

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПРИ НАПЛАВКЕ ДВУХФАЗНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Ю.П. Аганаев (г. Улан-Удэ, Россия)

Такие детали, как бандажы вагонных колес, опорные катки тракторов, колеса вагонеток работают в условиях высоких контактных напряжений в паре металл-металл. В процессе работы этих деталей наблюдается смятие и усталостное выкрашивание поверхностного слоя.

При выборе материала для наплавки указанных деталей нецелесообразно использовать высокоуглеродистые стали. Принято считать, что повышение твердости повышает износ контртела, кроме того увеличивается склонность наплавленного металла к образованию холодных трещин, а высокие остаточные напряжения, возникающие при мартенситном превращении, могут привести к сколам наплавленного металла.

По данным Разикова М.И., высокая износостойкость достигается при наплавке метастабильной аустенитной стали 25X10Г10Т, однако указанная сталь относится к труднообрабатываемым.

В связи с изложенным, представляет интерес использование для восстановления деталей наплавочных материалов с двухфазной аустенитно-мартенситной структурой, в которой направленные кристаллы с мартенситной структурой воспринимают нагрузку, а

аустенитная матрица выполняет демпфирующую роль.

В качестве модельного сплава выбрали сталь 20X13, которая относится к сталям мартенситного класса. По данным [1] для данного сплава температура ликвидус равна  $T_1=1512$  °С, температура солидус  $T_2=1449$  °С,  $C_b=0,16$  %С,  $C_p=0,22$  %С,  $C_d=0,51$  %С (рисунок 1).

Кристаллизация сплава состава  $C_0$  (с содержанием углерода 0,2%) в условиях близких к равновесному начинается при температуре соответствующей точке 1 и заканчивается в точке 2. На момент окончания затвердевания в равновесии находятся фазы;  $\delta$  – с концентрацией растворенного компонента  $C_b$ ,  $\gamma$  – состава  $C_p$ , и жидкая фаза L состава  $C_d$ . Согласно правилу рычага, отношение количества жидкой фазы ( $n_l$ ) к количеству  $\delta$ -фазы ( $n_\delta$ ) пропорционально отношению отрезков В-2 к 2-D. В процессе перитектической реакции, проходящей при температуре  $T_2$ , жидкость и  $\delta$ -фаза взаимодействуют образуя аустенит состава  $C_p$ . Для сплава состава  $C_0$ , отношение количества образовавшейся  $\gamma$  – фазы к количеству  $\delta$  – фазы отвечает отношению отрезков В-2 к 2-С, то есть в процессе

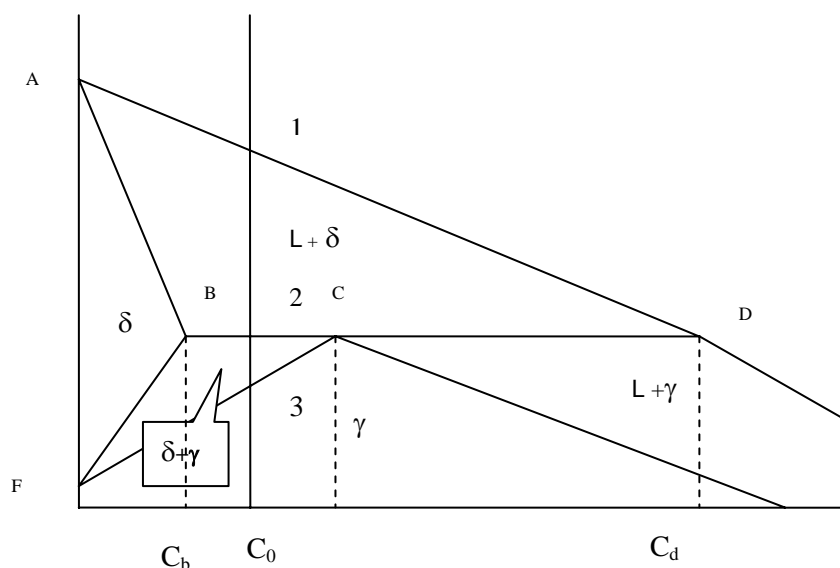


Рисунок 1 – Разрез тройной диаграммы состояния Fe-C-Cr при 13% Cr

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПРИ НАПЛАВКЕ ДВУХФАЗНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

превращения относительная доля  $\delta$ -фазы в сплаве уменьшается. При охлаждении сплава ниже точки 3 сплав представляет собой гомогенную  $\gamma$ -фазу.

