

Influencing of speed of cooling on formation of structure in the steel 42Cr4Mo2 is studied. It is shown, that at the continuous cooling with speeds in the range of 0,03–0,4°C/s in this steel the formation of ferrite-pearlite structure is priority, inure of steel has striped, which is conditioned to dendrites by chemical heterogeneity.

В. А. ЛУЦЕНКО, ИЧМ НАН Украины, Н. И. АНЕЛЬКИН, РУП «БМЗ»,
Т. Н. ПАНФИЛОВА, ИЧМ НАН Украины, Л. А. ДРОБЫШОВСКИЙ, РУП «БМЗ»

УДК 669.017:669.15'26'27'292–194

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ В ХРОМОМОЛИБДЕНОВОЙ СТАЛИ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ОХЛАЖДЕНИИ

Для выбора режима термической обработки и прогнозирования механических и технологических свойств проката необходимо иметь представление об образующихся в стали структурах после различных скоростей охлаждения.

Исследование выполнено на образцах из непрерывнолитой вакуумированной стали 42Cr4Mo2 плавки № 301561 производства РУП «БМЗ» следующего химического состава: 0,391%С; 0,257%Si; 0,748%Mn; 1,083%Cr; 0,248%Mo; 0,013%P; ≤0,023%S. Образцы нагревали до 850°C (выдержка 10 мин) и охлаждали с различными скоростями. Формирование структуры в стали изучали на микроскопе НЕОФОТ-2 после травления 4%-ным ниталем. Балл перлита оценивали по ГОСТ 8233. Микротвердость (HV) определяли по ГОСТ 9450 на приборе ПМТ-3 с нагрузкой 100 и 200 г.

Критические точки исследованной стали 42Cr4Mo2, определенные на дилатометрических образцах¹ диаметром 4 мм при нагреве со скоростью 200 °C/ч, как среднее значение трех измерений, равны: $A_{c1} = 755$ °C и $A_{c3} = 810$ °C. Температура начала мартенситного превращения равна 340°C. Повышенная температура критической точки A_{c1} по сравнению с чисто углеродистой сталью обусловлена влиянием хрома и молибдена. Легирующие карбидообразующие элементы, растворенные в цементите, за счет понижения коэффициента диффузии углерода повышают, с одной стороны, температуру диссоциации карбида цементитного типа и, с другой – уменьшают скорость выравнивания содержания углерода в аустените. Это в конечном итоге приводит к повышению критической точки A_{c1} [1].

Результаты микроструктурных исследований стали после отдельного нагрева 850°C – 10 мин показали, что кинетика распада аустенита, морфология и свойства продуктов распада зависят от скорости охлаждения.

Микроструктурные исследования² (рис. 1, а) показали, что в образце, охлажденном со скоростью 0,03 °C/с, содержится 35–40% структурно-свободного феррита и 60–65% перлита. При этом наблюдается ярко выраженная полосчатость ферритных и перлитных участков. Перлит в основном имеет сорбитообразное строение. Кроме того, встречаются единичные колонии пластинчатого перлита до 5-го балла (до 10%). Микротвердость феррито-перлитной смеси составляет 1832–2301 Н/мм² (рис. 2).

При скорости охлаждения 0,07 °C/с аустенит распадается с образованием около 35% феррита, 60% перлита и 3–5% бейнита. Микроструктурные исследования показали, что структура образца имеет слабо выраженную полосчатость (см. рис. 1, б). В светлых полосах в виде отдельных зерен различной величины присутствует феррит, в темных – перлит и бейнит. Перлит в основном имеет сорбитообразное строение. Кроме того, встречаются единичные участки перлита 5-го балла стандартной шкалы. Участки бейнита состоят в основном из цементита зернистой морфологии. Микротвердость равна 2020–2453 Н/мм² (рис. 2).

При скорости охлаждения 0,16 °C/с распад аустенита в равной степени протекает как по диффузионному механизму с образованием феррита и перлита, так и по промежуточному с образованием бейнита. Микроструктурные исследования (см. рис. 1, в) показали наличие в стали около 30% фер-

¹ При участии М. Ф. Евсюкова.

² При участии А.И.Сивак.

