

**В.А.Луценко, М.Ф.Евсюков, А.И.Сивак, В.А.Маточкин*,
О.М.Кириленко*, Д.Н. Андрианов***

*Институт черной металлургии НАН Украины,
РУП «Белорусский металлургический завод»

ФАЗОВЫЕ И СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ АУСТЕНИТА В СТАЛИ 90 ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ОХЛАЖДЕНИИ

Приведены результаты исследований по влиянию непрерывного охлаждения на фазовые и структурные превращения аустенита в стали 90. Показано, что на кинетику распада переохлажденного аустенита оказывает влияние как скорость охлаждения, так и тепло, выделяющееся в процессе самого распада.

Современное состояние вопроса.

На Республиканском унитарном предприятии «Белорусский металлургический завод» (РУП БМЗ) катанка, сорбитизированная для металлокорда, выпускается на высокоскоростном проволочном стане 150 с использованием линии гибкого регулируемого охлаждения Стелмор. С целью расширения марочного и размерного сортамента металлопродукции на заводе начато освоение производства катанки из стали 90 для сверхвысокопрочного металлокорда и проволоки РВД.

При термической обработке катанки после отдельного 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% *C* и 0,84% *Mn* с увеличением скорости охлаждения до 2⁰С/с температура конца распада аустенита за счет тепла фазового превращения повышается до 645⁰С, что выше температуры начала превращения на 20⁰С. Какие-либо сведения о влиянии тепла фазового превращения на кинетику превращения аустенита в заэвтектоидных сталях отсутствуют.

Согласно требованиям РУП БМЗ (ЗТУ 840–03–2005) микроструктура катанки должна состоять из тонкопластинчатого перлита не более 2 балла по ГОСТ 8233. Сорбит отпуска в поверхностном слое, мартенситные и троостомартенситные участки, свободный цементит в микроструктуре не допускаются.

Изложение основных материалов исследования.

В связи с этим были выполнены исследования по изучению влияния тепла фазового превращения на кинетику распада аустенита стали 90 в большом интервале скоростей охлаждения с микроструктурным анализом образцов. Исходным материалом для образцов служила катанка диаметром 5,5мм из стали 90К (пл.33251) производства РУП БМЗ по ЗТУ 840–03–2005 с химическим составом, приведенном в табл.1.

Таблица 1. Химический состав катанки из стали 90К пл.33251

Массовая доля элементов, %									
C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Ni	Al	N ₂
0,92	0,438	0,214	0,005	0,009	0,017	0,019	0,011	0,001	0,004
Требования ЗТУ 840–03–2005									
0,90– 0,94	0,40– 0,70	Не более							
		0,30	0,010	0,012	0,05	0,05	0,05	0,004	0,004

Кинетика превращения аустенита после отдельного нагрева в большом интервале скоростей охлаждения изучалась на dilatометрах АД–80 и МД–83 конструкции Института черной металлургии им.З.И.Некрасова НАН Украины. Нагрев образцов (диаметром 3 и 4мм) в dilatометре осуществляли до 950⁰С с последующей выдержкой в течение 3мин. 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 КСП 4, а изменение длины образца в зависимости от температуры (дилатограмму) регистрировали на двухкоординатном потенциометре ПДП 4–002. По термограмме определяли среднюю скорость охлаждения и его температуру, по перегибам на дилатограммах – температуру начала и конца фазового превращения.

Строение продуктов распада изучали на dilatометрических образцах после различных скоростей охлаждения микроструктурным методом на световом микроскопе НЕОФОТ–2 после травления образцов 4% NITAL. Балл перлита оценивали по ГОСТ 8233.

Результаты исследования кинетики фазовых превращений аустенита стали 90 после различных скоростей охлаждения и микроструктурных исследований обобщены и представлены в виде термокинетической диаграммы (рис.1). Под кривыми охлаждения приведены цифры, характеризующие среднюю скорость охлаждения в интервале температур от 950⁰С до температуры М_n. Светлые точки на диаграмме соответствуют началу превращения, черные точки – концу превращения аустенита.