В условиях, отличающихся от равновесных, перитектическое превращение проходит в интервале температур. В работе [2], это связывают с неполным протеканием диффузии растворенного компонента в твердой фазе. Для углеродистых сталей отмечена большая полнота протекания перитектической реакции в неравновесных условиях, связанная с высокой диффузионной подвижностью углерода. В нашем случае в системе имеется хром, диффузионная подвижность атомов которого значительно уступает углероду. В тройных железохромоуглеродистых сплавах коэффициент ликвации хрома зависит от содержания углерода. При увеличении концентрации углерода от 0,1 до 1,3 % в железоуглеродистых сталях, коэффициент ликвации хрома меняется пропорционально от 1,2 до 3,9 [3]. Таким образом, можно предположить, что в процессе перитектического превращения и последующего охлаждения в стали 20X13 произойдет выравнивание состава фаз по углероду и сохранится неравномерность распределения по хрому.

Наплавку производили на сталь 20Л сплошной проволокой 20X13 диаметром 2мм, в один слой, под флюсом АН-348, при сварочном токе 140 А. Структура наплавленного металла при увеличении 500 раз представлена на рисунке 2. Наплавленный металл имеет двухфазную структуру, одна из которых это направленно выросшие дендриты, претерпевшие мартенситное превращение (на рисунке 2 это участки структуры темного цвета) и светлые не травящиеся участки, видимо не претерпевшие превращений в твердом состоянии.

Доля междендритной жидкой фазы для стали с содержанием углерода 0,2 % на момент окончания затвердевания, рассчитанная согласно правила рычага, должна составить около 12 %. В наплавленном металле доля второй фазы, определенная методом секущих по микроструктуре, значительно выше и составляет 20-25 %. Для выяснения механизма изменения соотношения фаз проведена реконструкция процесса направленного затвердевания (рисунок 3).



Рисунок 2 – Микроструктура наплавленного металла 20X13

При направленном затвердевании в жидкой фазе существует градиент температур. Температура вершины растущего кристаллита соответствует температуре ликвидус ( $T_L$ ). Габитус кристаллов отвечает соотношению фаз при изменении температур в интервале ликвидус-солидус ( $T_S$ ). Соответственно доля твердой фазы должна меняться от 0 при ( $T_L$ ) до 1 при ( $T_S$ ). При кристаллизации в неравновесных условиях, из-за ограниченной диффузии растворенных компонентов в твердую фазу, имеет место накопление растворенного компонента в жидкой фазе. Концентрация растворенных компонентов на момент окончания затвердевания может достигать эвтектической концентрации. Накопление растворенных компонентов в жидкой фазе снижает температуру солидус [3]. Тогда на линии изотермы соответствующей температуре равновесного солидуса, совпадающего с началом перитектического превращения, наряду с твердой фазой должна существовать жидкая фаза. Соотношение твердой и жидкой фаз при этом отвечает отношению отрезков 2D к 2B. Окончательное затвердевание сплава происходит при температуре неравновесного солидуса, совпадающего с температурой окончания перитектического превращения. Если принять, что перитектическое превращение проходит в интервале температур между равновесным и неравновесным солидусом, то выделение скрытой теплоты перитектического превращения будет происходить в объеме ограниченном изотермами  $T_{S1}$  и  $T_{S2}$ . В таком случае, удельное количество тепла, выделяющегося на границе раздела фаз, будет достаточным для плавления твердой фазы и изменения соотношения формирующихся фаз.

