

УДК: 669.017:669.15\*26\*28-194

**ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ  
НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТОЙ  
ХРОМОМОЛИБДЕНОВОЙ СТАЛИ**

**В. А. Луценко, Т. Н. Голубенко, М. Ф. Евсюков, А. И. Сивак**  
*Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины*

Основной целью термической обработки является получение необходимого уровня свойств металлопродукции. Для прогнозирования качественных характеристик металла в процессе производства необходимы знания о происходящих процессах и структурных превращениях в стали при различных скоростях охлаждения от аустенитного состояния.

В машиностроении широко используется сортовой прокат из среднеуглеродистых сталей, легированных хромом и молибденом. Такие стали имеют хорошую прокаливаемость, а также малую склонность к отпускной хрупкости. В известных источниках [1; 2], описывающих морфологию продуктов превращения в хромомолибденовых среднеуглеродистых сталях, отсутствуют данные для непрерывнолитой стали 42Cr4Mo2 [3] (аналог – сталь 38ХМ по ГОСТ 4543).

Поэтому получение знаний о происходящих превращениях переохлажденного аустенита и процессах структурообразования в стали 42Cr4Mo2 является основой для разработки процессов термомеханической обработки хромомолибденового сортового проката.

Исследование формирования структуры и свойств при непрерывном охлаждении производилось на образцах из углеродистой хромомолибденовой стали 42Cr4Mo2, с химическим составом, представленным в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав исследуемой стали 42Cr4Mo2

Массовая доля элементов, %								
C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Cu	Al
0,391	0,748	0,257	0,013	0,023	1,083	0,248	0,114	0,024

Опытные образцы диаметром 3 и 4 мм нагревали до 850 °С с последующей выдержкой в течение 10 мин. После этого образцы охлаждали в печах с различной тепловой инерцией, на воздухе, под вентилятором, в масле и в воде.

Для исследования влияния скорости охлаждения на структуру образца и твердость использовали микроструктурный и дюрометрический методы. Строение продуктов распада аустенита изучали с использованием оптического микроскопа Неофот-2, микротвердость образцов измеряли на приборе ПМТ-3 согласно ГОСТ 9450.

Известно [1], что легирование стали такими элементами как хром и молибден приводит к торможению перлитного превращения и снижению скорости превращения в перлитной и бейнитной области. Распад переохлажденного аустенита дозвтектоидной хромомолибденовой стали

начинается с выделения структурно-свободного феррита. А так как карбидообразующие элементы должны содержаться больше в выделяющемся карбиде, чем в феррите, то для начала распада аустенита необходимо предварительное диффузионное перераспределение углерода и легирующих элементов.

Легирующие элементы диффундируют с очень малой скоростью, поэтому они увеличивают продолжительность процесса распада аустенита и уменьшают скорость полиморфного превращения. Молибден значительно замедляет образование перлита, уменьшая число зародышей и скорость их роста. Хром в перлитной области замедляет распад аустенита за счет торможения полиморфного превращения железа, а также вследствие выделения сильно обогащенного хромом цементита [4].

Построенную в результате исследований термокинетическую диаграмму превращений аустенита после охлаждения со скоростями в интервале 0,03...240 °C/c сравним с приведенной в источнике [2, стр. 318] диаграммой для хромомолибденовой стали, содержащей 0,4 % С, 1,0 % Cr, 0,2 % Мо (рис.1).

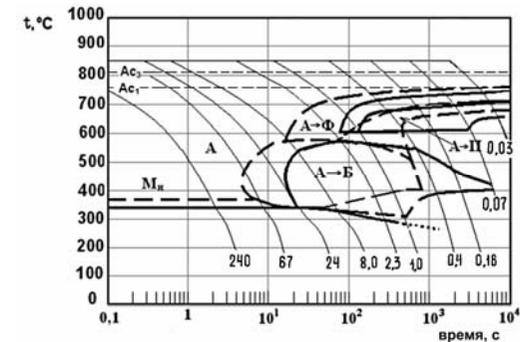


Рис. 1. Термокинетические диаграммы исследуемой стали 42Cr4Mo2 (сплошная линия) и стали [2] (пунктирная линия).

Под кривыми охлаждения приведены цифры, характеризующие среднюю скорость охлаждения в °C/c.

Содержание углерода и хрома в этих сталях практически одинаково и проявляется в смещении линий диаграммы вправо по временной оси, что повышает устойчивость аустенита и снижает критическую скорость закалки. Однако на построенной нами термокинетической диаграмме имеется участок высокой устойчивости переохлажденного аустенита, который отделяет области перлитного и бейнитного превращений.

Единственное отличие в химическом составе рассматриваемых сталей – содержание молибдена. Образование феррита в промежуточной области протекает сдвиговым путем, поэтому молибден, который находится большей частью в феррите, тормозит диффузию атомов основы и затрудняет превращение.

