

ОСОБЕННОСТИ РАСПАДА АУСТЕНИТА СТАЛИ 90 В ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ И ТЕРМОКИНЕТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

В.А.Луценко

Институт черной металлургии им.З.И.Некрасова НАН Украины

С целью снижения металлоемкости в последнее время большое внимание уделяется вопросам создания материалов, которые можно использовать для уменьшения весовых с сохранением прочностных характеристик. Для создания сверх-(ST) и ультравысокопрочного (UT) металлокорда появилась большая потребность в высокоуглеродистой катанке с содержанием углерода до 1,0%. Получение знаний о кинетике превращения и процессах структурообразования переохлажденного аустенита, являются основой при создании технологических процессов термической обработки для новых видов металлопродукции.

В связи с этим были выполнены исследования, по изучению влияния тепла фазового превращения на кинетику распада аустенита стали 90 в изотермических и термокинетических условиях. Исходным материалом для образцов послужила катанка диаметром 5,5 мм из непрерывнолитой стали 90К производства РУП «БМЗ» по ЗТУ 840-03-2006 с химическим составом, %: С - 0,92, Мн - 0,44, Si - 0,21, Р - 0,005, S - 0,009, Cu - 0,017, Cr - 0,019, Ni - 0,011, Al - 0,001, N₂ - 0,004.

Кинетику превращения аустенита после отдельного нагрева в большом интервале температур и скоростей охлаждения изучали (при участии Евсюкова М.Ф.) на dilatометрах АД-80 и МД-83 конструкции Института черной металлургии им.З.И.Некрасова НАН Украины.

Для исследований влияния скоростных параметров на распад аустенита образцы после нагрева до 950°C 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 и по термограмме определяли среднюю скорость охлаждения и его температуру, по перегибам на dilatограммах – температуру начала и конца фазового превращения.

Для исследований распада аустенита в изотермических условиях образцы после нагрева (до 950°C) переносили в свинцовую или свинцово-оловянную ванну, интервал изотермических температур 700...250°C (с интервалом в 50°C).

Превращения аустенита изучали на основании совместного анализа dilatограмм и микроструктурных исследований (при участии Сивак А.И.).

Для стали 90 были определены критические точки начала диффузионного $A_{c1}=725...735^{\circ}\text{C}$ и бездиффузионного превращения аустенита $M_n=185^{\circ}\text{C}$.

Результаты исследований кинетики фазовых превращений аустенита стали 90 с отдельного нагрева в изотермических условиях и после различных скоростей охлаждения представлены на рисунке 1 в виде диаграмм распада.

При термической обработке катанки как с отдельного, так и прокатного нагрева во время распада аустенита на перлит выделяется тепло рекалесценции, которое влияет как на скорость охлаждения, так и на кинетику распада. Так в работе [1] показано, что для стали с 0,64% С и 0,84% Мн с увеличением скорости охлаждения до 2°C/c температура конца распада аустенита за счет тепла фазового превращения повышается до 645°C, что выше температуры начала превращения на 20°C. Какие-либо сведения о влиянии тепла фазового превращения на кинетику превращения аустенита в заэвтектоидных сталях отсутствуют.

