

В.А.Луценко, М.Ф.Евсюков, Т.Н.Панфилова, А.И.Сивак

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ЭЛЕКТРОСТАЛИ 42Cr4Mo2

Целью работы является определение режимов охлаждения при производстве крупносортового проката. Изучены закономерности кинетики превращения и особенности формирования микроструктуры в электростали 42Cr4Mo2 после отдельного нагрева 850⁰C с последующим охлаждением в интервале скоростей 0,03... 240⁰C/с. Результаты исследований представлены в виде термокинетической диаграммы превращения аустенита с описанием образовавшихся микроструктур.

крупносортовый прокат, производство, режимы охлаждения, микроструктура, кинетика,

Состояние вопроса. В настоящее время среднеуглеродистая сталь, легированная хромом и молибденом, широко используется в машиностроении. Хромомолибденовая сталь имеет хорошую прокаливаемость, а также малую склонность к отпускной хрупкости. В имеющихся источниках [1,2], описывающих морфологию продуктов превращения в качественных молибден и хром содержащих среднеуглеродистой стали, данные для непрерывнолитой электростали 42Cr4Mo2 (аналог – сталь 38ХМ по ГОСТ 4543) отсутствуют. Для прогнозирования качественных характеристик металла необходимы знания о происходящих процессах и структурных превращениях при различных скоростях охлаждения.

Постановка задачи. Для определения режимов охлаждения при производстве крупносортового проката в настоящей работе приведены результаты исследований кинетики фазовых превращений и закономерностей формирования структуры при непрерывном охлаждении среднеуглеродистой хромомолибденовой электростали 42Cr4Mo2 следующего химического состава: 0,391%С; 0,257%Si; 0,748%Mn; 0,013%P; 0,023%S, 1,083%Cr и 0,248%Mo.

Методика проведения исследования. Кинетика превращения аустенита после отдельного нагрева в большом интервале скоростей охлаждения изучалась на дилатометрах АД–80 и МД–83 конструкции Института черной металлургии им.З.И.Некрасова НАН Украины с использованием дилатометрических образцов диаметром 3 и 4 мм. Нагрев образцов в дилатометре осуществляли до 850⁰C с последующей выдержкой в течение 10 мин. После этого образцы охлаждали по программе: в печах с различной тепловой инерцией, на воздухе, под вентилятором, в масле и в воде. В процессе охлаждения температуру образца во времени регистрировали на потенциометре КСП4, а изменение длины образца в зависимости от температуры (дилатограмму) регистрировали на двухкоординатном потенциометре ПДП 4–002. По термограмме определяли среднюю скорость

охлаждения образца и его температуру, по перегибам на дилатограммах – температуру начала и конца фазового превращения.

Строение продуктов распада аустенита изучали микроструктурным методом с использованием микроскопа НЕОФОТ–2 на дилатометрических образцах после травления 4% ниталем. Балл перлита и мартенсита оценивали по ГОСТ 8233.

Результаты исследования. Критические точки исследованной стали 42Cr4Mo2, определенные на образцах диаметром 4мм при нагреве со скоростью 200⁰С/час, соответствовали: Ас₁–755⁰С, Ас₃–810⁰С. Температура начала мартенситного превращения М_н=340⁰С определена на дилатометрических образцах диаметром 3мм в процессе охлаждения в воде и масле со скоростями 240⁰С/с и 67⁰С/с соответственно.

Растворенные в цементите легирующие элементы понижают коэффициент диффузии углерода, тем самым уменьшают скорость выравнивания содержания углерода в аустените и повышают температуру диссоциации карбида цементитного типа. Это в конечном итоге приводит к повышению критической точки Ас₁. Из источника [3] известно, что легирование до 1% хрома повышает точку Ас₁ на 14...16⁰С. Молибден, в свою очередь, понижает скорость диффузии атомов железа в аустените и оказывает влияние на положение критической точки, если к моменту превращения находится в твердом растворе – феррите [3].

Результаты исследования кинетики фазовых превращений аустенита стали 42Cr4Mo2 после различных скоростей охлаждения представлены в виде термокинетической диаграммы (рис.1).

