

М.Ф.Евсюков, Ж.А.Дементьева, П.Д.Грушко, Ж.З.Чехута

### ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ, ЛЕГИРОВАННОЙ МАРГАНЦЕМ

Изучены особенности кинетики структурных и фазовых превращений аустенита в низкоуглеродистой стали, легированной марганцем. Описаны закономерности распада низкоуглеродистого аустенита в процессе охлаждения как по диффузионному механизму с образованием феррита и перлита, так и при распаде по сдвиговому механизму с образованием мартенсита. Показано влияние тепла фазового превращения на кинетику распада аустенита в большом интервале скоростей охлаждения.

**низкоуглеродистая сталь, распад аустенита, фазовое превращение, скорость охлаждения**

**Состояние вопроса.** Распад низкоуглеродистого аустенита при всех скоростях охлаждения всегда начинается с образования феррита. Это обусловлено тем, что скорость образования свободного феррита при всех прочих равных условиях в несколько раз больше скорости образования цементита. Это обусловлено как меньшей флуктуацией состава, необходимой для возникновения зародышей феррита [1], так и большей линейной скоростью роста этих зародышей. Если интенсивность диффузионных процессов в прилегающих участках аустенита одинакова, то последняя ориентировочно должна быть в 6–7 раз больше линейной скорости цементита [2]. При этом фазовое превращение аустенита при всех скоростях охлаждения сопровождается выделением тепла (рекалесценцией). В зависимости от химического состава – содержания углерода и легирующих элементов аустенит может распадаться с образованием, как феррита, так и в виде эвтектоида. В настоящее время о влиянии тепла фазового превращения в высокоуглеродистых сталях на кинетику распада аустенита с образованием перлита как при непрерывном охлаждении, так и в изотермических условиях посвящено несколько работ [3,4]. Так, при исследовании [3] высокоуглеродистых сталей с 0,54%С и 0,64%С было показано, что превращение аустенита при различных скоростях охлаждения имеет свои особенности. Превращение аустенита в перлит по диффузионной кинетике происходит с выделением значительного количества тепла. С увеличением скорости охлаждения количество тепла, выделяющееся в единицу времени, растет, что приводит вначале распада к замедлению скорости охлаждения, а затем и подъему. А это в свою очередь приводит к повышению температуры конца превращения аустенита с низким содержанием углерода и марганца до 655<sup>0</sup>С, с верхним содержанием углерода до 645<sup>0</sup>С, что выше температуры начала превращения. Наибольшее влияние тепла фазового превращения на температуру конца превращения аустенита про-

является при скоростях охлаждения  $2-4^{\circ}\text{C}/\text{с}$ . В этом случае образуется феррит в виде межзеренной прослойки, а эвтектоид присутствует в виде сорбитообразного перлита. Аналогичные данные по влиянию тепла фазовых превращений на кинетику превращения при термической обработке были получены и на эвтектоидных [5] и заэвтектоидных сталях [6] как при непрерывном охлаждении, так и в изотермических условиях при патентировании. В этом случае в процессе изотермической выдержки в соляных ваннах тепло фазового превращения приводит к повышению температуры образца на  $40-60^{\circ}\text{C}$ .

**Постановка задачи.** Целью настоящего исследования является изучение кинетики распада низкоуглеродистого аустенита стали легированной марганцем в большом интервале скоростей охлаждения с учетом тепла фазового превращения как при распаде по диффузионной кинетике с образованием ферритных структур, так и при превращении по сдвиговому механизму с образованием мартенсита при скоростях охлаждения выше критической.

**Методика проведения исследования.** Кинетику превращения в большом интервале скоростей охлаждения в низкоуглеродистой арматурной стали 20Г, легированной марганцем, исследовали на dilatометрах АД-80 и МД-83 конструкции Института черной металлургии. Плавочный химический состав арматуры диаметром 25 мм плавки 26632, выпущенной Молдавским металлургическим заводом, следующий: 0,18%С, 1,01%Мн, 0,22%Si, 0,14%Сг, 0,14Ni, 0,29%Си, 0,002%Ti.

