

Л.С.Ляхович, Р.Н.Худокормова, В.М.Королев

Известны случаи, когда в стали, особенно при цементации, вместо обычной структуры пластинчатого перлита феррит и цементит присутствуют в виде отдельных изолированных друг от друга выделений. Такую структуру называют "анормальная". Анормальная структура может получаться и в малоуглеродистых сталях при очень медленном охлаждении от температур выше фазовых превращений [1].

Причина появления анормальной структуры в настоящее время окончательно не установлена. По этому вопросу высказываются различные мнения. Предполагают, в частности, что обособление фазовых составляющих перлита в высокоуглеродистых сталях вызывается кислородом, азотом, алюминием [2,3]. В малоуглеродистых сталях анормальные структуры образуются в результате кристаллизации значительного количества Fe₃(C) при эвтектоидном распаде аустенита на доэвтектоидном феррите [1,3]. В любом случае анормальные структуры возникают только при крайне малых скоростях охлаждения. Вероятно, в условиях очень малых степеней переохлаждения относительно равновесных температур скорость образования эвтектоидных колоний может быть меньше скорости образования самостоятельных фаз [3].

Уточнение влияния примесей на характер формирования структуры стали осуществлялось в настоящей работе путем исследования чистых Fe-C сплавов, выплавленных в различных средах и микролегированных алюминием, бором, церием.

Методика изготовления этих сплавов заключалась в прессовании брикетов из смеси порошков карбонильного железа ВЗ и реакторного графита высокой чистоты. Карбонильное железо содержало 0,018% примесей, из которых на долю никеля приходилось 0,010%. Спрессованные брикеты спекались в глубоком вакууме при 980°C. После спекания образцы плавилась в алундовых тиглях, помещенных в кварцевые ампулы. В процессе плавки, микролегирования и кристаллизации в кварцевых ампулах создавалась заданная среда (воздух, аргон, азот). Аргон и азот поступали в ампулы непрерывно. Удаление подаваемого газа осуществлялось через кварцевую трубку, которая одновременно служила для введения микродобавок. Кристаллизация сплавов осущест-

вляясь охлаждением ампул на воздухе. Все исследуемые слитки проходили отжиг в среде аргона при 930°C в течение одного часа с последующим охлаждением вместе с печью.

В первой серии опытов изучались сплавы с различным содержанием углерода, выплавленные в средах аргона, азота и воздуха. При этом процесс микролегирования не применялся. Вторая серия опытов была посвящена исследованию микроструктуры сплавов с 0,95% введенного углерода, выполненных в указанных газовых средах и микролегированных алюминием, бором и церием.

Микроструктурный анализ исследуемых слитков, содержащих различное количество углерода, показал, что их структуры значительно отличаются от нормальных структур, наблюдаемых обычно в отливках технической чистоты.

Если в низкоуглеродистых технических сплавах, как отмечалось выше, возникает аномальные структуры, то их появление связано с весьма малой скоростью охлаждения от температур начала фазовых превращений. В синтетическом сплаве с расчетным количеством углерода, равным 0,2%, выплавленном в любой из указанных сред, отдельные крупные скопления цементита на фоне феррита (перлит отсутствует) образуются и при скорости охлаждения, характерной для процесса нормализации. Причем это явление наблюдается как после отжига, так и после кристаллизации сплава. Расширение диапазона скоростей охлаждения, при которых возникает аномальные структуры в исследуемых сплавах, по сравнению с техническими сплавами, можно объяснить их высокой степенью чистоты. В сплаве, освобожденном от большинства примесей, скорость миграции углерода, вероятно, существенно возрастает. Это сокращает еще в большей степени время формирования самостоятельных фаз в процессе $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения.

Резкое отклонение от нормальных структур, свойственных обычным сталям, наблюдалось при исследовании заэвтектоидных сплавов, изготовленных из чистых материалов. Охлаждение с печью после диффузионного отжига 930°C для всех вариантов плавки приводило к появлению структурно свободного феррита в сплавах, начиная с 1,1% введенного углерода и выше. Наличие в структуре высокоуглеродистых чистых сплавов феррита можно также объяснить повышенной по сравнению с техническими сплавами скоростью диффузии углерода. Однако аномальная структура наблюдалась только в тех сплавах, в которых при диффузион-

