

УДК 669.017:669.112.227.3:669.15*26*28*292-194

В.А.Луценко, Т.Н.Голубенко, О.В.Луценко

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ АУСТЕНИТИЗАЦИИ И СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ХРОМОМОЛИБДЕНОВАНАДИЕВОЙ СТАЛИ*Институт черной металлургии им. З.И.Некрасова НАН Украины*

Изучали влияния температуры аустенизации и скорости охлаждения на структурообразование хромомолибденованадиевой стали при непрерывном охлаждении. Показано, что повышение температуры аустенизации хромомолибденованадиевой стали с 850 до 1050⁰С приводит к укрупнению зерен, что при последующем охлаждении замедляет распад аустенита и повышает его устойчивость.

Ключевые слова: хромомолибденованадиевая сталь, температура, зерно, непрерывное охлаждение, структура

Состояние вопроса. Большая часть сортового проката различного назначения производится из сталей углеродистых обычного качества. Основное внимание при разработке новых марок стали сосредоточено на повышении прочности и улучшении пластичности. Хромомолибденованадиевая сталь применяется для производства судовых деталей, распылителей форсунок, плунжерных пар топливных насосов высокого давления, направляющих тонкостенных гильз и других ответственных деталей, которые должны обладать износостойкостью в условиях высоких давлений. Необходимый комплекс механических свойств достигается определенным химическим составом и термической обработкой. Для определения параметров термической обработки (температура нагрева, скорость охлаждения) необходимо знать кинетику распада аустенита хромомолибденованадиевой стали при различных температурных условиях.

Постановка задачи. Изучить влияние различных температур аустенизации и скоростей охлаждения на структурообразование хромомолибденованадиевой стали.

Методика исследования. Исходным материалом для исследований служили образцы, поперечно вырезанные из круглого проката диаметром 140 мм непрерывнолитой хромомолибденованадиевой стали марки 31CrMoV9.

Образцы нагревали в печи до температур 850 - 1050⁰С с выдержкой 30 мин и последующим охлаждением с различной скоростью по режимам: с печью (медленно), в муфеле (замедленно) и на спокойном воздухе.

Исследование структуры проводили с использованием микроскопа «Ахiovert 200 М МАТ». Определение размера зерна аустенита производили согласно ГОСТ 5639-82 методом травления границ зерен. Оценку микротвердости производили по ГОСТ 9450-76 (с использованием микротвердомера «ПМТ-3» с нагрузкой 100 г).

Изложение основных материалов исследования.

Сталь марки 31CrMoV9 (1.8519) производится согласно требованиям норм EN 10085 и стандарта DIN 17211 (Германия) и относится к легированным азотируемым сталям для больших сечений. Украинским аналогом стали служит сталь марки 30X3МФ по ГОСТ 4543-71.

В настоящий момент существуют построенные термокинетические диаграммы для стали 31CrMoV9 [1] и ближайшего аналога 30X3МФ [2]. Химический состав этих сталей приведен в табл. 1.

Таблица 1 - Химический состав сталей 31CrMoV9 [1] и 30X3МФ [2]

Марка стали	Содержание химических элементов, %						
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	N
31CrMoV9	0,30	0,4	0,55	2,50	0,20	0,15	-
30X3МФ	0,29	0,37	-	2,47	0,21	0,14	0,0109

Повышение содержания в стали азота (30X3МФ) приводит к существенному изменению линий термокинетической диаграммы (рис.1): замедлению бейнитного превращения, уменьшению критической скорости закалки и повышению критических температур распада (A_1 , A_3).

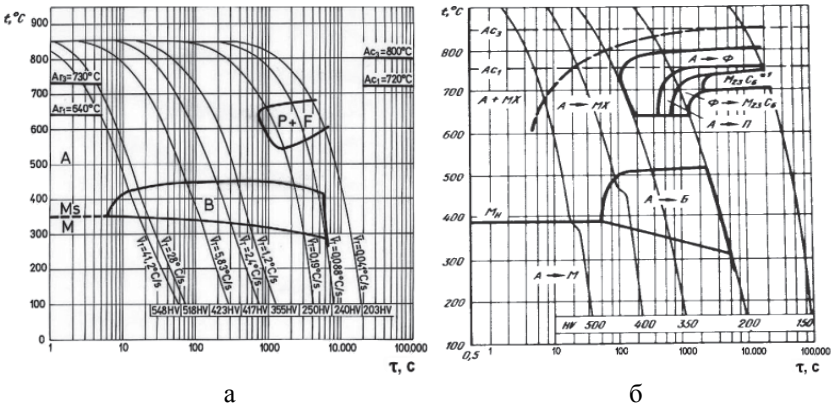


Рисунок 1 - Термокинетические диаграммы распада аустенита легированных сталей 31CrMoV9 (а) [1] и 30X3МФ (б) [2]

На кинетику распада аустенита и вид термокинетической диаграммы, кроме состава стали, может оказывать влияние размер зерна и температура аустенитизации [2,3].