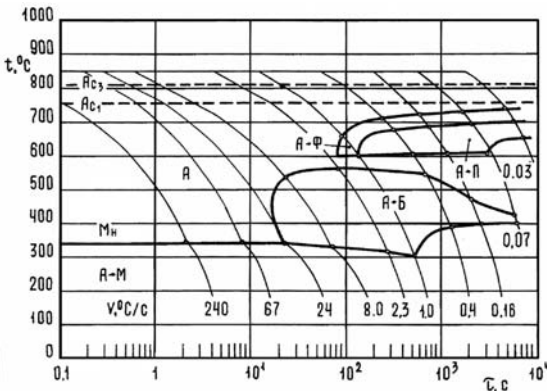


Рис.1. Термокинетическая диаграмма превращения аустенита электростали 42Cr4Mo2 после нагрева образцов до 850⁰С

На термокинетической диаграмме показаны области образования феррита, перлита, бейнита и мартенсита, образующихся при распаде переохлажденного аустенита электростали 42Cr4Mo2.

Под кривыми охлаждения приведены цифры, характеризующие среднюю скорость охлаждения в ⁰С/с. При этом за начало превращения принято образование 1% новой фазы, а конец превращения соответствует 98% распаду

переохлажденного аустенита, как при распаде по диффузионной кинетике, так и по сдвиговому механизму с образованием мартенсита.

При минимальной скорости охлаждения, равной $0,03^{\circ}\text{C}/\text{с}$ при распаде аустенита в интервале температур $735\dots700^{\circ}\text{C}$ образуется до 40% структурно-свободного феррита. Оставшийся переохлажденный аустенит в интервале $700\dots650^{\circ}\text{C}$ распадается с образованием около 60% перлита (рис.2,а), при этом за счет выделения значительного количества тепла фазового превращения наблюдается замедление скорости охлаждения на 20...30%. Отсутствия перегибов на дилатограммах свидетельствует о полном распаде переохлажденного аустенита. Наблюдается микроструктурная полосчатость ферритных и перлитных участков, состоящих из равноосных зерен. Перлит – сорбитообразный, однако встречаются колонии (до 10%) с пластинчатым перлитом до 5 балла.

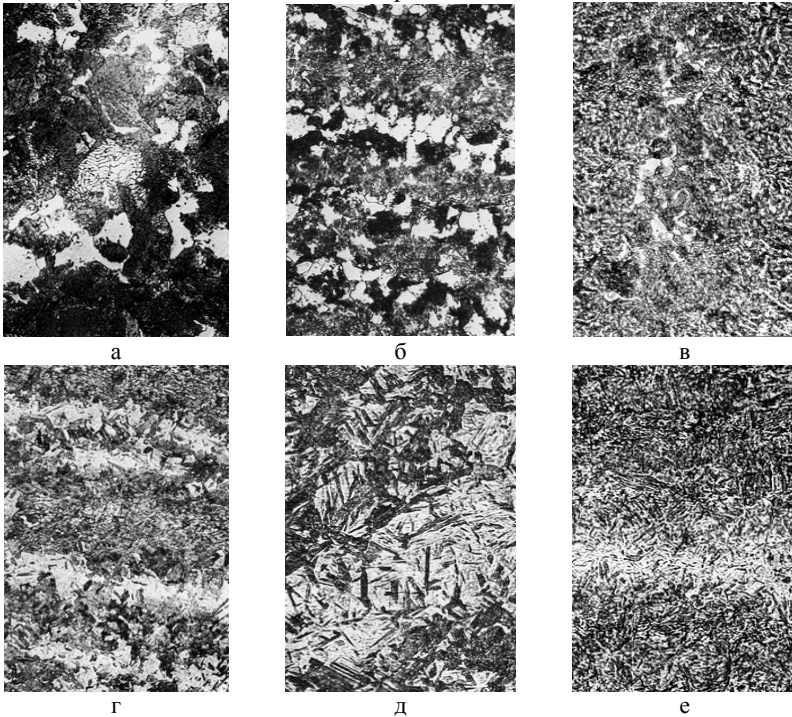


Рис. 2. Микроструктура ($\times 500 \times 0,5$) стали после нагрева 850°C –10мин и последующего непрерывного охлаждения со следующими скоростями ($^{\circ}\text{C}/\text{с}$): а – 0,03; б – 0,4; в – 1,0; г – 2,3; д – 8; е – 24

При скорости охлаждения $0,07^{\circ}\text{C}/\text{с}$ в интервале температур $730\dots690^{\circ}\text{C}$ аустенит распадается с образованием около 35% феррита. При температурах $690\dots610^{\circ}\text{C}$ образуется около 60% перлита. Общая степень распада аустенита составляет 95...97%. Легирование исследуемой

стали такими элементами как хром и молибден приводит к тому, что в интервале температур $610...430^{\circ}\text{C}$ переохлажденный аустенит очень устойчив и не испытывает фазовых превращений. Распад остаточного аустенита в процессе охлаждения начинается при температуре 430°C и заканчивается при 400°C с образованием 5% бейнита. Микроструктурные исследования показали, что структура образца имеет слабо выраженную полосчатость. Перлит в основном сорбитообразный, участки бейнита состоят из цементита зернистой формы.

