**УДК 669.017:669.112.227.32**

**В.В.Парусов, Э.В.Парусов, О.В.Парусов, Л.В.Сагура, И.Н.Чуйко, А.И.Сивак**

# РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПЕРЛИТНОМ ПРЕВРАЩЕНИИ В СТАЛИ

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

Целью работы является экспериментальное подтверждение дислокационного механизма образования пластинчатого перлита. Эксперимент проведен на массивных и тонких образцах стали У8А. Массивные образцы обладают повышенной плотность дефектов кристаллического строения и структурой перлита с разорванной ферритной сеткой. Тонкие образцы имеют сравнительно низкую плотность несовершенств кристаллического строения и структуру перлита со сплошной цементитной сеткой. Показано, что в тонком образце меньшее количество углерода связано с дефектами и, следовательно, большее его количество находится в твердом растворе. Это способствует пересыщению аустенита углеродом и образованию сплошной цементитной сетки по границам его зерен.

**Ключевые слова: высокоуглеродистая сталь, дислокации, феррит, цементит, механизма образования пластинчатого перлита**

В работах [1, 2] разработан принципиально новый механизм перлитного превращения в сталях. На основании этих работ можно утверждать, что пластинчатая морфология цементита в перлите и его регулярное строение вызваны следующими особенностями предложенного механизма:

1. Термопластической деформацией переохлажденного аустенита, осуществляемой по плотноупакованным плоскостям, и образованием полигонизованной структуры с границами в виде плоских дислокационных стенок, перпендикулярных плоскостям легкого скольжения.

2. Регулярным расположением в аустените плоских дислокационных стенок.

3. Упругим взаимодействием дислокаций, составляющих плоские стенки, с атомами углерода и образованием вследствие этого плоских зародышей цементита.

Следовательно, предложенный нами механизм образования пластинчатого перлита по своей природе является дислокационным и устанавливает генетическую связь между субструктурой переохлажденного аустенита и морфологией перлита при температурах ниже $A_{r1}$.

Схема, иллюстрирующая предложенный нами механизм образования пластинчатого перлита, приведена в [1, 2], что заимствовано из работы [3].

Что касается процесса совместной кристаллизации цементита и феррита при перлитном превращении, то он происходит в соответствии с известным принципом ориентационного и размерного соответствия, установленным С.Т.Конобеевским и П.Д.Данковым.

Для дополнительного подтверждения дислокационного механизма образования пластинчатого перлита нами был проведен следующий эксперимент. От образца стали У8А (0,81 % С; 0,20 % Mn; 0,18 % Si) поперечным сечением 7х14 мм отрезали пластины толщиной ~ 7…8 и ~ 0,4…0,5 мм, последние затем утоняли до ~ 0,1…0,08 мм. В первом случае образец-пластину считали массивным, а во втором – тонким. Массивный и тонкий образцы запаивали в одну и ту же стеклянную ампулу и подвергали аустенитизации при 950 $^0$С в течение 30 мин. После аустенитизации образцы охлаждали до 670 $^0$С со средней скоростью 40 $^0$С/ч, а затем – с печью.

Анализ микроструктур обоих образцов показал принципиальное их различие (рис. 1 а, б). Так, массивный образец имел структуру перлита с разорванной ферритной сеткой, а тонкий – перлита со сплошной цементитной сеткой. Так как массивный и тонкий образцы стали У8А не различались по химическому составу и условиям охлаждения, то образование в них различных структур не может быть объяснено с точки зрения общепринятых представлений.