Результаты анализа термокинетической диаграммы (рис.1) показали, что при скоростях охлаждения менее 25⁰С/с распад переохлажденного аустенита осуществляется по диффузионной кинетике с образованием перлитных структур различной дисперсности. В интервале скоростей охлаждения от 25 до 80⁰С/с аустенит частично распадается по диффузионной кинетике с образованием феррито–цементитной смеси, а оставшийся аустенит при температурах ниже 185⁰С распадается по сдвиговому механизму с образованием игольчатых структур – мартенсита.

На кинетику распада переохлажденного аустенита оказывают влияние как скорость охлаждения, так и тепло, выделяющееся в процессе самого распада.

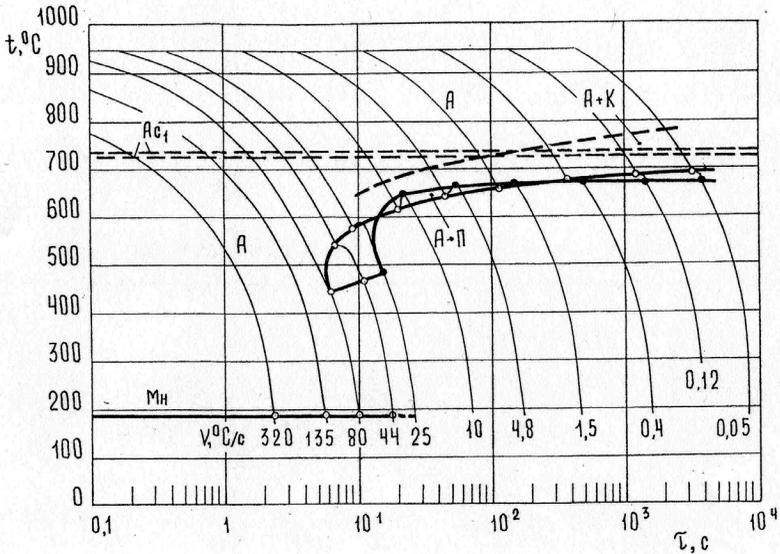


Рис.1. Термокинетическая диаграмма распада аустенита стали 90.

Распад по диффузионной кинетике

При скоростях охлаждения менее $25^{\circ}\text{C}/\text{c}$ установлены следующие закономерности кинетики распада переохлажденного аустенита на перлит. При охлаждении со средней скоростью $15^{\circ}\text{C}/\text{c}$ переохлажденный аустенит начинает распадаться при температуре 580°C с образованием перлита. Выделение значительного количества тепла при фазовом превращении приводит к повышению температуры образца до 615°C при распаде 60% аустенита. При дальнейшем охлаждении за счет снижения количества аустенита скорость распада уменьшается, температура снижается, и при температуре 600°C распад заканчивается. Время распада всего аустенита составляет не более 3с. Микроструктура образцов состоит из 90–95% сорбитообразного перлита (рис.2,б).

При снижении скорости охлаждения до $10^{\circ}\text{C}/\text{c}$ температура начала распада повышается до 615°C . В процессе распада 80% аустенита температура за счет тепла фазового превращения повысилась до 650°C , заканчивается распад при температуре 645°C , что выше температуры начала распада на 30°C . Микроструктура образца в основном состоит из ~90% сорбитообразного перлита. Общее время распада аустенита увеличилось до 8с.

Дальнейшее снижение скорости охлаждения до $4,8^{\circ}\text{C}/\text{c}$ приводит к повышению температуры начала распада аустенита до 640°C . В процессе выделения тепла рекалесценции температура повышается до 660°C , что на

20⁰С выше температуры начала распада. Микроструктура – 85...90% сорбитообразного перлита с единичными участками среднепластинчатого перлита.