Из арматуры в продольном направлении изготавливали dilatометрические образцы диаметром 4мм. Нагрев образцов осуществляли до  $900^{\circ}\text{C}$  с последующей выдержкой 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 записывали на потенциометре КСП4, а изменение длины образца от температуры охлаждения регистрировали на двухкоординатном потенциометре ПДП4-002. По термограммам определяли среднюю скорость охлаждения и его температуру, по перегибам на dilatограммах температуру начала и конца фазового превращения.

Строение продуктов распада изучали на dilatометрических образцах после различных скоростей охлаждения микроструктурным методом на микроскопе НЕОФОТ-2. Шлифы, изготовленные в поперечном сечении образца, травили 4% ниталем. Объемное содержание структурных составляющих в dilatометрических образцах определяли расчетным методом по dilatограммам, записанным после различных скоростей охлаждения. Контроль микроструктуры проводили по ГОСТ 8233.

**Изложение основных материалов исследования.** Результаты исследования кинетики фазовых превращений аустенита при непрерывном охлаждении в интервале скоростей охлаждения от  $0,06^{\circ}\text{C}/\text{с}$  до  $510^{\circ}\text{C}/\text{с}$  пред-

ставлены в виде термокинетической диаграммы превращения аустенита стали 20Г (рис.1).

Критические точки, определенные на образцах диаметром 4 мм, при нагреве со скоростью  $200^{\circ}\text{C}/\text{с}$ , как среднее значение трех измерений, равны:  $A_{c1}-730^{\circ}\text{C}$ ,  $A_{c3}-850^{\circ}\text{C}$ .

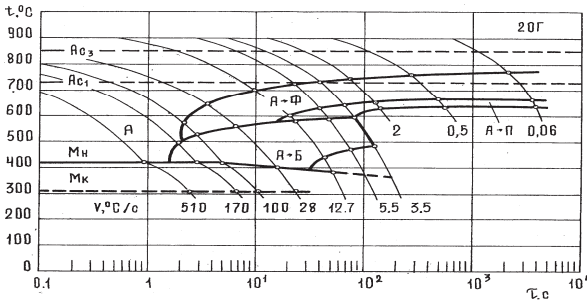


Рис.1. Термокинетическая диаграмма превращения аустенита-стали 20 Г после нагрева  $900^{\circ}\text{C}$  – 10 мин.

Анализ термокинетической диаграммы и микроструктурные исследования образцов показали следующее. Кинетика распада в зависимости от скорости охлаждения зависит от температурно–временных условий охлаждения следующим образом. В интервале скоростей охлаждения ниже  $3,5^{\circ}\text{C}/\text{с}$  распад аустенита осуществляется по диффузионной кинетике с образованием, в основном, феррита и частично эвтектоида в виде перлита различной дисперсности. Распад аустенита независимо от скорости охлаждения начинается с образования зародышей феррита на границе аустенитных зерен. Содержание углерода в аустените практически не равно среднему содержанию углерода в стали, т. к. в процессе кристаллизации ветви дендритов обеднены углеродом, а междуветвия обогащены им [7,8]. А феррит, зарождающийся на границе аустенитных зерен, имеет максимальную растворимость углерода около 0,02%. Поэтому ферритное зерно в процессе роста вытесняет углерод в пограничный слой аустенитного зерна с растворимостью углерода до 0,8%.%

При охлаждении в процессе роста ферритных зерен оставшийся аустенит все время обогащается углеродом [9]. При этом, с увеличением содержания углерода в аустените скорость роста ферритных зерен уменьшается. С учетом химической неоднородности аустенита в ветвях и междуветвьях, скорость роста ферритных зерен в разных направлениях также будет разная. В связи с этим, за счет наибольшей скорости роста ферритных зерен в ветвях с минимальным содержанием углерода форма их роста также будет разная. В процессе распада аустенита ферритные зерна соединяются. В этом случае обогащение остаточного аустенита происходит от двух границ ферритных зерен. В результате этого пограничный слой между ферритными зернами обогащается до содержания углерода в эвтектоиде. В результате этого пересыщенный углеродом ау-