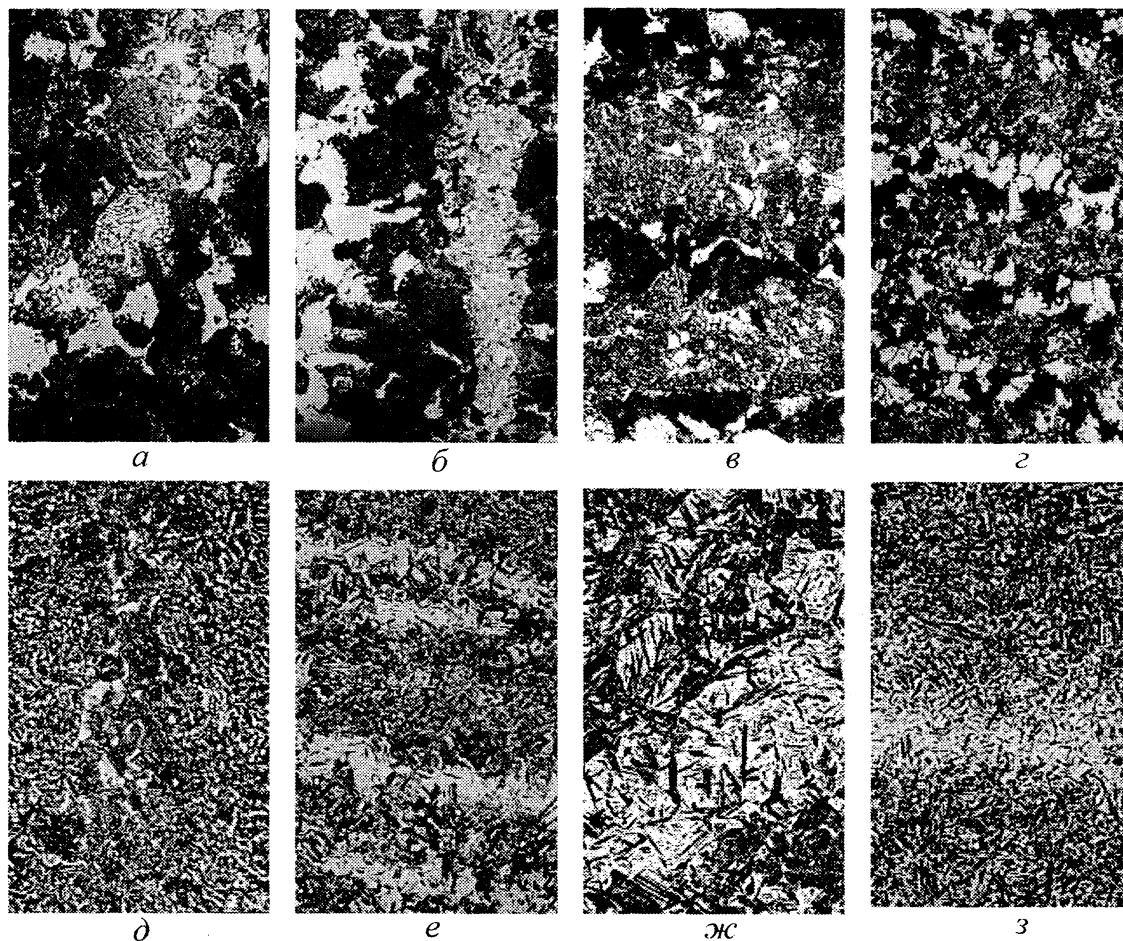


Рис. 1. Микроструктура стали после нагрева 850°C – 10 мин и охлаждения: а – 0,03°C/с; б – 0,07; в – 0,16; г – 0,4; д – 1; е – 2,3; ж – 8; з – 24 °C/с. ×500

рита, 35–40% перлита и 25–30% бейнита. Бейнит совместно с сорбитообразным перлитом присутствует в темных участках и имеет зернистую морфологию цементита. Микротвердость продуктов распада равна 2103–2830 Н/мм². Максимальные значения микротвердости повышаются благодаря увеличению (рис. 2) в стали количества бейнита.

При охлаждении со скоростью 0,4 °C/с распад аустенита в равной степени протекает как по диффузионному механизму с образованием феррита и перлита, так и по сдвиговому механизму с образованием бейнита. Образуется 20–25% феррита, 25–30% перлита и 45–55% бейнита. Микроструктурные исследования показали (см. рис. 1, г), что после охлаждения со скоростью 0,4°C/с структура имеет полосчатое строение. При этом отдельные полосы продуктов распада состоят из мелких практически равноосных зерен сорбитообразного перлита и феррита. Другие полосы состоят из светлых бейнитных участков, имеющих в основном зернистое строение цементита. Игольчатое или пакетное строение бейнита не наблюдается. Микротвердость образца существенно не изменилась и равна 2147–2889 Н/мм².

При охлаждении со скоростью 1°C/с распад аустенита в основном протекает по смешанной кинетике с образованием около 5–10% феррита, 2–3% перлита и максимального количества 70–80% бейнита. Микроструктурные исследования показали, что основной объем образца состоит из бейнита (см. рис. 1, д). Феррит присутствует в виде отдельных мелких равноосных зерен. В отдельных ликвационных местах наблюдаются еще и светлые участки структуры общим количеством менее 5–10%. Измерение микротвердости этих участков показало наличие в стали мартенсита. Микротвердость образца благодаря наличию в стали мартенситной структуры значительно повышается и находится в пределах 2550–3240 Н/мм².