Для хромомолибденованадиевой стали марки 31CrMoV9 было изучено влияние температуры аустенитизации, обуславливающей размер зерна, на структурные превращения при различных скоростях охлаждения.

С повышением температуры аустенитизации размер аустенитного зерна хромомолибденованадиевой стали увеличивается (рис. 2).

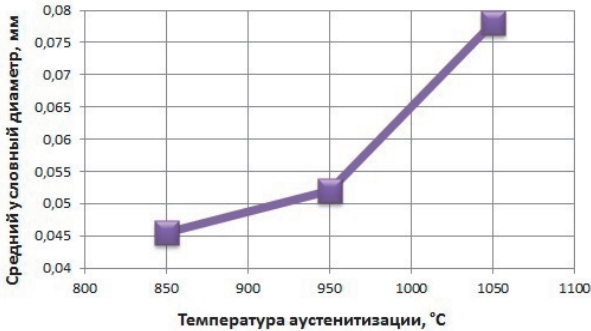


Рисунок 2 - Величина среднего условного диаметра зерен (d_L) аустенита стали 31CrMoV9 после различной температуры аустенитизации

После аустенитизации и медленного охлаждения с печью структура хромомолибденованадиевой стали состояла в основном из феррита и пластинчатого перлита различной дисперсности (рис.3, а, б).

При этом после нагрева до температуры 850⁰C большое количество карбидов ванадия остается нерастворенным. Они равномерно распределяются по всей поверхности в виде мелких частиц (рис.3, а) [4].

С повышением температуры аустенитизации до температур 1050⁰C наблюдается укрупнение зерен и снижение количества остаточных карбидов, в результате основная часть зерен феррита не содержит мелких частиц (рис.3,б). В структуре при этом формируется некоторое количество бейнита, имеющего вид одинаково ориентированных стержней в пределах одного первичного зерна аустенита.

После нагрева до различных температур и замедленного охлаждения в муфеле структура стали состояла из бейнита с неравномерно распределенными частицами цементита и феррита (рис.3, в, г). При охлаждении на воздухе в хромомолибденованадиевой стали формируется структура бейнита и мартенсита (рис.3, д, е).

С повышением температуры аустенитизации количество мартенсита увеличивается и составляет: 5...10% при охлаждении после выдержки от температуры 850⁰C и 15...25% от 1050⁰C.

Также в зависимости от температуры аустенитизации значения микротвердости исследованной стали изменяются. Так, при охлаждении от температуры аустенитизации 850⁰C значения микротвердости находятся в пределах 2238...2609 Н/мм², а от температуры 1050⁰C микротвердость составляет 3897...5090 Н/мм².

Таким образом, повышение температуры аустенитизации замедляет протекание превращений в хромомолибденованадиевой стали, и распад аустенита проходит при более низких температурах. Следовательно, повышение температуры аустенитизации приводит к увеличению устойчивости переохлажденного аустенита и снижению критической скорости закалки.