стенит распадается на феррит и карбид цементитного типа в виде фрагментов цементитной сетки или кристаллов структурно свободного цементита. Аналогичным образом образуется структурно свободный цементит и внутри ферритных зерен. В этом случае ферритное зерно замыкает фрагмент аустенитного зерна. В процессе дальнейшего охлаждения, распадается аустенит со всех сторон обогащается углеродом до эвтектоидного состава, который в конечном итоге трансформируется в структурно свободный цементит внутри ферритных зерен.

Аналогичные результаты были описаны и в работах [10,11], где было показано, что в процессе эвтектоидного превращения этого аустенита ферритная составляющая объединяется с ранее выделившимся ферритом, а цементит образуется в стали легированной молибденом в виде отдельных изолированных цементитных частиц по границам ферритных зерен как структурно– свободный цементит. [10]. В работе [11] показано, что структурно свободный цементит (ССЦ) чаще всего выделяется в виде узких прослоек на границах зерен. Более мелкие частицы наблюдаются и внутри зерен феррита. Длинные или разветвленные выделения ССЦ на двойных и тройных стыках зерен феррита, а также цементитные каемки на границах перлитных колоний – продукт эвтектоидного превращения узких прослоек пересыщенного углеродом аустенита, которое протекало с разделением фаз. Их образованию способствует медленное охлаждение стали в нижней части межкритического и верхней части субкритического интервалов температур. Механизм и кинетика образования ССЦ в низкоуглеродистых сталях подробно описаны в работах [12,13].

По мере понижения температура в процессе охлаждения за счет обогащения углеродом до 0,8% остаточный аустенит распадается с образованием эвтектоида дисперсность и морфология, которого зависят от скорости охлаждения.

В процессе охлаждения распад переохлажденного аустенита сопровождается выделением тепла. В связи с тем, что распад аустенита на феррит происходит в большом интервале температур, тепло выделяющееся в процессе распада аустенита при скоростях охлаждения ниже  $0,5^{\circ}\text{C}/\text{с}$  практически не оказывает влияния на кинетику распада аустенита. В интервале скоростей охлаждения от  $3,5^{\circ}\text{C}/\text{с}$  до  $2^{\circ}\text{C}/\text{с}$  за счет увеличения скорости распада аустенита выделяющееся тепло уменьшает скорость охлаждения образца на 10–15%. Практически одинаковый температурный интервал распада остаточного аустенита на перлит, равный  $30^{\circ} - 35^{\circ}\text{C}$ , свидетельствует об незначительном влиянии тепла фазового превращения остаточного аустенита, равного 20–25%.

При скоростях охлаждения ниже  $3,5^{\circ}\text{C}/\text{с}$  аустенит в процессе охлаждения превращается по диффузионной кинетике с образованием зерен феррита и перлита различной дисперсности (рис.2). При скорости охлаждения  $2^{\circ}\text{C}/\text{с}$  феррит начинает выделяться при температуре  $745^{\circ}\text{C}$ , в основ-