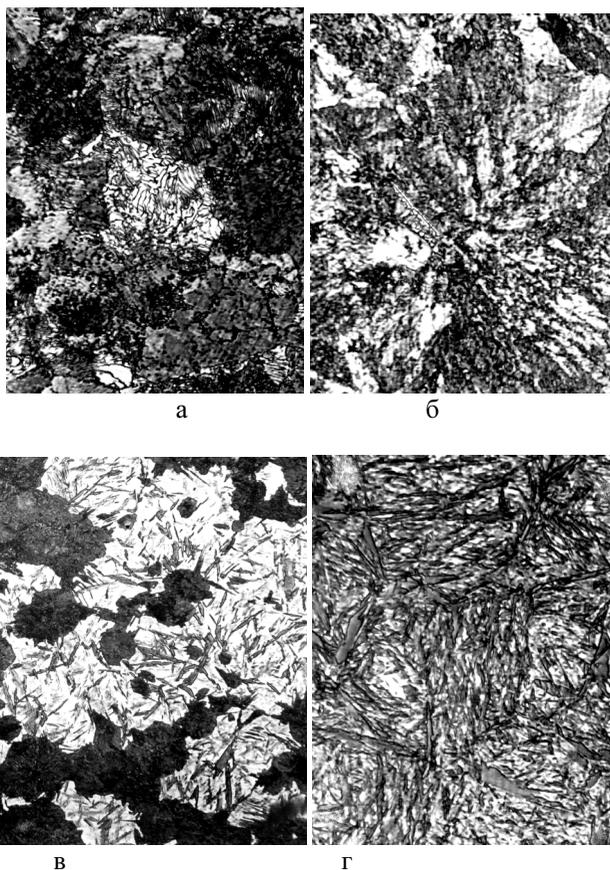


Рис.2. Микроструктура (x800) стали 90 после аустенитизации при 950⁰С и последующего непрерывного охлаждения со скоростью, ⁰С/с: 0,4 (а), 15 (б), 44 (в) и 80 (г)

При скорости охлаждения 1,5⁰С/с распад аустенита протекает практически в изотермических условиях, температура начала распада соответствует 660⁰С, а конца – 670⁰С, что обеспечивается за счет снижения выделения тепла фазового превращения. Время распада аустенита увеличивается до 30 секунд. Микроструктура – сорбитообразный и тонкопластинчатый перлит с отдельными участками среднепластинчатого перлита.

При скорости охлаждения 0,4⁰С/с переохлажденный аустенит также распадается практически в изотермических условиях, но при этом темпе-

ратура начала распада – 680°C , а конца – 670°C . Время распада аустенита – 75с. Микроструктура состоит из сорбитообразного, тонкопластинчатого и отдельных участков среднепластинчатого перлита 5–6 балла.

При охлаждении со скоростью $0,12^{\circ}\text{C}/\text{с}$ температура начала распада повысилась до 685°C . Эта температура поддерживается при распаде 75...80% аустенита за счет тепла фазового превращения. Уменьшение количества распадающегося аустенита при дальнейшем охлаждении в печи приводит к снижению температуры конца распада до 670°C . Общее время распада аустенита 120с. Микроструктура – сорбитообразный и тонкопластинчатый перлит, а также до 25% среднепластинчатого перлита в виде отдельных крупных колоний (рис.2,а).

Минимальная скорость охлаждения была $0,05^{\circ}\text{C}/\text{с}$. Распад начинается при температуре 690°C . Данная температура сохраняется при распаде до 60% аустенита. При дальнейшем охлаждении, за счет уменьшения количества выделения тепла от фазового превращения, температура понизилась на 20°C , и при 670°C распад заканчивается. Это свидетельствует о том, что с уменьшением скорости до $0,05^{\circ}\text{C}/\text{с}$ снижается степень распада аустенита в изотермических условиях и увеличивается степень распада при охлаждении, что приводит к расширению температурного интервала распада на 20°C и увеличению времени распада до 240с. Микроструктура – перлит сорбитообразный, тонкопластинчатый и крупные участки среднепластинчатого.

Распад по смешанной кинетике.

В интервале скоростей охлаждения от $25^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до $80^{\circ}\text{C}/\text{с}$ распад аустенита протекает по смешанной кинетике. При охлаждении со средней скоростью $80^{\circ}\text{C}/\text{с}$ переохлажденный аустенит начинает распадаться с образованием перлита в интервале температур $460...470^{\circ}\text{C}$. При охлаждении ниже 450°C превращение не идет, о чем свидетельствует отсутствие перегибов на дилатограммах, а при температуре 185°C и ниже переохлажденный аустенит распадается по сдвиговому механизму с образованием игольчатых структур – мартенсита. В этом случае микроструктура образцов состоит из сорбитообразного перлита (3...5%), мартенсита и остаточного аустенита.

