

ОБРАЗОВАНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ СТРУКТУРЫ ЗЕРНИСТОЙ МОРФОЛОГИИ В НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ В УСЛОВИЯХ СТУПЕНЧАТО-ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО РАСПАДА АУСТЕНИТА

В.В. Свищенко, Д.П. Чепрасов, В.Н. Шабалин, Ю.А.Филатов
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

При изотермическом распаде аустенита стали 20Х2НАч, в верхнем интервале температур промежуточной области, на начальном этапе превращения образуется добейнитная α – фаза, названная собственным именем – мезоферрит, зерна которого имеют в основном полиэдрическую (равноосную) форму [1]. С течением времени изотермической выдержки образование мезоферрита прекращается, и продуктом продолжающегося распада переохлажденного аустенита становится структура игольчатой морфологии (верхний бейнит). Таким образом, в конечной структуре присутствует определенная доля как мезоферрита, так и верхнего бейнита. Чем выше температура превращения, тем больше мезоферрита и меньше верхнего бейнита присутствует в структуре. При значительном количестве мезоферрита окончательно сформировавшаяся структура имеет характерный зернистый вид, а при значительном количестве верхнего бейнита – игольчатый.

В условиях непрерывного охлаждения стали 20Х2НАч при начале распада аустенита в верхней части бейнитной области конечным продуктом будет структура зернистой морфологии [1, 2, 3], называемая в этих работах зернистым бейнитом. Кроме мезоферрита в структуре стали присутствует остаточный аустенит (6-10%), а также значительное количество механической смеси α – фазы и глобулярных карбидов, что и позволяет называть всю структуру зернистым бейнитом.

Как показано в работах [1, 2, 3], зернистые промежуточные структуры, получаемые как при непрерывном охлаждении, так и изотермически, на начальном этапе превращения формируются по одинаковому механизму – образование кристаллов добейнитной α – фазы и их быстрый рост за счет отвода углерода от фронта перекристаллизации в непревращенный аустенит. При непрерывном охлаждении интенсивность образования избыточной α – фазы на начальном этапе превращения настолько высока, что нераспавшийся аустенит по истечении короткого вре-

мени оказывается окруженным мезоферритом и приобретает вид островковых включений. На следующем этапе превращения часть заблокированного обогащенного углеродом аустенита распадается на механическую смесь α – фазы и глобулярных карбидов (зернистый бейнит), часть превращается в мартенсит, а часть из-за высокой концентрации углерода так и остается непревращенной. При изотермическом распаде аустенита скорость превращения уже на начальном этапе значительно ниже, что обусловлено меньшим числом центров перекристаллизации. Несмотря на быстрый рост образовавшихся кристаллов мезоферрита, общего количества добейнитной α – фазы оказывается недостаточно для окружения непревращенного аустенита, и его обогащение углеродом происходит в значительно меньшей степени. После относительно интенсивного бескарбидного этапа следует «вялый» карбидный, в процессе которого образование α – фазы чередуется с образованием карбидов. На этом этапе часть аустенита превращается в верхний бейнит. Оставшаяся часть аустенита при охлаждении превращается в бейнитные структуры и мартенсит. Наличие значительного количества мезоферрита обуславливает зернистый характер конечной структуры.

Исходя из изложенного следует, что при распаде аустенита в условиях непрерывного охлаждения мезоферрита образуется больше, чем при изотермическом распаде. Следовательно, если провести начальный этап распада аустенита в изотермических условиях, а завершить его в промежуточной области в условиях непрерывного охлаждения, то конечная структура будет иметь большее количество мезоферрита и соответственно более выраженный зернистый характер, чем при полностью изотермическом распаде.

В связи с этим предположением целью настоящей работы являлось исследование строения промежуточных структур, формирующихся в условиях ступенчато-изотермического распада аустенита.

Исследование проводили на образцах, вырезанных вдоль направления прокатки из полосы размером 7,5×100 мм стали 20Х2НАч (ТУ 14-3779-84) следующего химического состава: 0,23% С; 0,35 % Мn; 0,18 % Si; 1,42 % Cr; 0,99 % Ni; 0,01 % РЗМ.

Образцы для термической обработки имели прямоугольную форму размером 25×25×7,5 мм.