ном, в виде равноосных зерен с плохо видимой границей между ними (рис.2,а). С уменьшением скорости охлаждения до  $0,5^{\circ}\text{C}/\text{c}$  (рис.2,б) и до  $0,06^{\circ}\text{C}/\text{c}$  (рис.2,в) за счет уменьшения скорости зарождения, но при достаточно высоком коэффициенте диффузии углерода и атомов железа балл зерна феррита увеличивается. При этом, зерна феррита имеют как равноосную, так и вытянутую форму с хорошо видимой границей между ними. Перлит при скоростях охлаждения  $2^{\circ}\text{C}/\text{c}$  (рис.2,а) и  $0,5^{\circ}\text{C}/\text{c}$  наблюдается как в виде ликвационных полос, так и в виде мелких сравнительно равномерно расположенных участков, однако, вытянутых вдоль направления деформации. При минимальной скорости охлаждения, равной  $0,06^{\circ}\text{C}/\text{c}$  (рис.2,в) перлит наблюдается только в виде ликвационных полос. Содержание перлита около 25%. При этом, температура начала превращения аустенита на феррит с понижением скорости охлаждения от  $2^{\circ}\text{C}/\text{c}$  до  $0,06^{\circ}\text{C}/\text{c}$  повышается с  $745^{\circ}\text{C}$  до  $770^{\circ}\text{C}$ . Температура начала перлитного превращения также повышается с  $650^{\circ}\text{C}$  до  $660^{\circ}\text{C}$ . Оканчивается распад остаточного аустенита на перлит соответственно при температурах  $630^{\circ}\text{C}$  и  $640^{\circ}\text{C}$ . Однако, с увеличением скорости охлаждения до  $3,5^{\circ}\text{C}/\text{c}$  температура конца распада аустенита на перлит понижается значительно и равна  $590^{\circ}\text{C}$ .

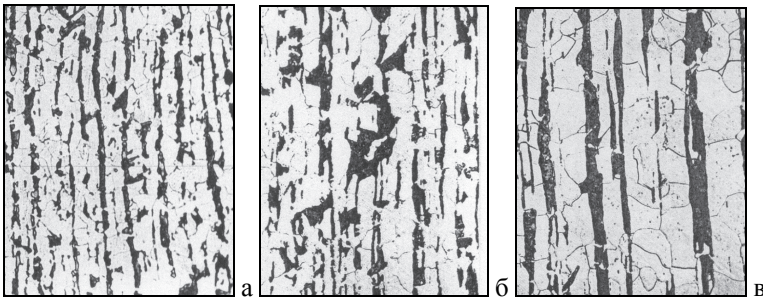


Рис. 2. Микроструктура стали 20Г после нагрева  $900^{\circ}\text{C}$  – 10 мин и охлаждения со скоростью  $2^{\circ}\text{C}/\text{c}$  (а),  $0,5^{\circ}\text{C}/\text{c}$  (б) и  $0,06^{\circ}\text{C}/\text{c}$  (в). Травление – ниталь,  $\times 200$ .

В интервале скоростей охлаждения от  $3,5^{\circ}\text{C}/\text{c}$  до  $145^{\circ}\text{C}/\text{c}$  превращение аустенита протекает по смешанной кинетике. При этом, при минимальной скорости охлаждения ниже  $730^{\circ}\text{C}$  феррит образуется полиэдрической формы. При повышении скорости охлаждения до  $5,5^{\circ}\text{C}/\text{c}$  феррит ниже  $720^{\circ}\text{C}$  образуется как в виде равноосных зерен, так и в виде ферритной сетки, расположенной между бейнитными пакетами. При повышении скорости охлаждения до  $12,7^{\circ}\text{C}/\text{c}$  при температурах ниже  $700^{\circ}\text{C}$  количество зерен равновесной формы уменьшается, а количество феррита в виде межзеренной сетки значительно увеличивается. При скорости охлаждения  $17^{\circ}\text{C}/\text{c}$  ниже  $680^{\circ}\text{C}$  феррит выделяется, в основном, в виде сплошной ферритной сетки. При скорости охлаждения  $28^{\circ}\text{C}/\text{c}$  ниже  $650^{\circ}\text{C}$  ферритная сетка по границам зерен становится тонкой и разорванной. Дальнейшее

увеличение скорости охлаждения до  $100^{\circ}\text{C}/\text{с}$  при температурах ниже  $580^{\circ}\text{C}$  приводит к дальнейшему торможению распада аустенита на феррит. В данном случае он выглядит в виде отдельных мелких обрывков сетки между бейнитными участками. Полностью подавляется образование феррита при скорости охлаждения, равной  $145^{\circ}\text{C}/\text{с}$  и выше.

