

И. А. ВАКУЛЕНКО (ДИИТ)

СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ В ТЕЧЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНЫХ ВЫДЕРЖЕК ПРИ СУБКРИТИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Сфероїдизація та коалесценція цементиту вуглецевої сталі залежить від формування нових та переміщення існуючих меж розподілу.

Сфероидизация и коалесценция цементита углеродистой стали зависят от формирования новых и перемещения имеющихся границ раздела.

The spheroidization and coalescence of the carbon steel cementite depend on formation of new boundary surfaces and displacement of existing ones.

По сравнению с однофазными металлами и низкоуглеродистыми сталями, развитие процессов структурообразования в гетерофазных системах в значительной мере определяется присутствием частиц второй фазы. Стали, предназначенные для изготовления изделий холодным пластическим деформированием, должны обладать различным структурным состоянием, которое обеспечивало бы требуемый уровень пластических характеристик. Так, для высокоуглеродистых сталей с составом, близким к эвтектоидному, предназначенных для получения холоднотянутой высокопрочной проволоки, оптимальной структурой является мелкодисперсный перлит [1]. В противоположность этому, для низко- и среднеуглеродистых сталей, которые используются в качестве подката для холодной высадки, структура уже должна быть в виде глобулей цементита, определенным образом распределенных в ферритной матрице. В этом случае, для сталей в горячекатаном состоянии развитие процессов сфероидизации и коалесценции цементита приобретает особо важное значение [2].

С увеличением степени и скорости холодной или теплой пластической деформации процессы сфероидизации цементита ускоряются [3]. Обусловлено приведенное положение различными факторами. Во-первых, это дробление цементитных пластин, составляющих перлитную колонию. Во-вторых, прирост плотности дефектов кристаллического строения в ферритных участках, непосредственно соприкасающихся с цементитом. Как показано в [1, 2], начальные стадии развития сфероидизации связаны с формированием и последующим ростом утолщений на концах цементитных пластин. При дальнейшей сфероидизации возникшие

вытянутые, с различным соотношением между осями, частицы начинают приобретать форму, приближенную к сферической.

Целью работы явилась попытка оценить различные факторы, которые влияют на развитие сфероидизации и коалесценции цементита в углеродистых сталях.

Материалом для исследования служили углеродистые стали с содержанием углерода 0.23...0.6 % C. Процесс сфероидизации изучали за счет варьирования длительностью отжига при температурах вблизи субкритического значения (680 °C), с исходной структурой после гомогенизирующего отжига (сталь с 0.6 % C). Коалесценцию изучали на сталях после закалки, отпуска 450 °C, деформации 20...40 %, отжига 680 °C. Структуру исследовали под световым и электронным микроскопом с использованием методик количественной металлографии [4].

Анализ структуры сталей свидетельствует, что начальные этапы процесса сфероидизации пластин цементита наблюдаются уже после нескольких часов выдержки при субкритических температурах (рис. 1, а). Ранее практически ненаблюдаемые границы, отделяющие перлитные колонии друг от друга либо от зерен структурно-свободного феррита, становятся более заметными. После выдержек длительностью более 20...30 час появившиеся дополнительные границы раздела в ферритной составляющей перлитной колонии приводят, в местах соприкосновения с цементитной пластиной, к локальному ее утонению и, в конечном счете, к делению на отдельные части (рис. 1, б). Дальнейшее увеличение длительности выдержки в указанном температурном интервале сопровождается прогрессирующим развитием сфероид-

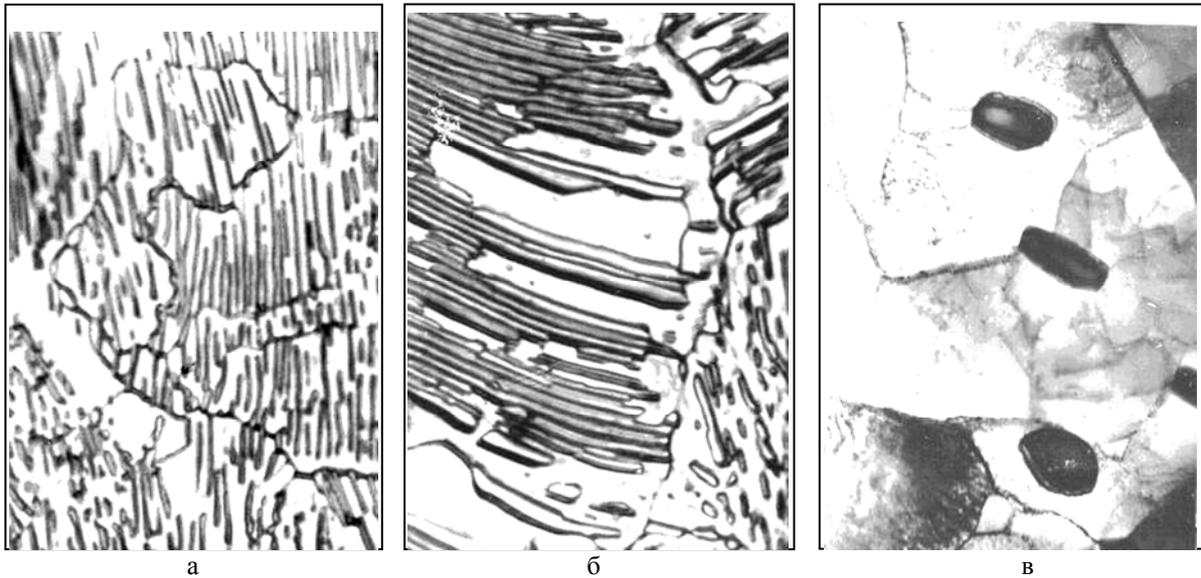


Рис. 1. Перлитная колония углеродистой стали после отжига при 680 °С в течение: а - 25 ч ; б - 50 ч; в - 100 ч. а, б - увеличение 2000; в – 14000.