Режим нагрева всех образцов был одинаков – десятиминутная выдержка в печи, имеющей температуру 880°С. После нагрева образцы охлаждали по разным режимам, для чего они были разбиты на семь партий. Скорость охлаждения определяли методом постоянного измерения температуры образцов с помощью зачеканенных термопар.

У образцов первой и второй партий распад аустенита проходил в условиях непрерывного охлаждения при двух скоростях: $V_{\text{охл}} = 2,5^{\circ}\text{C}/\text{сек}$ для первой партии (охлаждение на спокойном воздухе) и $V_{\text{охл}} = 8,0^{\circ}\text{C}/\text{сек}$ для второй партии (охлаждение водовоздушной смесью).

У образцов с третьей по седьмую партию часть аустенита распадалась в условиях ступенчато-изотермической выдержки. После нагрева образцы переносили в свинцовую ванну. Время, затрачиваемое на перенос, не превышало одной секунды. Для выбора необходимой температуры и времени изотермической выдержки использовали диаграмму изотермического превращения переохлажденного аустенита стали 20Х2НАч [1].

Свинцовая ванна имела температуру 550 °С. Время изотермической выдержки образцов в свинцовой ванне и скорость их последующего охлаждения варьировались по следующим режимам: 3 партия - выдержка 10 с, охлаждение в воде ($V_{\text{охл}} = 265^{\circ}\text{C}/\text{с}$); 4 партия - выдержка 900 с, охлаждение на воздухе ($V_{\text{охл}} = 2^{\circ}\text{C}/\text{с}$); 5 партия - выдержка 20 с, охлаждение на воздухе; 6 партия - выдержка 20 с, охлаждение замедленное на кирпиче с исходной температурой 550°С ($V_{\text{охл}}=1^{\circ}\text{C}/\text{с}$); 7 партия - выдержка 20 с, охлаждение с печью ($V_{\text{охл}}=0,01^{\circ}\text{C}/\text{с}$).

Наличие остаточного аустенита определяли методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре «ДРОН-2,0» (порог чувствительности 3 – 5 %). Микроструктуру исследовали на металлографическом микроскопе «НЕОРНТ-32» и электронном микроскопе УЭМБ-100К.

Концентрация углерода в остаточном аустените определялась по методике [4] с использованием линии отражения от плоскостей (200).

Результаты исследования

Микроструктура образцов первой партии имела зернистую морфологию (рис. 1). В ней в качестве структурных составляющих присутствовали зерна мезоферрита, механическая смесь α – фазы и глобулярных карбидов, в виде отдельных светлых включений остаточный аустенит в количестве примерно 10 % и некоторое количество мартенсита. Содержание углерода в остаточном аустените составляет – 1,2 %. Такая структура описана в работах [2, 3] под названием зернистый бейнит.

Микроструктура образцов второй партии в основном состояла из участков верхнего бейнита и нижнего бейнита. Наличие остаточного аустенита не выявлено.

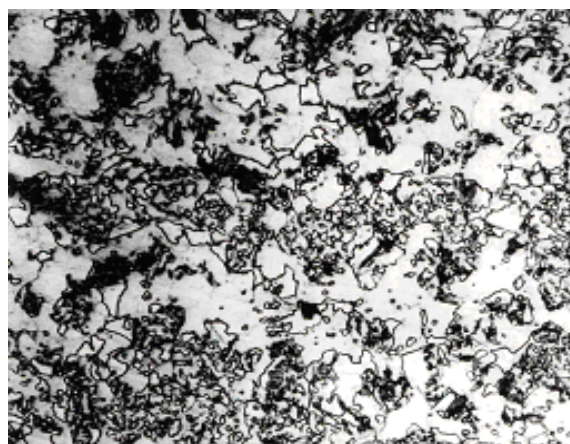


Рисунок 1 – Оптическая микрофотография исследуемой структуры × 800

В образцах 3 -7 партий наличие остаточного аустенита также не выявлено.

Образцы третьей партии имели микроструктуру, состоящую из мезоферрита и мартенсита (рис. 2, а).

Микроструктура образцов четвертой партии состоит из полиэдрических зерен мезоферрита и верхнего бейнита (рис. 2, б). Видны следы самоотпуска, что обусловлено достаточно длительной изотермической выдержкой.

Образцы пятой и шестой партий имели практически одинаковую микроструктуру. Она состоит из полиэдрических зерен мезоферрита и зернистого бейнита (механической смеси α – фазы и глобулярных карбидов). При седьмом режиме обработки сформировалась структура, которая состоит из α – фазы, в которой присутствуют как мелкие, так крупные карбиды (рис. 2 в).

ОБРАЗОВАНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ СТРУКТУРЫ ЗЕРНИСТОЙ МОРФОЛОГИИ
В НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ
В УСЛОВИЯХ СТУПЕНЧАТО-ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО РАСПАДА АУСТЕНИТА

Обсуждение результатов исследования

Формирование микроструктуры образцов первой партии (рис. 1) шло по механизму, описанному в работах [2, 3].

Существенное повышение концентрации углерода в остаточном аустените свидетельствует о том, что образование мезоферрита происходило «стремительно». Это обусловлено двумя факторами: 1) относительно высокой температурой начала превращения (580°C), способствующей быстрому перераспределению углерода от фронта перекристаллизации в непревращенный аустенит; 2) непрерывностью охлаждения, приводящая к образованию значительного числа новых центров перекристаллизации. Стремительно растущая таким образом α – фаза окружает непревращенный аустенит, придавая ему вид островковых включений. Возникающие при этом объемные изменения вызывают деформационное упрочнение обогащенных углеродом аустенитных включений, предел текучести которого сравнительно невелик. В результате в этом аустените появляется большое число дефектов кристаллического строения стимулирующих образование карбидов глобулярной формы. Формированию глобулярных карбидов способствует и неоднородность аустенита по концентрации углерода, которая неизбежна при повышенной скорости его перераспределения. После выделения глобулярных карбидов обедненный углеродом аустенит претерпевает γ – α превращение. Таким образом, значительная часть заблокированного обогащенного углеродом аустенита трансформируется в зернистый бейнит – механическую смесь, состоящую из α - фазы и глобулярных карбидов. При дальнейшем охлаждении часть аустенита превращается в мартенсит, а часть, из-за высокой концентрации углерода, остается непревращенной.

Микроструктура образцов второй партии формировалась следующим образом. В отличие от образцов первой партии, распад аустенита начинается при более низкой температуре (520°C). С понижением температуры уменьшились интенсивность превращения и способность углерода к перераспределению, в результате чего выделение структурно свободной α – фазы - мезоферрита не произошло. Превращение началось с образования верхнего бейнита – механической смеси α – фазы и пластинчатых карбидов и закончилось образованием нижнего бейнита.

При формировании микроструктуры образцов третьей партии (рис. 2, а) первоначаль-

но в процессе изотермической выдержки часть аустенита трансформировалась в мезоферрит, оставшаяся часть аустенита в процессе последующего охлаждения превратилась в мартенсит. Образование мезоферрита происходило путем возникновения центров α – фазы и отвода углерода от фронта перекристаллизации в непревращенный аустенит. Образование мезоферрита обусловлено достаточной диффузионной подвижностью углерода, в результате чего он не выделился в виде карбидов, а перераспределился между новой и старой фазой.

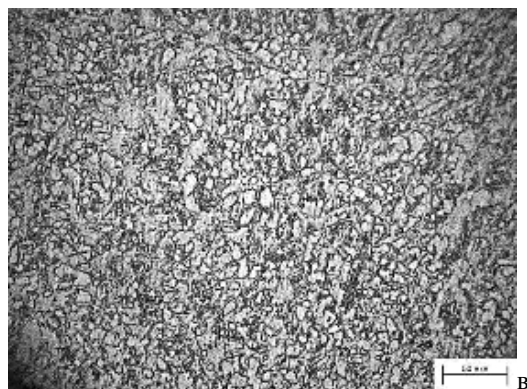
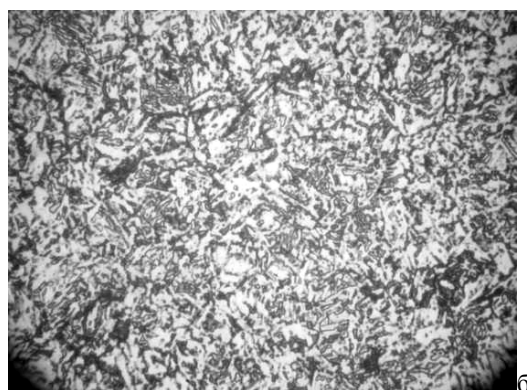
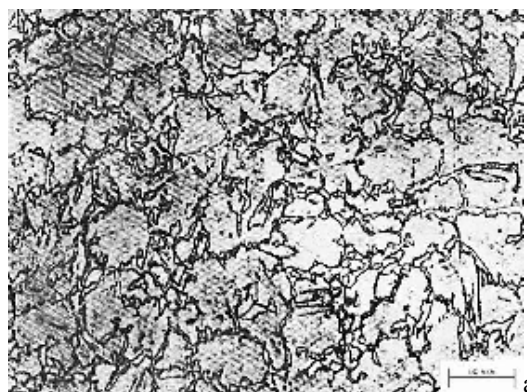