При дальнейшем охлаждении со скоростью  $3,5^{\circ}\text{C}/\text{с}$  при температуре  $630^{\circ}\text{C}$  начинают появляться первые зерна перлита. С повышением скорости охлаждения до  $15^{\circ}\text{C}/\text{с}$  температура начала выделения перлита понижается до  $580^{\circ}\text{C}$ , а степень распада аустенита на перлит уменьшается до нуля. При дальнейшем охлаждении в интервале температур  $580\text{--}590^{\circ}\text{C}$  происходит торможение распада аустенита на перлит. При этом морфологические особенности выделения перлита существенно зависят от скорости охлаждения. Если при скорости охлаждения  $3,5^{\circ}\text{C}/\text{с}$  перлит располагается, в основном, в виде ликвационных полос, то при скорости охлаждения  $5,5^{\circ}\text{C}/\text{с}$  наблюдается более мелкое и равномерное выделение зерен перлита по всему полю. При скорости охлаждения  $12,7^{\circ}\text{C}/\text{с}$  распад с образованием перлита начинается только при температуре  $600^{\circ}\text{C}$ . В этом случае присутствуют только отдельные перлитные участки различных размеров и формы.

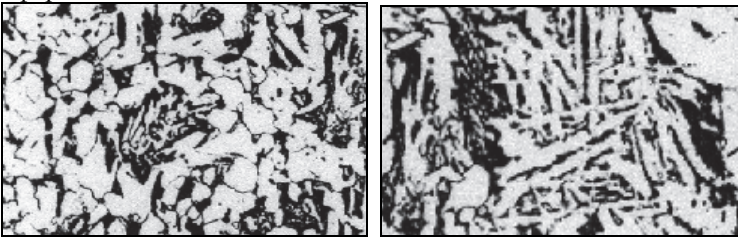


Рис.3. Микроструктура стали 20Г после нагрева  $900^{\circ}\text{C}$ - 10мин и охлаждения со скоростью  $3,5^{\circ}\text{C}/\text{с}$  (а) и  $12,7^{\circ}\text{C}/\text{с}$  (б),  $\times 200$ , ниталь.

При скорости охлаждения  $3,5^{\circ}\text{C}/\text{с}$  оставшийся аустенит ниже температуры  $590^{\circ}\text{C}$  распадается по сдвиговому механизму с образованием единичных участков бейнита (рис.3,а). С увеличением скорости охлаждения до  $5,4^{\circ}\text{C}/\text{с}$  количество бейнита увеличивается до 20–25%. При скорости охлаждения  $12,7^{\circ}\text{C}/\text{с}$  ниже  $580^{\circ}\text{C}$  за счет торможения распада аустенита на феррит и перлит в структуре наблюдается уже около 70% бейнита (рис.3,б). Максимальное количество бейнита в виде пакетов наблюдается при скорости охлаждения  $17^{\circ}\text{C}/\text{с}$  и равно 80%. При этом, при дальнейшем охлаждении со скоростью  $3,5^{\circ}\text{C}/\text{с}$  в результате уменьшения скорости превращения при температурах ниже  $480^{\circ}\text{C}$  распад аустенита на бейнит тормозится. С увеличением скорости охлаждения до  $17^{\circ}\text{C}/\text{с}$  температура приостановки превращения аустенита на бейнит понижается до температуры начала мартенситного превращения.

При дальнейшем увеличении скорости охлаждения до  $28^{\circ}\text{C}/\text{с}$  количество бейнита уменьшается, а количество мартенсита значительно увеличивается и равно 40–50%. При скорости охлаждения  $100^{\circ}\text{C}/\text{с}$  отдельные бейнитные пакеты приобретает ярко выраженное игольчатое строение. С увеличением скорости охлаждения до  $170^{\circ}\text{C}/\text{с}$  степень распада переохлажденного аустенита на бейнит в виде темнотравящихся пакетов уменьшается до 5–10%. Полное торможение распада аустенита на бейнит наблюдается при скорости охлаждения  $320^{\circ}\text{C}/\text{с}$  и выше. Аналогичные результаты были получены Wever и Rose [14]. Повышенная устойчивость аустенита в бейнитной области ранее автором была выявлена как на низкоуглеродистых сталях таких как Ст.3, 20ГС, 28С и 35ГС, так и на высокоуглеродистой стали с 0,46%С, легированной 1% марганца и 0,1% ванадия.