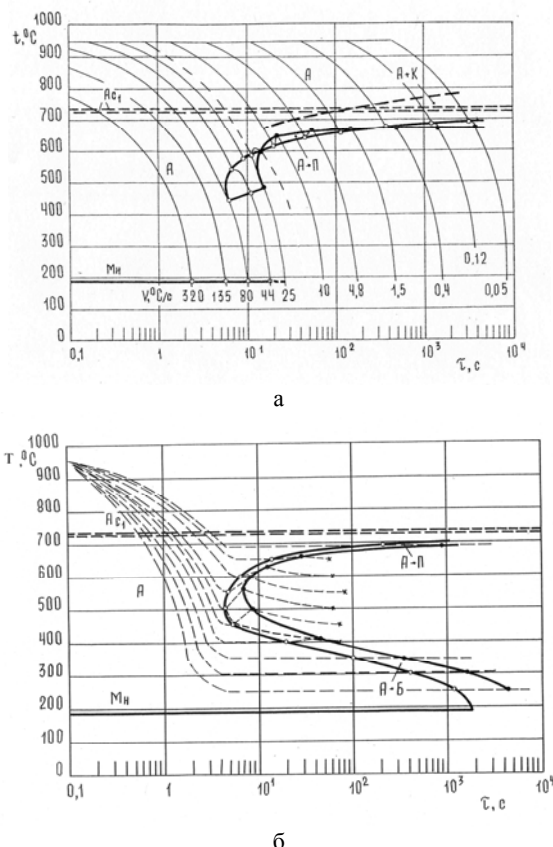
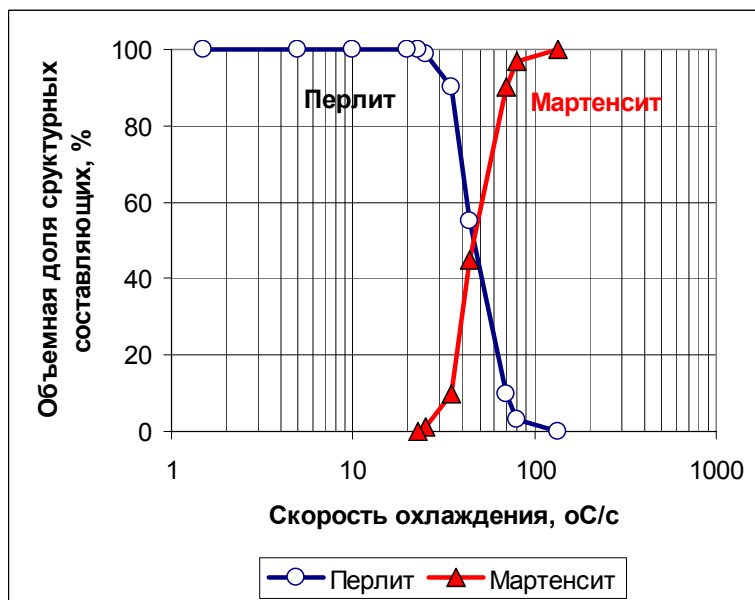


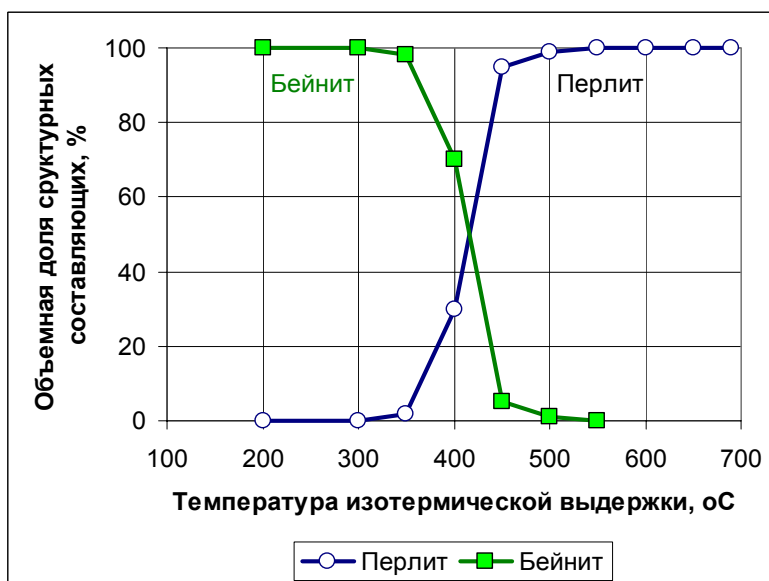
Рис. 1. Диаграммы распада аустенита стали 90 при непрерывном охлаждении (а) и изотермических выдержках (б): —○— — начало; —●— —конец превращения аустенита; —х— —достижение температуры изотермической ванны.