При охлаждении со скоростью $44^{\circ}\text{C}/\text{с}$ температура начала распада аустенита по диффузионной кинетике повышается до 540°C . При этом первые перлитные колонии зарождаются на границах аустенитных зерен и в процессе дальнейшего роста они приобретают форму, близкую к равновесной. При дальнейшем охлаждении аустенит распадается с образованием высокодисперсной структуры – троостита, имеющего изрезанную и игольчатую границу роста. При температуре 470°C распад аустенита тормозится. Дальнейший распад – по сдвиговому механизму при температуре 185°C и ниже. В этом случае микроструктура образцов состоит из 40–50% сорбитообразного перлита и троостита, мартенсита и остаточного аустенита (рис.2,в).

Снижение скорости охлаждения до $25^{\circ}\text{C}/\text{с}$ приводит к увеличению степени распада аустенита по диффузионной кинетике на перлит до 99%. В этом случае распад начинается при 575°C и за счет значительного выделения тепла фазового превращения температура повышается до 590°C . Уменьшение выделения тепла при дальнейшем распаде аустенита в процессе охлаждения приводит к понижению температуры, и при 490°C превращение аустенита тормозится. Остаточный аустенит в процессе дальнейшего охлаждения (при 185°C) распадается с образованием игольчатого перлита и игольчатого мартенсита (~1%).

При скоростях охлаждения выше $80^{\circ}\text{C}/\text{с}$ распад аустенита происходит по сдвиговому механизму с образованием игольчатого мартенсита. Так как температура конца мартенситного превращения лежит в области отрицательных температур минус $90\text{--}100^{\circ}\text{C}$, то в образцах при комнатной температуре (20°C) сохраняется до 8% остаточного аустенита. В этом случае микроструктура образцов состоит из игольчатого мартенсита 5...8 балла и остаточного аустенита в виде светлых прослоек между мартенситными иглами (рис.2,г).

Выводы.

Таким образом, изучены закономерности влияния тепла рекалесценции на кинетику превращения и формирование микроструктуры стали 90 в широком диапазоне скоростей охлаждения, из которых можно сделать следующие выводы:

➤ В интервале скоростей охлаждения от $15^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до $0,05^{\circ}\text{C}/\text{с}$ переохлажденный аустенит распадается только по диффузионной кинетике с образованием перлита различной дисперсности.

➤ В интервале скоростей $4,8\text{...}0,05^{\circ}\text{C}/\text{с}$ температура начала распада аустенита повышается от 640°C до 690°C , а температура конца распада за счет выделения значительного количества тепла фазового превращения практически не изменяется и находится в интервале $660\text{...}670^{\circ}\text{C}$. В интервале $1,5\text{...}0,12^{\circ}\text{C}/\text{с}$ распад аустенита идет практически в изотермических условиях.

➤ Максимальный эффект повышения температуры за счет выделения тепла при фазовом превращении наблюдается в интервале $10\text{...}4,8^{\circ}\text{C}/\text{с}$. В этом случае наблюдается аномалия: температура конца распада выше температуры начала на $20\text{...}30^{\circ}\text{C}$.

➤ При скоростях охлаждения $25\text{...}80^{\circ}\text{C}/\text{с}$ распад протекает по смешанной кинетике, при этом степень распада аустенита по диффузионному механизму существенно зависит от скорости охлаждения: при $25^{\circ}\text{C}/\text{с}$ образуются 99% перлита, при $44^{\circ}\text{C}/\text{с}$ – 40...50%, а при $80^{\circ}\text{C}/\text{с}$ – 3...5%. В данном интервале скоростей понижается температура начала распада с 575°C до 450°C и температура торможения распада аустенита с 490°C до 450°C . Переохлажденный аустенит при дальнейшем охлаждении (ниже 185°C)

распадается по сдвиговому механизму с образованием игольчатого мартенсита.

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.

Статья рекомендована к печати д.т.н., проф. В.В.Парусовым.