дизации и коалесценции цементита. Учитывая определенную последовательность процессов сфероидизации и коалесценции, рассмотрим в отдельности факторы, оказывающие влияние на развитие указанных явлений. Как показано в [5], в процессе длительных выдержек при субкритических температурах (вблизи A_{c1}) подавляющее большинство пластин цементита, особенно участки вблизи концов, окружены скоплениями параллельных дислокаций. По мере увеличения длительности выдержек перераспределение указанных дислокаций приводит к формированию субграниц, которые соединяют частицы по форме приближающейся к глобулярной (рис. 1, в). Более того, в ферритных участках, представляющих ранее перлитную колонию, начинают формироваться границы раздела, в тройных стыках выделяются глобулы цементита (рис. 2). Как показано в [6], располагаемые мелкодисперсные выделения цементита в тройных стыках зерен феррита либо на границах, разделяющих зерна, находятся в более термодинамически выгодных позициях по сравнению с расположенными внутри зерна. Связано приведенное положение с особенностями процесса массопереноса атомов углерода при сфероидизации цементита. Так, при нагреве перлитной колонии до температур вблизи критического значения (A_{c1}) возрастает концентрация атомов углерода в феррите, непосредственно соприкасающимся с цементитом. Кроме этого, направленная диффузия углерода на границы и субграницы феррита, обусловленная снижением запасенной энергии границы [6], приводит к выделению карбидной фазы в

указанных местах структуры. Приведенный процесс уменьшения энергии системы, когда цементит выделяется на границах, а не внутри зерна, становится понятным, если учесть различия в удельных объемах атомов феррита и цементита. Так, в процессе растворения цементитной частицы, которая обладает менее плотной кристаллической решеткой [7], возникает определенное количество дефектов кристаллического строения, которые компенсируют возникающие напряжения от объемных несоответствий структурных составляющих. Более

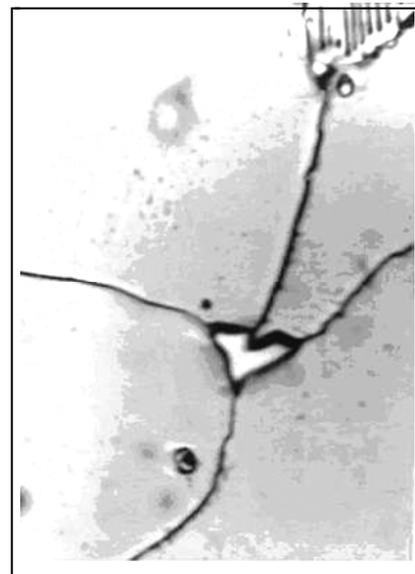


Рис. 2. Структура стали с 0.23 % С после отжига при температуре 680 °С в течение 30 ч, увеличение 2000

того, появившиеся дислокации перемещаясь формируют сетку, в углах которой располагаются частицы цементита. В процессе выдержки огрубление структуры приводит к возникновению большеугольных границ феррита, положение которых оказывает влияние на процессы коалесценции после завершения сфероидизации пластин цементита.

Таким образом, если развитие процесса сфероидизации пластинчатого цементита в отожженных углеродистых сталях, кроме возникновения определенной плотности дефектов кристаллического строения в феррите, обусловлено еще и формированием дополнительных границ раздела, на которых выделяются глобулы цементита, коалесценция же сопровождается несколько иными структурными изменениями. Как показано [8], анализ изменения диаметров частиц цементита, представляющих определенные размерные группы, в течение выдержки стали при температурах вблизи субкритического значения, позволяет представить процесс коалесценции как чередование этапов растворения и роста глобул в зависимости от места их расположения. Учитывая изменения соотношений между пограничной диффузией атомов углерода и диффузионным массопереносом внутри зерен феррита (в процессе выдержки стали при температурах вблизи A_{c1}), на первый взгляд хаотический характер смены этапов растворения глобул внутри зерна и

роста их за счет располагаемых на границах в действительности имеет определенный циклический вид [9]. На основании микроструктурных исследований установленный циклический характер смены этапов растворения и роста карбидных частиц обусловлен перемещениями и формированиями дополнительных границ раздела в ферритной матрице.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабич В. К. Деформационное старение стали / В. К. Бабич, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков . – М.: Металлургия, 1972. – 320 с.
2. Пирогов В. А. и др. // Термическая обработка металлов, 1979, № 8. – С. 60-61.
3. Гриднев В. Н. Прочность и пластичность холоднодеформированной стали / В. Н. Гриднев, В. Г. Гаврилюк, Ю. Я. Мешков. – К.: Наук. думка, 1974 – 231 с.
4. Панченко Е. В. и др. Лаборатория металлографии. – М.: Металлургия, 1965 – 439 с.
5. Марцинив Б. Ф. и др. // Тезисы докладов. Конференция по электронной микроскопии. – М.: Наука, 1982. – С. 352.
6. Smith C. S. // Trans. ASME, 1948, v. 175. –P. 15.
7. Stuart H. et al. // JISI, 1966, v 204. – P.711.
8. Вакуленко И. А. и др. // Известия ВУЗов. Черная металлургия, 1990, № 11. – С. 66-67
9. Вакуленко И. А. // Известия АН СССР. Металлы. 1991, № 3. – С.73.

Поступила в редколлегию 22.01.2008.