Известно, что в заэвтектоидной стали в процессе охлаждения из пересыщенного углеродом аустенита выделяется вторичный (свободный) цементит. Исходя из диаграммы (рис.1.а), равновесная растворимость углерода в аустените для стали, равна 780°С. При скорости охлаждения 0,05°С/с свободный цементит начинает выделяться в виде отдельных участков тонкой цементитной сетки по границам отдельных аустенитных зерен в интервале температур 780...690°С. С повышением скорости охлаждения, за счет уменьшения коэффициента диффузии углерода и времени охлаждения, количество выделений цементита подавляется и остатки цементитной сетки наблюдаются только при скоростях менее 10°С/с. Микроструктурные исследования распавшегося аустенита в изотермических условиях показали отсутствие выделений цементита (сетки) по границам зерен во всем интервале исследуемых температур.

По результатам микроструктурных исследований, построены структурные диаграммы (рис.2) превращений аустенита при непрерывном охлаждении и различных изотермических выдержках.



а



б

Рис. 2. Структурные диаграммы превращений аустенита стали 90 в термокинетических (а) и изотермических (б) условиях.

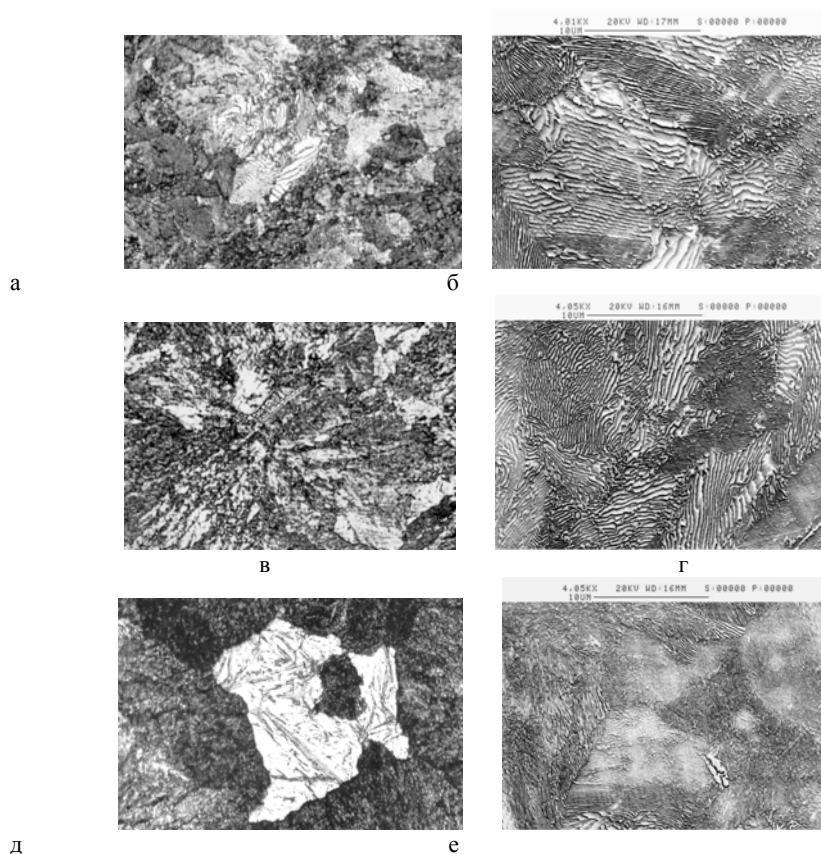


Рис. 3. Микроструктура (а,в,д - $\times 800$) стали 90 после аустенитизации и последующего непрерывного охлаждения со скоростью, $^{\circ}\text{C}/\text{с}$: 4,0 (а,б), 15,0 (в,г) и 25,0 (д,е).

При скоростях непрерывного охлаждения менее $25^{\circ}\text{C}/\text{с}$ распад переохлажденного аустенита осуществляется по диффузионной кинетике с образованием перлитных структур (рис.2.а) различной дисперсности (рис.3.а-г).