При скорости охлаждения $0,16^{\circ}\text{C}/\text{с}$ распад аустенита в равной степени протекает как по диффузионному механизму, с образованием феррита и перлита, так и по промежуточному – с образованием бейнита. Температура начала распада аустенита снизилась до 725°C , и в процессе охлаждения до 680°C образовалось около 30% феррита; охлаждение до 610°C приводит к образованию 40...45% перлита. С понижением температуры переохлажденный аустенит сохраняется до 470°C . В интервале температур $470...395^{\circ}\text{C}$ оставшийся аустенит распадается с образованием 25...30% бейнита. Отсутствие перегибов на дилатограммах в процессе охлаждения до 230°C свидетельствует об отсутствии распада на мартенсит. Микроструктура состоит из зерен феррита, сорбитообразного перлита и участков бейнита. Бейнит с сорбитообразным перлитом присутствует в темно травящихся участках и имеет зернистую форму цементита.

При охлаждении со скоростью $0,4^{\circ}\text{C}/\text{с}$ распад аустенита по диффузионному механизму начинается при температуре 715°C и при охлаждении до 610°C образуется 20...25% феррита и 25...30% перлита. В интервале температур $610...550^{\circ}\text{C}$ переохлажденный аустенит устойчив и не испытывает фазовых превращений. В процессе охлаждения от 550°C до 385°C образуется 45...55% бейнита. Микроструктурные исследования показали, что структура (рис.2,б) имеет полосчатое строение. При этом отдельные полосы продуктов распада состоят из мелких практически равноосных зерен перлита и феррита. Другие полосы состоят из бейнита, имеющего, в основном, зернистое строение цементита.

При охлаждении образца со скоростью $1^{\circ}\text{C}/\text{с}$ распад аустенита протекает по смешанной кинетике. Распад начинается при температуре 655°C и в процессе охлаждения до 595°C образуется около 5...10% феррита и 2...3% перлита. В интервале температур $595...560^{\circ}\text{C}$ распад переохлажденного аустенита тормозится. Ниже 560°C аустенит распадается с образованием бейнита (до 80%). Превращение остаточного аустенита по мартенситной кинетике при данной скорости охлаждения происходит при температурах ниже 305°C . Выделение тепла фазового превращения практически не оказывает влияния на скорость охлаждения образца в данном температурном интервале и составляет всего 5...10%. Микроструктурные исследования показали, что основной структурной составляющей является зернистый бейнит, а феррит и перлит присутствуют в виде отдельных

мелких равноосных зерен (рис.2,в). В отдельных ликвационных местах наблюдаются светло травящиеся мартенситные участки (до 10%).

На кинетику распада аустенита по промежуточному механизму заметное влияние оказывает легирование стали одновременно хромом и молибденом. Бейнитные структуры образуются в большом интервале скоростей охлаждения от $0,07^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до $24^{\circ}\text{C}/\text{с}$ (рис.2,б–е), при этом максимальная степень распада аустенита на бейнит до 80% наблюдается в интервале скоростей – $1,0\dots 2,3^{\circ}\text{C}/\text{с}$ (рис.2,в–г).

В интервале скоростей охлаждения от $2,3^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до $8^{\circ}\text{C}/\text{с}$ аустенит распадается по промежуточному и сдвиговому механизму, с температурой начала распада 560°C и 535°C соответственно. Микроструктура состоит из бейнита (темный) и мартенсита (светлый), расположенных в виде полос (рис.2,г–д). При охлаждении со скоростью $24^{\circ}\text{C}/\text{с}$ аустенит распадается в интервале температур $350\dots 110^{\circ}\text{C}$ с образованием $3\dots 5\%$ бейнита и $95\dots 97\%$ мартенсита. Микроструктура неоднородная и имеет признаки полосчатого строения (рис.2,е).