При всех скоростях охлаждения выше  $320^{\circ}\text{C}/\text{с}$  переохлажденный аустенит превращается с образованием мартенсита. Температура начала мартенситного превращения при скоростях охлаждения  $170^{\circ}\text{C}/\text{с}$  и  $510^{\circ}\text{C}/\text{с}$  равна  $420^{\circ}\text{C}$ , заканчивается распад при  $310^{\circ}\text{C}$ . При этом, выделение значительного количества тепла в момент фазового превращения приводит к значительному замедлению скорости охлаждения (см. кривые охлаждения  $510^{\circ}\text{C}/\text{с}$  и  $170^{\circ}\text{C}/\text{с}$  на диаграмме). При этом, максимальная скорость распада аустенита на мартенсит наблюдается в интервале температур  $420\text{--}350^{\circ}\text{C}/\text{с}$ . С уменьшением скорости охлаждения температура начала мартенситного превращения как после предварительного превращения при более высоких температурах с образованием бейнита, так и после предварительного превращения по смешанной кинетике с образованием также феррита и перлита понижается. При этом, с увеличением степени распада аустенита до 60% и уменьшении скорости охлаждения до  $28^{\circ}\text{C}/\text{с}$  влияние тепла фазового превращения на температуру образца становится практически равной нулю.

Сравнительный анализ полученных результатов с результатами, полученными на стали близкой к эвтектоидной [5], показал, что количество тепла, выделяющееся в низкоуглеродистом аустените при распаде на мартенсит несколько раз меньше и соответственно меньше влияние на скорость распада переохлажденного аустенита при дальнейшем охлаждении. При скорости охлаждения  $12,7^{\circ}\text{C}/\text{с}$  температура начала мартенситного превращения остаточного аустенита понижается и равна  $380^{\circ}\text{C}$ . В результате этого доля распада аустенита на мартенсит уменьшается до 2–3. Большая подвижность атомов углерода и матрицы в интервале температур  $420^{\circ}\text{--}310^{\circ}\text{C}$  оказывает существенное влияние, как на морфологию образующегося мартенсита, так и на процессы отпуска при дальнейшем охлаждении. В результате этого, мартенситное превращение протекает с образованием пакетов или блоков различной формы и направления (рис.4).

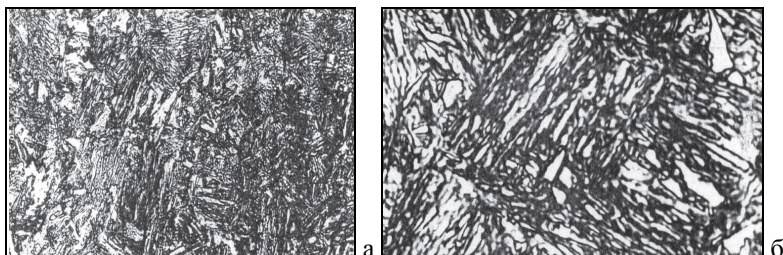


Рис. 4 Микроструктура стали 20Г после нагрева  $900^{\circ}\text{C}$  – 10 мин и охлаждения в воде со скоростью  $510^{\circ}\text{C}/\text{с}$ . Травление – ниталь, а –  $\times 200$ , б –  $\times 800$ .

В процессе дальнейшего охлаждения мартенсит подвергается процессу отпуска. Попов А.А. считает [2], что в процессе охлаждения происходит снятие структурных напряжений и происходит обеднение  $\alpha$ - фазы углеродом с выделением карбидных частиц цементитного типа. В результате этого при комнатной температуре в стали присутствует отпущенный темнотравящийся мартенсит (рис.4,а) В этом случае мартенситные участки при большом увеличении (рис.4,б) имеют вид отдельных последовательно расположенных пакетов с различной ориентацией и травимостью.