В интервале скоростей охлаждения от $25^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до $80^{\circ}\text{C}/\text{с}$ распад аустенита протекает по смешанной кинетике (рис.2.а), частично распадаясь по диффузионной кинетике, с образованием феррито–цементитной смеси, а оставшийся аустенит при температурах ниже 185°C распадается по сдвиговому механизму, с образованием игольчатых структур – мартенсита (рис.3.д,е). При скоростях выше $80^{\circ}\text{C}/\text{с}$ распад аустенита происходит по сдвиговому механизму, с образованием мартенсита.

Для стали 90 во всем интервале исследуемых скоростей охлаждения структура бейнита не обнаружена. Межпластиночное расстояние перлита при скоростях охлаждения 4,0; 15,0 и $25,0^{\circ}\text{C}/\text{с}$ составляет соответственно 0,2246; 0,1584 и 0,1262 мкм.

Принято считать, что операция патентирования является изотермическим процессом, т. е. распад аустенита происходит после достижения патентируемого металла температуры расплава в области минимальной устойчивости переохлажденного аустенита [2]. Однако по [3] изотермический распад аустенита при патентировании в принципе невозможен, так как этот процесс экзотермичен, т. е. протекает с выделением тепла фазовых превращений.

Из диаграммы (рис.2.б) следует, что при изотермическом распаде аустенита для стали 90 имеется две структурные области: перлитная и бейнитная. Температурным интервалом распада аустенита по смешанной кинетике является $400...450^{\circ}\text{C}$.

Для стали 90 минимальная устойчивость аустенита наблюдается при температуре 500°C (рис.1.б). Такая кинетическая закономерность распада аустенита характерна для всех до- и заэвтектоидных углеродистых сталей, в которых минимум устойчивости аустенита, независимо от температуры нагрева, величины зерна и содержания углерода, находится в интервале $500...550^{\circ}\text{C}$ [4].

В процессе изотермического распада при температурах 400, 450 и 500°C выделяется тепло рекалесценции, которое приводит к повышению температуры образца. При температурах выше 650°C и ниже 400°C распад аустенита протекает практически в изотермических условиях.

На основании исследований установлено, что с повышением времени изотермического распада величина температурного отогрева образца за счет тепла рекалесценции уменьшается (рис.4).

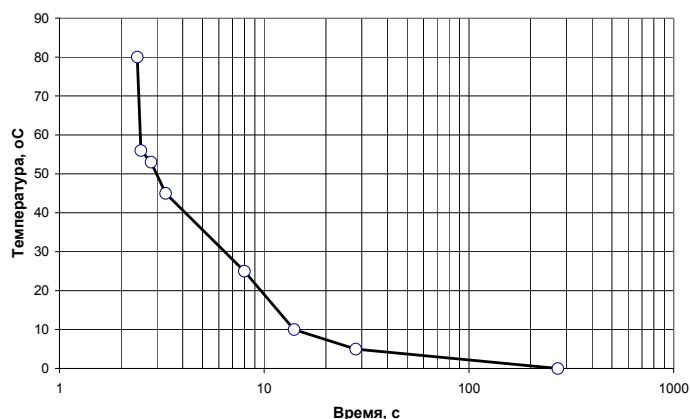


Рис. 4. Зависимость между температурой разогрева образца и временем изотермического распада аустенита стали 90.

При термокинетических условиях распада (рис.5) в интервале $15...4,8^{\circ}\text{C}/\text{с}$ за счет выделения тепла при фазовом превращении наблюдается аномалия: температура конца распада выше температуры начала на $20...30^{\circ}\text{C}$.