Рисунок 2 – а) Смесь мезоферрита и зернистого бейнита $\times 800$; б) Смесь зернистого и верхнего бейнита $\times 800$; в) Зернистый бейнит (Режим обработки 880 – 15 мин, $550-60^{\circ}\text{C}$)

Необходимая диффузионная подвижность углерода является следствием как еще относительно высокой температуры превращения, так и возникновения способствующих диффузии дефектов кристаллического строения аустенита от термического удара, возникшего при переносе образцов из нагревательной печи в свинцовую ванну.

Формирование образцов четвертой партии (рис. 2, б) началось с образования центров кристаллизации мезоферрита и их быстрого роста за счет отвода углерода в непревратившийся аустенит. Этот процесс примерно через сорок секунд с момента начала превращения завершился, поскольку в условиях изотермической выдержки и повышения концентрации углерода в непревращенном аустените образование новых центров кристаллизации мезоферрита (α – фазы, способной расти структурно свободно) прекращается. В процессе дальнейшей выдержки непревращенный аустенит медленно распадается на верхний бейнит – механическую смесь α – фазы и пластинчатых карбидов. Длительная изотермическая выдержка обусловила развитие процесса самоотпуска α – фазы, что привело к появлению мелкодисперсных глобулярных карбидов.

У образцов 5 -7 партии (рис. 2, в) превращение начиналось с выделения мезоферрита в процессе изотермической выдержки. У всех образцов изотермическая выдержка составляла 20 секунд, когда образование мезоферрита находилось еще в интенсивной стадии. На этой стадии изотермическая выдержка прерывалась непрерывным охлаждением с различной для каждой партии скоростью.

У всех образцов на начальном этапе стадии охлаждения образование мезоферрита продолжается до определенной температуры. Это связано как с возникновением новых центров его кристаллизации, поскольку все новые локальные участки γ – фазы достигают температуры B_n , так и с сохранением возникших при термическом ударе дефектов кристаллического строения аустенита, что

способствует отводу углерода от новой фазы в исходную. Когда образование мезоферрита прекращается, обогащенный углеродом, имеющий дефекты кристаллического строения аустенит распадается на механическую смесь α – фазы и глобулярных карбидов (зернистый бейнит).

Микроструктура образцов 5 и 6 партий практически одинакова (рис. 3, в). В микроструктуре образцов 7 партии заметна коагуляция карбидной фазы, процессы которой успели развиваться вследствие малой скорости охлаждения.

Вывод

Если вскоре после начала изотермического распада аустенита стали 20Х2Н4С в верхнем интервале промежуточной области, прервать изотермическую выдержку непрерывным охлаждением, то непревратившийся аустенит в широком диапазоне скоростей охлаждения распадется на зернистый бейнит.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свищенко В.В., Чепрасов Д.П., Антонюк О.В. Образование мезоферрита и зернистого бейнита в низкоуглеродистой низколегированной стали // *МиТОМ*, 2004. - № 8. - С. 7-11.
2. Свищенко В.В. Строение и механизм формирования зернистого бейнита // *Труды Алтайского Государственного Технического Университета им. И.И. Ползунова*. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1995. - С. 44-50.
3. Кремнёв Л.С., Свищенко В.В., Чепрасов Д.П. Строение и механизм формирования зернистого бейнита в стали 20Х2Н4С // *МиТОМ*, 1997. - № 9. - С. 6-9
4. Ланда В.А. Определение остаточного аустенита в сталях методом рентгеноструктурного анализа // *Заводская лаборатория*, 1956. – № 1. - С. 83-87.
5. Кремнев Л.С., Свищенко В.В., Чепрасов Д.П. Скоростной диапазон образования зернистого бейнита при распаде аустенита стали 20Х2Н4С // *МиТОМ*, 1998. – № 5. – С. 17-19.