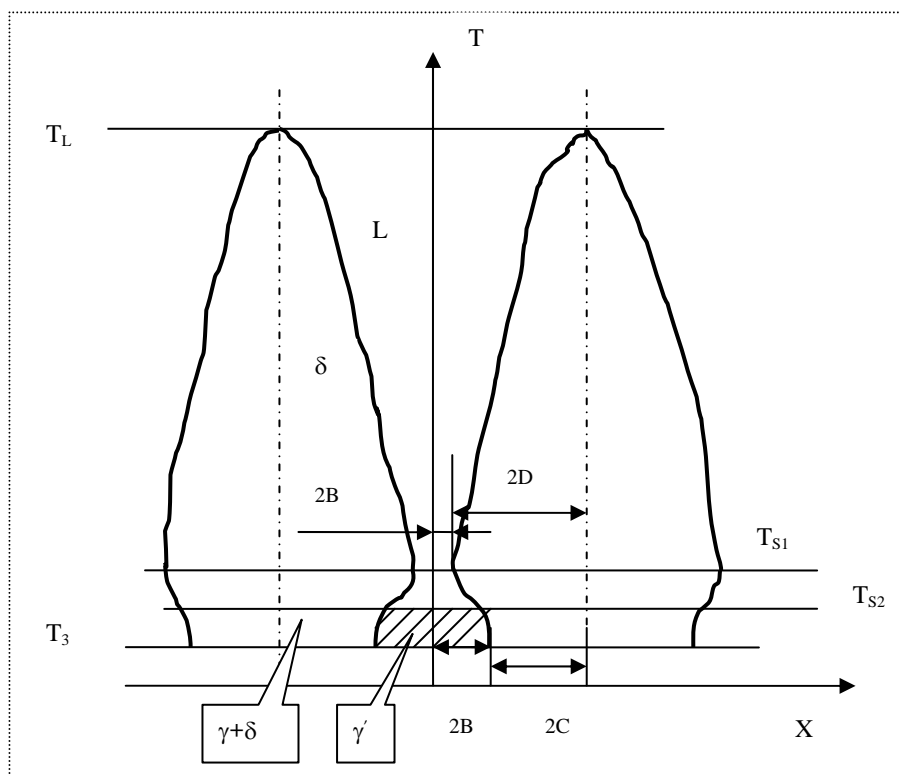


Рисунок 3 – Схема формирования двухфазной структуры при неравновесной перитектической реакции

На рисунке 3 показано соответствующее увеличение доли жидкой фазы в указанном интервале температур. При этом формируются две фазы ( $\gamma$  и  $\delta$ ), которые отличаются содержанием хрома. Фаза с меньшим содержанием хрома ( $\delta$ ), судя по микрофотографии наплавленного металла, претерпевает мартенситное превращение. Вторая фаза образуется непосредственно из жидкой фазы в микрообъемах, где выделяется скрытая теплота перитектического превращения и повышено содержание растворенного компонента. В условиях относительно низкого градиента температур в микрообъемах сплавов видимо возможна их кристаллизация по механизму концентрационного переохлаждения с образованием стабильного аустенита. Отметим, что вопросы идентификации фаз требуют дальнейших исследований.

Выводы:

1. При наплавке, мартенситной стали 20X13, образуется структура двухфазного композиционного материала, представляю-

щего собой направленно выросшие дендриты с аустенитной прослойкой.

2. Формирование аустенитно-мартенситной структуры возможно обусловлено ликвацией хрома в процессе кристаллизации и образованием в следствии этого стабильной и нестабильной аустенитных фаз.

3. Одним из вариантов увеличения количества стабильного аустенита в структуре наплавленного металла, по сравнению с расчетным, является увеличение доли жидкой фазы в результате плавления высокотемпературного феррита, при выделении скрытой теплоты перитектического превращения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kundrat D.M., Chochol M., Elliott J.F. // "Met. Trans.", 1984. – В.15. – №1-4. – Р. 663-676.
2. Флемингс М. Процессы затвердевания. – М., Мир, 1977.
3. Голиков И.Н., Масленков С.Б. Дендритная ликвация в сталях и сплавах. – М.: Металлургия, 1977.