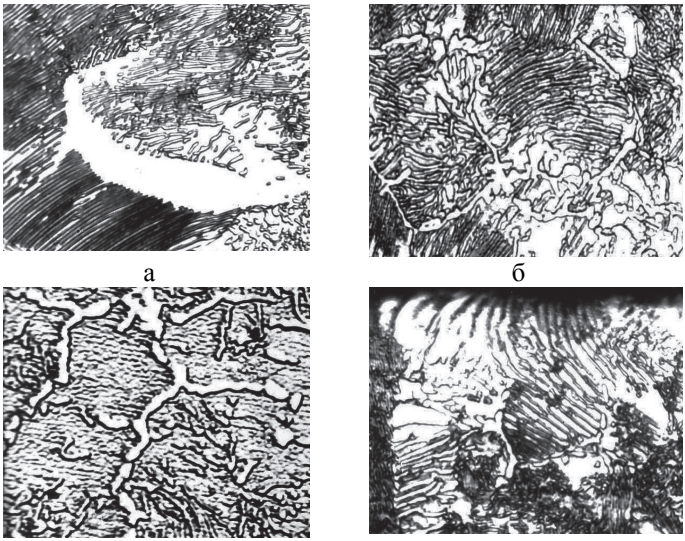


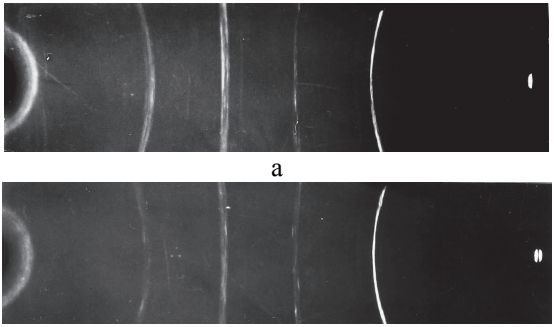

Рис. 1. Микроструктура (х800) стали У8А в массивном (а) и тонком (б-г) образцах: а, б – поперечный шлиф; в, г – продольный

При этом нет оснований считать, что в тонком образце структура стали приобретает специфические особенности по сравнению с массивным образцом из-за якобы возникающего пленочного эффекта. Так, величина действительного зерна в массивном и тонком образцах была практически одинакова и соответствовала номеру 7…8. Кроме того микроструктура на продольных и поперечных шлифах тонкого образца была идентичной (рис. 1, б, г).

Представляется логичным предположить следующий механизм зарождения структур перлита в массивном и тонком образцах стали У8А. Аустенит массивного и тонкого образцов претерпевает термопластическую деформацию как в процессе нагрева, так и охлаждения. В образцах обоих типов устойчивость возникающих при термопластической деформации дефектов различна, поскольку в тонких образцах облегчен их сток на поверхность. Такая точка зрения может быть подтверждена исследованиями С. С. Дьяченко [4], в экспериментах которой роль тонкого образца выполнял порошок, а массивного – компактная сталь.

В массивном образце, имеющем повышенную плотность дефектов кристаллического строения, большее количество углерода связано с этими дефектами, образуя сегрегации Коттрелла [5]. В тонком образце, имеющем сравнительно низкую плотность несовершенств кристаллического строения, меньшее количество углерода связано с дефектами и, следовательно, большее его количество (по сравнению с массивным образцом) находится в твердом растворе, способствуя пересыщению аустенита (по сравнению с массивным образцом) углеродом и образованию цементитной сетки по границам его зерен. И хотя по данным [6] количество углерода, связанного с дефектами кристаллического строения аустенита, весьма мало и не влияет сколько-нибудь существенно на состав аустенита, тем не менее наши эксперименты позволяют утверждать, что изменения в составах аустенита с повышенной и пониженной плотностью дефектов все же достаточны для проявления различий в структурообразовании при его превращениях (см. рис. 1).

Последующее перлитное превращение как в тонком, так и массивном образцах во многом подобно. Это следует из анализа как микроструктур (рис. 1), так и дебаеграмм (рис. 2). При этом необходимо отметить характерную особенность перлитной структуры, заключающуюся в том, что даже при весьма медленном охлаждении (40 $^0$С/ч) аустенита в районе температуры $A_{r1}$ решетка феррита в перлите оказывается искаженной (см. линию (220) на рис. 2). Это является следствием неполного соответствия параметров сопрягаемых по габитусным поверхностям решеток цементита и феррита, а также различий в их коэффициентах линейного расширения [7, 8].



а

б

Рис. 2. Дебаеграммы стали У8А, охлажденной в интервале температур 950…670 $^0$С со средней скоростью 40 $^0$С/ч и далее с печью: а – массивный образец, б – тонкий

Отсутствие существенного различия в структурообразовании перлита в массивном и тонком образцах вызвано тем, что с понижением температуры до $A_{r1}$ выход на поверхность вновь образующихся дефектов кристаллического строения затруднен, и в результате полигонизации в переохлажденном аустените возникают регулярные дислокационные построения в виде плоских стенок, определяющих места зарождения и морфологию цементита.