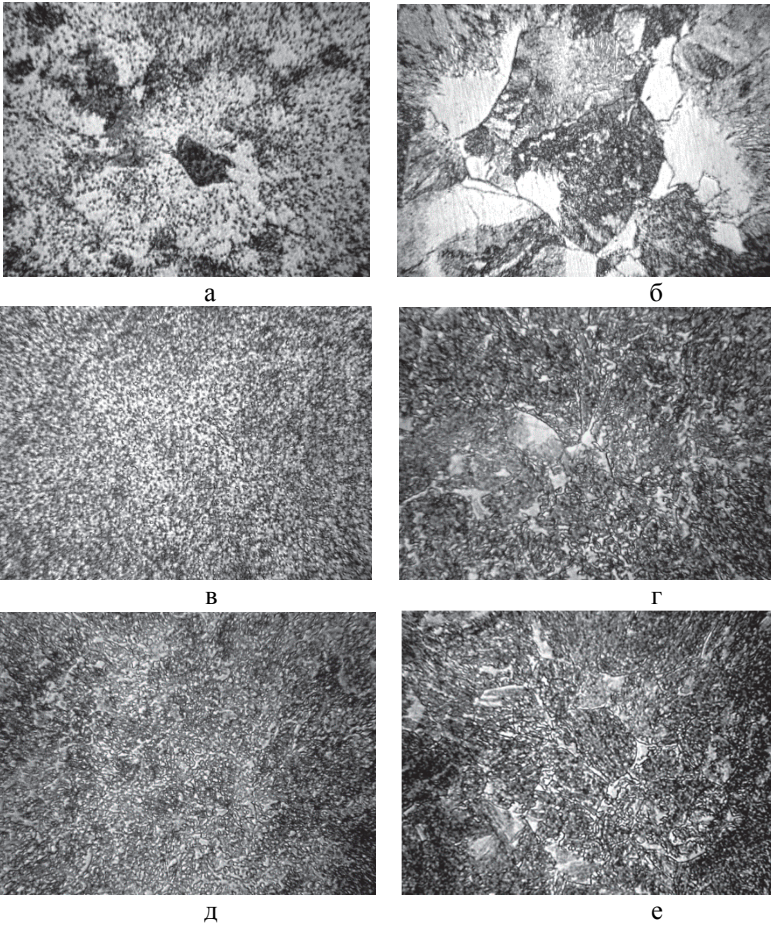


Рисунок 3 - Структура ($\times 500$) стали 31CrMoV9 после нагрева до температур 850°C (а, в, д) и 1050°C (б, г, е) с последующим охлаждением по различным режимам: в печи (а, б), с муфелем (в, г), на воздухе (д, е)

Выводы

Изучены особенности структурообразования в хромомолибденованадиевой стали после нагрева до различных температур аустенитизации и последующего охлаждения с различной скоростью. После охлаждения на воздухе структура состоит из бейнита и мартенсита, количество которого увеличивается с 5...10% при 850°C до 15...25% при 1050°C . Охлаждение в муфеле приводит к образованию бейнита и феррита. Медленное охлаждение после аустенитизации при температуре 1050°C приводит к образованию перлита, феррита и бейнита, а при 850°C – перлита и феррита. Установлено, что повышение температуры аустенитизации хромомолибденованадиевой

стали приводит к укрупнению зерен, замедлению распада аустенита и повышению его устойчивости.

1. *Metal Ravne: Steel PO735* [Электронный ресурс] / завод «Metal Ravne d.o.o.» – Электрон. дан. – Словения, 2015. – Режим доступа: <http://www.metalravne.com/steelselector/steels/PO735.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.
2. *Попова Л.Е., Попов А.А.* Диаграммы превращения аустенита в сталях и бетараствора в сплавах титана: [справочник термиста]. – М.: Металлургия. 1991. – 503 с.
3. *Луценко В.А.* Особенности влияния температуры аустенитизации на величину зерна хромомолибденованадиевой стали / В.А.Луценко, Т.Н.Голубенко, О.В.Луценко // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* – Вып. 30. – 2015. – С. 285-290.
4. *Металлография* железа. Том 2. Структура сталей (с атласом микрофотографий). – Перевод с англ. В. П. Калинина, Н. А. Зоидзе, Н. В. Чаргеишвили, под ред. Ф. Н. Тавадзе. – М.: «Металлургия». 1972. – 284 с.

*Статья поступила в редакцию сборника 15.06.2017
и прошла внутреннее и внешнее рецензирование*

В.А.Луценко, Т.М.Голубенко, О.В.Луценко

Вплив температури аустенізації та швидкості охолодження на структуроутворення хромомолібденованадієвої сталі

Вивчали вплив температури аустенізації та швидкості охолодження на структуроутворення хромомолібденованадієвої сталі при безперервному охолодженні. Показано, що підвищення температури аустенізації хромомолібденованадієвої сталі з 850 до 1050⁰С призводить до укрупнення зерен, що при наступному охолодженні уповільнює розпад аустеніту і підвищує його стійкість.

Ключові слова: хромомолібденованадієва сталь, температура, зерно, безперервне охолодження, структура

V.A.Lutsenko, T.N.Golubenko, O.V.Lutsenko

The influence of austenitization temperature and the rate of cooling on the structure of chrome-molybdenum-vanadium steel

The article addresses the effect of the austenitization temperature and the cooling rate on the structure of chrome-molybdenum-vanadium steel under continuous cooling. It reports that the increase in the austenitization temperature from 850⁰C to 1050⁰C leads to coarsening of the grains in chrome-molybdenum-vanadium steel. The subsequent cooling slows down the decomposition of austenite and increases its stability.

Keywords: chromomolybdenum vanadium steel, temperature, grain, continuous cooling, structure