ном отжиге C_{II} не полностью растворялся в аустените и оставался в нем в виде отдельных включений. В этом случае цементит вторичный выполнял функцию подложки для кристаллизации в процессе охлаждения вторичного и эвтектоидного цементита. Чем больше нерастворенного цементита содержал сплав, тем активнее протекала его ферритизация. Например, при температуре отжига 930°C значительная степень ферритизации наблюдалась в сплаве с 1,4% углерода и полная - при 1,8% углерода. При отжиге 1000°C в сплавах 1,4-1,5% углерода C_{II} располагался сеткой по границам зерен, что приводило к образованию нормальной структуры и только в сплавах с более высоким содержанием углерода возникала аномальная структура. Однако полной ферритизации даже в сплаве с 1,8% углерода не было получено. Эти исследования подтверждают мнение авторов [3-4] о роли избыточных карбидов в развитии аномальной структуры.

В чистых Fe-C сплавах, выплавленных в средах аргона, азота и воздуха, процесс образования аномальных структур резко активизируется вследствие увеличения, по нашему мнению, скорости диффузии углерода. Микролегированные алюминием, бором и церием синтетические сплавы с количеством введенного углерода 0,95% также исследовались после одночасового отжига при 930°C . Присадки вводились в сплавы в следующем количестве: алюминия от 0,05 до 0,40%; бора от 0,002 до 0,5% и церия 0,05-0,40%. Плавка слитков, микролегирование и кристаллизация осуществлялись в заданных средах (аргон, азот, воздух).

В результате металлографического исследования установлено следующее.

Микроструктура исходных сплавов состояла из перлита и феррита.

Присадки алюминия, бора, церия в сплавы, получаемые плавкой в среде аргона, не вызывали существенных отклонений от структуры исходных не микролегированных сплавов. Совершенно иная картина наблюдалась при добавках перечисленных элементов в сплавы, выплавленные в средах азота и воздуха.

В случае выплавки сплавов в азоте при добавках: алюминия в количестве 0,05%; бора - 0,002%, особенно 0,01%; церия - 0,10% и особенно 0,20%, происходит резкое укрупнение пластин эвтектоидного цементита и образование отдельных его крупных выделений; содержание структурно свободного феррита существенно увеличивается.

В случае выплавки на воздухе аналогичная картина наблюдается

при добавках: алюминия 0,05% и особенно 0,10%; бора - 0,01% и церия 0,05 - 0,10%. Степень влияния изучаемых присадок на формирование аномальных структур неодинакова. Наиболее сильное влияние оказывают присадки бора. Менее активен в этом отношении алюминий.

Увеличение веса присадок при выплавке в азоте алюминия свыше 0,05%, бора - 0,01% и церия свыше 0,20% - приводило к исчезновению аномальных структур. Аналогичное явление при плавке на воздухе отмечалось при добавках алюминия свыше 0,20%; бора - 0,15% и церия - 0,20%. В этом случае структура всех сплавов была нормальной, более мелкозернистой, чем исходные сплавы, и представляла собой феррит и перлит.

В ы в о д ы

Только при относительно небольших количествах исследуемые микролегирующие элементы способны вызывать появление аномальных структур. Кроме того, действие присадок проявляется при условии плавки в среде азота и на воздухе. Плавка, микролегирование и кристаллизация в аргоне не приводят к возникновению аномальных структур.

Особенности условий образования последних позволяет предполагать, что исследованные присадки создают в структуре сплавов центры кристаллизации цементита, обладающие высокой активностью. По-видимому, такими центрами являются нитриды алюминия, бора и церия, расположенные в объеме зерен. В результате высокой скорости диффузии углерода при охлаждении выделения цементита достигают значительной величины. Повышение количества примесных атомов в сплавах приводит к выделению указанных фаз по границам зерен, что вызывает распад аустенита по нормальной схеме с образованием пластинчатого перлита. В результате снижения скорости диффузии углерода, по причине загрязненности сплавов примесными атомами, и барьерный эффект обеспечивает формирование относительно мелкозернистой нормальной структуры сплавов.

Л и т е р а т у р а

1. Э. Г у д р е м о н . Специальные стали. Т. I. Металлургиздат. М., 1959.

2. Д. М. К э м п , К. Б. Ф р е н с и с . Производство и обработка стали. Metallurgizdat, М., 1947.

3. А. А. П о п о в . Фазовые превращения в металлических сплавах. Metallurgizdat, М., 1963.

4. А. Н. М и н к е в и ч . Химико-термическая обработка стали. Метгиз, 1950.