С повышением скорости охлаждения до 2,3 °C/с степень распада аустенита на бейнит также максимальна и равна 70–80%. Оставшийся аустенит распадается с образованием 15–20% мартенсита. Микроструктура неоднородная и имеет признаки полосчатого строения (см. рис. 1, е). Микротвердость такой структуры повышается до 2669–3545 Н/мм² и увеличивается разброс максимальных и минимальных значений.

Микротвердость,
Н/мм²



Рис. 2. Микротвердость стали 42Cr4Mo2 после охлаждения с различными скоростями

При повышении скорости охлаждения до 8°C/c образуется около 40% бейнита. Оставшийся переохлажденный аустенит распадается с образованием около 60% мартенсита. Микроструктура образца состоит из темнотравящегося бейнита и светлотравящегося мартенсита, имеющих вид темных и светлых полос (см. рис. 1, ж). Значения микротвердости имеют максимальный разброс и равны 3320–4616 Н/мм².

В интервале скоростей охлаждения от 2,3 до 24 °C/c аустенит распадается по сдвиговому механизму, но с образованием двух структур – бейнита и мартенсита, процентное содержание которого увеличивается с повышением скорости охлаждения, а бейнита уменьшается.

Так, при скорости охлаждения 24 °C/c образуется 3–5% бейнита (см. рис. 1, з). Основной объем переохлажденного аустенита распадается с образованием мартенсита. Микротвердость структуры (рис. 2) имеет максимальное значение и составляет 5726–6230 Н/мм². Микроструктурные исследования показали, что в ветвях дендритов, видимых в виде полос, травимость мартенситных структур выше – они темнее, чем в междуветвиях. Мартенсит имеет слабо выраженное пакетное строение и в виде игл не наблюдается, что связано с наличием в стали мелкого аустенитного зерна и его химической неоднородностью. При скоростях охлаждения выше 24 °C/c переохлажденный аустенит распадается только по сдвиговому механизму с образованием мартенсита.

Распад аустенита по диффузионной кинетике с образованием феррита и перлита наблюдается при скоростях охлаждения 1 °C/c и ниже. Максимальная степень распада аустенита на феррит составляет 35–40%. Бейнитные структуры образуются в большом интервале скоростей охлаждения от 0,07 до 24 °C/c. Максимальная степень распада аустенита на бейнит наблюдается в интервале скоростей

охлаждения от 1 до 2,3 °C/c и составляет около 70–80%. Степень распада аустенита на мартенсит с повышением скорости охлаждения от 1 до 24 °C/c увеличивается от 5–8 до 98%.

Характерной особенностью строения продуктов распада аустенита исследованной стали при различных скоростях охлаждения является их полосчатость, обусловленная химической неоднородностью содержания углерода, хрома и молибдена. Основная причина развития дендритной химической неоднородности стали – недостаточность диффузии в твердом состоянии с момента образования твердой фазы.

Микротвердость стали после различных скоростей охлаждения определяется строением и соотношением продуктов распада переохлажденного аустенита. Минимальную микротвердость, равную 1832–2301 Н/мм², имеют образцы, состоящие только из феррита и перлита. При скорости охлаждения 0,07 °C/c за счет появления в структуре 3–5% бейнита микротвердость повышается до 2020–2453 Н/мм². При дальнейшем увеличении скорости охлаждения до 24 °C/c за счет уменьшения в структуре бейнита микротвердость образца повысилась практически в 2 раза и равна 5726–6230 Н/мм². Образцы с микроструктурой, состоящей только из мартенсита закалки, независимо от скорости охлаждения (24–240 °C/c) имеют практически одинаковую микротвердость.

Выводы

1. Изучено влияние скорости охлаждения в интервале 0,03–24 °C/c на структурообразование в хромомолибденовой стали.
2. На основании микроструктурных исследований показано, что при непрерывном охлаждении хромомолибденовой стали со скоростями в интервале 0,03–0,4 °C/c приоритетным является образование феррито-перлитной структуры, в интервале 1,0–8 °C/c – бейнитной, а при скорости 24 °C/c – мартенситной.
3. Выявлено, что структура стали 42Cr4Mo2 при различных скоростях охлаждения имеет полосчатость, обусловленную дендритной химической неоднородностью, связанной со снижением скорости диффузии углерода и легирующих элементов.
4. Изученные особенности формирования структуры стали 42Cr4Mo2 можно использовать для определения режимов охлаждения при производстве крупносортного проката.

Литература

1. М е с ь к и н В. С. Основы легирования стали. М.: Металлургия, 1964.