Из приведенной диаграммы на рисунке 1 видно, что повышение содержания молибдена даже на 0,05 % значительно повышает устойчивость аустенита в интервале температур 430–600 °С.

По результатам микроструктурных исследований для стали 42Cr4Mo2 построена структурная диаграмма превращений аустенита. Диаграмма на рисунке 2 подтверждает, что при распаде аустенита хромомолибденовой стали имеются три структурные области: феррито-перлитная, бейнитная и мартенситная. Из рисунка 2 следует, что распад аустенита может происходить по диффузионному механизму в интервале скоростей охлаждения 0,03–1 °С/с, промежуточному – в интервале 0,07–24 °С/с, и сдвиговому – при скоростях более 1 °С/с.

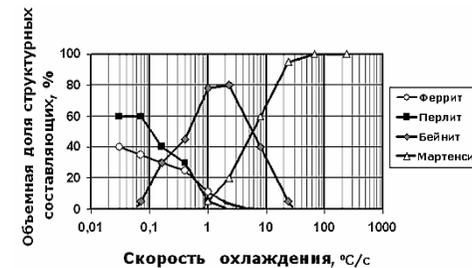


Рис. 2. Структурная диаграмма превращения аустенита стали 42Cr4Mo2.

Результаты измерения микротвердости образцов из стали 42Cr4Mo2 представлены на рисунке 3.

Распад аустенита только диффузионным путем для данной стали осуществляется при охлаждении со скоростью 0,03 °С/с. Этой структуре соответствуют минимальные значения микротвердости 1832–2301 Н/мм<sup>2</sup> (нижний предел – микротвердость ферритного зерна, верхний – перлитного).



Рис. 3. Микротвердость стали 42Cr4Mo2 после нагрева 850 °С – 10 мин и охлаждения с различными скоростями.

Легирующие карбидообразующие элементы существенно влияют на формирование структуры исследуемой стали, поэтому с интенсификацией охлаждения бейнитная структура образуется в широком интервале скоростей (0,07–24 °C/c). Количество бейнита с повышением скорости охлаждения резко увеличивается и при 0,4 °C/c составляет 45–55 %.

Образование бейнита на структурной диаграмме имеет экстремальный характер с максимумом, соответствующим 70–80 % бейнита при скоростях охлаждения 1,0–2,3 °C/c.

По достижении скорости охлаждения 1 °C/c количество распавшегося аустенита по диффузионному механизму снижается. Структура при этом мультифазовая, состоит из бейнита (75–80 %), феррита (5–10 %), перлита (2–5 %) и до 10 % мартенсита. Общая микротвердость образца за счет появления в структуре мартенсита резко повысилась. Разброс значений микротвердости увеличивается с повышением количества образовавшегося мартенсита наряду с бейнитом.

При скоростях выше 1 °C/c образование феррито-перлитной структуры подавляется. При достижении скорости 24 °C/c наблюдается конец распада аустенита по промежуточной кинетике, что соответствует образованию 3–5 % бейнита.

При более высоких скоростях охлаждения (67–240°C/c) аустенит стали 42Cr4Mo2 распадается только по сдвиговому механизму с образованием мартенсита, микротвердость при этом практически не меняется.

Построенная в результате исследований термокинетическая диаграмма наиболее точно описывает кинетику превращения аустенита стали 42Cr4Mo2 и может быть использована для определения параметров режимов термомеханической обработки проката.

#### ВЫВОДЫ

Для стали 42Cr4Mo2 построена термокинетическая диаграмма и показано, что легирование этой стали хромом и молибденом приводит к смещению линий диаграммы вправо по оси времени и появлению области высокой устойчивости аустенита в интервале температур 430–600 °C.

На основании микроструктурных и дюрOMETрических исследований построена структурная диаграмма и показано, что при непрерывном охлаждении хромомолибденовой стали со скоростями в интервале 0,03–0,16 °C/c приоритетным является образование феррито-перлитной структуры, в интервале 0,4–2,3 °C/c – бейнитной, а при скоростях выше 8 °C/c – мартенситной.

Микротвердость стали увеличивается с повышением скорости охлаждения в результате начала распада аустенита по промежуточному, а затем – по сдвиговому механизму.

Изученные особенности структурообразования в стали 42Cr4Mo2 можно использовать для определения режимов термомеханической обработки при производстве сортового проката.

#### Литература

1. Л. Е. Попова, А. А. Попов. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана. Справочник термиста. М.: Металлургия, 1991. – С. 503.
2. ASM Metals Handbook. V. 1. Properties and selection: irons, steels and high performance alloys, 1990.
3. ТУ SS:4027. Горячекатаные прутки и заготовки из ковкой нелегированной углеродистой и легированной конструкционной стали для автомобильных деталей.
4. В. С. Меськин. Основы легирования стали. / Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Металлургия, 1964. – 685 с.