Распад аустенита по сдвиговому механизму с образованием мартенсита наблюдается при температурах ниже 340°C . При этом в интервале скоростей охлаждения от $24^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до $240^{\circ}\text{C}/\text{с}$ температура M_n равна 340°C , а с уменьшением скорости охлаждения до $1^{\circ}\text{C}/\text{с}$ M_n понижается до 305°C . Температура конца мартенситного превращения в интервале скоростей охлаждения от $240^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до $24^{\circ}\text{C}/\text{с}$ равна 110°C .

Микроструктурными исследованиями выявлено, что в ветвях дендритов, видимых в виде полос, травимость мартенситных структур выше – они темнее, чем в междуветвьях (рис.2,е). Мартенсит 6-го балла имеет слабо выраженное пакетное строение, что связано с наличием в стали мелкого аустенитного зерна и его химической неоднородностью.

Таким образом, в электростали $42\text{Cr}4\text{Mo}2$ образование только феррито–перлитной структуры происходит при скоростях охлаждения менее $0,07^{\circ}\text{C}/\text{с}$, а мартенсита – при скоростях более $24^{\circ}\text{C}/\text{с}$. При скоростях охлаждения близких к $1^{\circ}\text{C}/\text{с}$ кроме бейнита в структуре присутствует феррит, перлит и мартенсит, общее содержание которых не превышает 30%, а при $2,3^{\circ}\text{C}/\text{с}$ наряду с бейнитом присутствует мартенсит в количестве не более 20%.

Характерной особенностью строения продуктов распада аустенита электростали $42\text{Cr}4\text{Mo}2$ при различных скоростях охлаждения является их полосчатость, обусловленная химической неоднородностью содержания углерода и легирующих элементов. Основной причиной развития дендритной химической неоднородности стали является недостаточность диффузии углерода, хрома и молибдена в твердом состоянии с момента кристаллизации.

Заключение. Изучено влияние скорости охлаждения на кинетику распада аустенита хромомолибденовой стали.

Впервые построена термокинетическая диаграмма для электростали 42Cr4Mo2. Показано, что легирование стали такими элементами как хром и молибден приводит к тому, что при температурах ниже 610⁰С переохлажденный аустенит очень устойчив и при охлаждении до 430⁰С и 560⁰С, со скоростью от 0,07⁰С/с до 1,0⁰С/с соответственно, он не испытывает фазовых превращений.

На основании микроструктурных исследований показано, что при непрерывном охлаждении хромомолибденовой стали со скоростями в интервале 0,03...0,4⁰С/с приоритетным является образование феррито–перлитной структуры, в интервале 1,0...8,0⁰С/с – бейнитной, а при скоростях выше 24⁰С/с – мартенситной.

Выявлено, что структура стали 42Cr4Mo2 при различных скоростях охлаждения имеет полосчатость, обусловленную дендритной химической неоднородностью, связанной со снижением скорости диффузии углерода и легирующих элементов.

Изученные закономерности кинетики превращения и особенности формирования структуры стали 42Cr4Mo2 можно использовать для определения режимов охлаждения при производстве крупносортового проката.

1. *Попова Л.Е., Попов А.А.* Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета–раствора в сплавах титана. Справочник термиста. – Москва, Металлургия, 1991. – 503 с.
2. *ASM Metals Handbook. V.1. Properties and selection: irons, steels and high performance alloys.* – 1990.
3. *Меськин В.С.* Основы легирования стали. – М: Металлургия, 1964.

*Статья рекомендована к печати:
ответственный редактор
раздела «Термическая обработка проката»
докт.техн.наук, проф. И.Г.Узлов
рецензент докт.техн.наук, проф. В.В.Парусов*

В.А.Луценко, М.Ф.Евсюков, Т.М.Панфілова, Г.І.Сівак

Дослідження кінетики фазових перетворень в електросталі 42Cr4Mo2

Метою роботи є визначення режимів охолодження при виробництві крупносортового прокату. Вивчено закономірності кінетики перетворення і особливості формування мікроструктури в електросталі 42Cr4Mo2 після окремого нагріву 850⁰С з подальшим охолодженням в інтервалі швидкостей 0,03... 240⁰С/с. Результати досліджень представлено у вигляді термокінетичної діаграми перетворення аустеніту з описом мікроструктур, що утворилися.