**Выводы.** Таким образом, в стали 20Г с 0,18%С и 1,01%Мн после отдельного нагрева до  $900^{\circ}\text{C}$  и выдержки 10 мин. в зависимости от скорости охлаждения распадается с образованием следующих структур.

При скоростях охлаждения ниже  $3,5^{\circ}\text{C}/\text{с}$  аустенит распадается в интервале температур  $770^{\circ}\text{C}$ –  $590^{\circ}\text{C}$  по диффузионной кинетике с образованием феррита и перлита различной дисперсности. Феррит, в основном, имеет равноосную форму, но с большой разнорзернистостью. Перлит наблюдается как в виде ликвационных полос, так и в виде мелких сравнительно равномерно расположенных участков, однако, вытянутых вдоль направления прокатки.

При скоростях охлаждения выше  $320^{\circ}\text{C}/\text{с}$  в интервале температур  $420^{\circ}\text{C}$ –  $310^{\circ}\text{C}$  переохлажденный аустенит превращается на мартенсит. С понижением скорости охлаждения от  $170^{\circ}\text{C}/\text{с}$  до  $12,7^{\circ}\text{C}/\text{с}$  температура начала мартенситного превращения понижается до  $380^{\circ}\text{C}$  при одновременном уменьшении степени распада до 2–5%. Бейнитно– мартенситная структура образуется в интервале скоростей охлаждения от  $145^{\circ}\text{C}/\text{с}$  до  $320^{\circ}\text{C}/\text{с}$ . При этом, максимальное количество бейнита составляет не более 5–10%.

В интервале скоростей охлаждения от  $3,5^{\circ}\text{C}/\text{с}$  до  $145^{\circ}\text{C}/\text{с}$  образуются смешанные структуры. Так, в интервале скоростей охлаждения от  $3,5^{\circ}\text{C}/\text{с}$  до  $15^{\circ}\text{C}/\text{с}$  распад аустенита начинается по диффузионной кинетике с образованием феррита и перлита. Феррит ниже  $730^{\circ}\text{C}$  выделяется как в виде равноосных зерен, так и в виде ферритной сетки. При температурах ниже  $640^{\circ}\text{C}$  наблюдается сравнительно равномерное выделение зерен перлита по всему полю. При этом, степень распада аустенита на перлит с увеличе-



нием скорости охлаждения до  $15^{\circ}\text{C}/\text{с}$  уменьшается до нуля. При температурах ниже  $590^{\circ}\text{C}$  оставшийся аустенит распадается по сдвиговому механизму с образованием бейнита в виде пакетов. При этом, при температурах ниже  $480^{\circ}\text{C}$  происходит торможение распада аустенита на бейнит. Однако, при температурах ниже  $380^{\circ}\text{C}$  оставшийся переохлажденный аустенит превращается с образованием мартенсита со слабо выраженным игольчатым строением. Максимальное количество бейнита, равное 70–80%, образуется в интервале скоростей охлаждения от  $15^{\circ}\text{C}/\text{с}$  до  $17^{\circ}\text{C}/\text{с}$ . Феррит присутствует в виде сетки, расположенной между бейнитными пакетами. При скорости охлаждения  $28^{\circ}\text{C}/\text{с}$  микроструктура состоит из разорванной сетки феррита, бейнита в виде пакетов и повышенное количество мартенсита, равное 40–50%. При скорости охлаждения, равной  $145^{\circ}\text{C}/\text{с}$ , степень распада аустенита на феррит равна нулю. Микроструктура, в основном, состоит из 90–95% мартенсита. Бейнит присутствует в виде отдельных темнотравящихся пакетов.