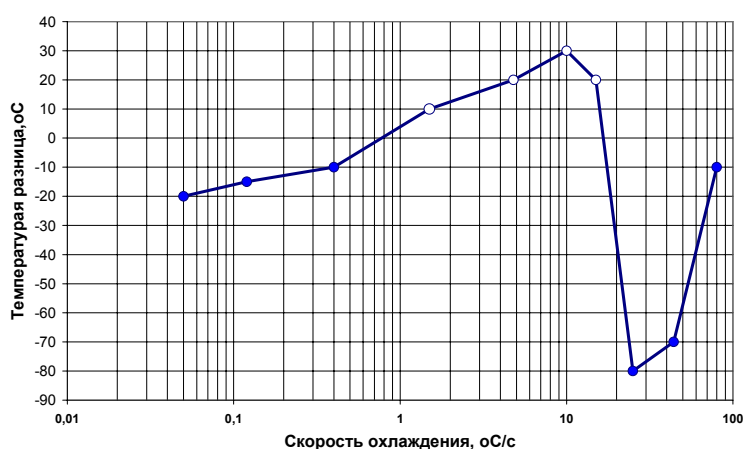


Рис. 5. Влияние тепла рекалесценции на температурную разницу между началом и концом превращения аустенита стали 90 при непрерывном охлаждении: —●— -снижение; —○— -прирост температуры конца превращения.

На основании анализа построенных диаграмм и структурных исследований установлены следующие особенности распада аустенита стали 90.

При термокинетических условиях распада:

- В интервале скоростей охлаждения от $25^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до $0,05^{\circ}\text{C}/\text{с}$ переохлажденный аустенит распадается только по диффузионной кинетике с образованием перлита различной дисперсности.
- При скоростях охлаждения $25...80^{\circ}\text{C}/\text{с}$ распад аустенита протекает по смешанной кинетике, при этом степень его распада по диффузионному механизму существенно зависит от скорости охлаждения: при $25^{\circ}\text{C}/\text{с}$ образуется 99% перлита, при $44^{\circ}\text{C}/\text{с}$ – 40...50%, а при $80^{\circ}\text{C}/\text{с}$ – 3...5%.
- В интервале скоростей $15...4,8^{\circ}\text{C}/\text{с}$ за счет выделения тепла при фазовом превращении наблюдается аномалия: температура конца распада выше температуры начала на $20...30^{\circ}\text{C}$.

Распад при изотермических выдержках:

- В процессе изотермического распада при температурах 400 , 450 и 500°C выделяется тепло рекалесценции, которое приводит к повышению температуры образца на 2 , 50 и 80°C соответственно. Минимальная устойчивость аустенита наблюдается при температуре 500°C . При температурах выше 650°C и ниже 400°C распад аустенита протекает практически в изотермических условиях.
- При изотермических температурах выше 450°C приоритетным является образование перлита, а ниже 400°C – бейнита.

Таким образом, показано, что на фазовые превращения и формирование микроструктуры особое влияние оказывает тепло рекалесценции. Полученные знания позволяют при производстве высокоуглеродистой катанки-проволоки рекомендовать рациональные режимы регулируемого ускоренного охлаждения [5] и патентирования [6].

Литература

1. Термокинетические диаграммы превращения аустенита колесной стали /М.Ф.Евсюков, В.И.Узлов, Е.А.Шаповал и др. - В кн.: Производство термически обработанного проката. М.: Металлургия, 1986.- С. 76-79.
2. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов: Учебник. -М.: Металлургия, 1978. - 392 с.
3. Потемкин К.Д. Термическая обработка и волочение высокопрочной проволоки. - М.: Металлургиздат, 1963. - 120 с.
4. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана: Справ, термиста / Л.Е. Попова, А.А. Попов. – М.: Металлургия, 1991.-503с.

5. Формирование структуры и свойств катанки для сверхвысокопрочного металлокорда /В.А.Луценко, В.А.Маточкин, Н.И.Анеликин и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. –2006. -№ 6. -С.54 –57.
6. Влияние масштабного фактора на кинетику превращения аустенита при патентировании проволоки из высокоуглеродистой стали /В.А.Луценко, В.А.Маточкин, М.Ф.Евсюков и др.//ОАО «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия». –2007.-№3.-С.45-47.