popov A. A.** *Diagrammy prevrashhenija austenita v staljah i beta rastvora v splavah titana* [Diagrams of transformation of austenite in steels and beta solution in titanium alloys]. Moscow, Metallurgija Publ., 1991, 503 p.
4. **Lutsenko V. A., Golubenko T. N., Lutsenko O. V., Glazunova N. A.** Osobennosti kinetiki raspada i strukturoobrazovanija v hromomolibdenovanadievoj stali pri nepreryvnom ohlazhdenii ot razlichnyh temperatur austenitizacii [Features of the kinetics of decay and formation of structure in chromo-molibdenum-vanadium steel at continuous cooling from different temperatures of austenitization]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2016, no. 3, pp. 82–86.
5. **Lutsenko V. A., Golubenko T. N., Lutsenko O. V., Shehurdin S. N.** Vlijanie temperatury austenizacii na velichinu zerna stali 31CrMoV9 [Effect of temperature of austenizing grain size steel 31CrMoV9]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2016, no. 2, pp. 52–55.