**Заключение.** На основании выполненных исследований на стали 20Г можно утверждать, что в низкоуглеродистых сталях с содержанием углерода до 0,22%С и содержанием перлита не более 25% влияние тепла фазового превращения аустенита при распаде по диффузионной кинетике с образованием феррита и перлита не наблюдается. При распаде аустенита по сдвиговому механизму с образованием мартенсита до 40% за счет тепла фазового превращения скорость охлаждения образца понижается на 10–15%, однако на кинетику распада оставшегося аустенита не оказывает влияния. При сравнительном анализе со сталью близкой к эвтектоидной [5] можно утверждать, что с увеличением содержания углерода в аустените тепловой эффект фазового превращения увеличивается в геометрической зависимости.

1. *Блантер М.Е.* Фазовые превращения при термической обработке стали. / Москва. Металлургиздат, 1962.
2. *Попов А.А.* Фазовые превращения в металлических сплавах. / М: Metallurgizdat, 1963, - 311с.
3. *Термокинетические* диаграммы превращения аустенита колесной стали. . М.Ф.Евсюков, В.И.Узлов, Е.А.Шаповал, Е.С.Романенко /– В кн.: Производство термически обработанного проката // МЧМ СССР. М: Металлургия, 1986. – С. 76-79.
4. *Термокинетические* диаграммы превращения аустенита колесной стали. / М.Ф.Евсюков, В.И.Узлов, Е.А.Шаповал, Е.С.Романенко //В кн.; Производство термически обработанного проката, МЧМ СССР, М; Металлургия, 1986, с. 76-79.
5. *Режим* двухстадийного охлаждения катанки из стали 80КРД на линии Стилмор./ Э.В.Парусов, В.В.Парусов, М.Ф.Евсюков, А.И.Сивак, А.Б.Сычков // Металлургическая и горнорудная промышленность, 2006, № 3, с. 64-66.
6. *Фазовые* и структурные превращения аустенита в стали 90К при непрерывном охлаждении. / В.А.Луценко, М.Ф.Евсюков, А.И.Сивак, В.А.Маточкин,

- О.М.Кириленко, Д.Н.Андрианов // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. ИЧМ, Днепропетровск, 2006, вып. 13. с.155-161.
7. *Мовчан Б. А.* Микроскопическая неоднородность в литых сплавах./ Техника, Киев, 1962, -340с.
  8. *Голиков И.Н.* Дендритная ликвация в сталях./ М: Металлургия, 1958, - 206с.
  9. *Гуляев А.П.* Термическая обработка стали. / М: Машгиз, 1960, С.-212-213.
  10. *Бабошин А. Л.* Структурно свободный цементит в мягкой стали./ Журнал Русского металлургического общества, 1915.
  11. *Борисенко. В.Л.* Тимошенко, Б.Ф. Марцинив, В.А. Пирогов, Е.В. Барышев. Влияние условий безокислительного охлаждения на структуру и свойства низкоуглеродистой катанки. / Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сборник научн. трудов. Киев, Наукова Думка, 1995. –С 183-188.
  12. *Парусов В.В., Бабич В.К., Подобедов Л. В. и др.* / Сталь, 1982. -№11. –С. 59-62.
  13. *В.В. Парусов В.В., Стародубов К.Ф., Марцинив Б.Ф. и др..* / Докл. АН УРСР. -1983. –№9. –С. 84-86.
  14. *Wever F., Rose A., Peter W., Strassburd W., Rademancher L.* / Atlas zur Warmebehandlung der Stahle, 1954, 1956, 1958.

*Статья рекомендована к печати  
проф., докт.техн.наук Г.В. Левченко*

***М.Ф.Євсюков, Ж.А.Демєнтьєва, П.Д.Грушко, Ж.З.Чехута***  
**Фазові перетворення в низьковуглецевих сталях, легованих марганцем.**

Вивчено особливості кінетики структурних і фазових перетворень аустеніту в низьковуглецевій сталі, що легована марганцем. Описано закономірності розпаду низьковуглецевого аустеніту в процесі охолодження як за дифузійним механізмом з утворенням фериту і перлиту, так і при розпаді за зсувним механізмом з утворенням мартенситу. Показано вплив тепла фазового перетворення на кінетику розпаду аустеніту у широкому інтервалі швидкостей охолодження.