Вместе с тем в тонком образце после выделения цементитной сетки возможно протекание абнормального эвтектоидного превращения, вследствие которого цементитная сетка утолщается, а в объеме аустенитного зерна кристаллизуется феррит (рис. 1, в). Такие особенности структурообразования в массивном образце стали У8А не наблюдали. Таким образом, приведенные экспериментальные данные являются подтверждением разработанного ранее [1, 2] дислокационного механизма перлитного превращения в стали.

Необходимо также отметить, что при полигонизации аустенита, подвергнутого термопластической деформации тепловыми напряжениями, плоские дислокационные стенки могут быть не только перпендикулярны, но и параллельны плоскостям скольжения [9]. Следовательно, можно объяснить образование и веерных колоний перлита, кристаллизации которых предшествует зернограничные выделения цементита, деформирующего аустенит по рациональным и иррациональным плоскостям.

Механизм образования перлита с другими морфологическими особенностями, например, со стержневидным цементитом [10], в данной работе не рассматривался.

1. *Парусов В. В.* Разработка высокоэффективных процессов термической обработки мелкосортного проката и катанки и их промышленное освоение: дис. …доктора тех.наук / В. В. Парусов – Д., 1989. – 413 с.

2. *Губенко С. И.* Деформация металлических материалов / С. И. Губенко, В. В. Парусов. – Днепропетровск: Арт-пресс, 2006. – 316 с.

3. *Новиков И. И.* Дефекты кристаллического строения металлов /И. И. Новиков. – М.: Металлургия, 1983. – 231 с.

4. *Дьяченко С. С.* Образование аустенита в железоуглеродистых сплавах / С. С. Дьяченко. – М.: Металлургия, 1982. – 128 с.

5. *Бернштейн М. Л.* Термомеханическая обработка стали / М. Л. Бернштейн, В. А. Займовский, Л. М. Капуткина – М.: Металлургия, 1983. – 480 с.

6. *Капуткина Л. М.* Состояние мартенсита после высокотемпературной термомеханической обработки /Л. М. Капуткина, М. Л. Бернштейн, М. А. Штремель // ФХОМ. – 1974. – №1. – С. 71–78.

7. *Курдюмов Г. В.* Превращения в железе и стали / Г. В. Курдюмов, Л. М. Утевский, Р. И. Энтин. – М. : Наука, 1977. – 238 с.

8. *Ершов В. М.* Высокотемпературное рентгеновское исследование термического расширения решетки цементита / В. М. Ершов // ФММ. – 1981. – Т. 52. – Вып. 5. – С. 1005–1010.

9. *Бернштейн М. Л.* Структура деформированных металлов / М. Л. Бернштейн. – М.: Металлургия, 1977. – 432 с.

10. *Сухомлин Г. Д.* О стержневидном цементите в перлитных структурах / Г. Д. Сухомлин, Н. В. Цыба, А. А. Кривошеев // Металлофизика. – 1984. – Т.6. – №3. – С. 99–100.

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

***В.В.Парусов, Е.В.Парусов, О.В.Парусов, Л.В.Сагура, І.М.Чуйко, А.І.Сивак***

**Розвиток теоретичних уявлень щодо перлітного перетворення в сталі**

Метою роботи є експериментальне підтвердження дислокаційного механізму утворення пластинчастого перліту . Експеримент проведено на масивних та тонких зразках сталі У8А . Масивні зразки мають підвищену щільність дефектів кристалічної будови та структуру перліту з розірваною феритною сіткою. Тонкі зразки мають порівняно низьку щільність недосконалостей кристалічної будови та структуру перліту з суцільною цементитной сіткою. Показано , що в тонкому зразку меншу кількість вуглецю пов'язано з дефектами, отже, більша його кількість знаходиться в твердому розчині. Це сприяє пересиченню аустеніту вуглецем та утворенню суцільної цементитної сітки по межах його зерен.