

**ВЛИЯНИЕ ПРИСАДОК И УСЛОВИЙ ЗАКАЛКИ НА  
МИКРОСТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЛИТЫХ  
ЖЕЛЕЗОКОБАЛЬТВОЛЬФРАМОВЫХ СПЛАВОВ**

А. Д. КЛЕМЕНТЬЕВ

(Представлена научным семинаром кафедр металловедения, оборудования и технологии термической обработки металлов; технологии металлов; оборудования и технологии сварочного производства)

Использование присадок позволяет существенно улучшить свойства литых железокобальтвольфрамовых сплавов, закаливающихся в процессе отливки [1]. Для расширения технологических возможностей исследуемых сплавов представляет интерес изучение влияния на них закалки, производимой после литья [2]. Существенное влияние такой закалки было показано на тройных сплавах без присадок [2]. Настоящее исследование посвящено изучению закалки сплавов с присадками.

Микроструктура железокобальтвольфрамовых сплавов с присадками или без них в состоянии отливки сохраняет особенности первичной дендритной кристаллизации [2, 3].

Сплавы с присадками, получающие дополнительную закалку от 1300°С, отличаются большим разнообразием структур. В одних случаях они аналогичны получаемым в сплавах без присадок [2, 3], в других — приобретают полиэдрический характер (зерна в виде неправильных многоугольников) (рис. 1, а). Избыточная фаза (при ее наличии) располагается в виде сплошных пограничных или точечных выделений. Картина затусевывается при частичном распаде твердого раствора.

Влияние на микроструктуру присадок и скорости охлаждения состоит в следующем. Как показал анализ экспериментального материала, элементы, расширяющие область существования  $\alpha$ -фазы (Mo, Cr, V, Ti и др.) [3], способствуют появлению полиэдрической структуры. Возникновение преждевременного распада твердого раствора (уменьшение закаливаемости сплава) связано с этими же элементами.

Показательны сплавы с присадками молибдена, стабилизирующего  $\alpha$ -фазу и, следовательно, способствующего образованию полиэдрической структуры и снижению закаливаемости сплава. Если исходный сплав 8 обладает устойчивостью к образованию полиэдрической структуры при закалке в воде и масле [2], то замена в этом сплаве 10% вольфрама на молибден (спл. 18) при сохранении характера исходной структуры после закалки в воде и масле дает смешанную структуру, содержащую наряду с полиэдрами остатки первичной структуры (рис. 1, б). Исходная фаза при этом остается светлой, а полиэдры оказываются легче травимыми, что указывает на начальную фазу распада твердого раствора.

Полиэдрическая фаза оказывается более твердой по сравнению с остаточной дендритной. Причем закалка в воде по сравнению с за-



калкой в масле дает несколько меньшую твердость соответствующих фаз вследствие лучшей общей фиксации твердого раствора. После отпуска, как это и следует ожидать, возникает обратное соотношение твердости фаз. Сплавы и их фазы с лучшей закаленностью получают более высокое дисперсионное упрочнение. В сплаве, закаленном в воде, остаточная фаза имеет большую твердость по сравнению с полиэдрами и по сравнению с остаточной фазой сплава, закаленного в масле.

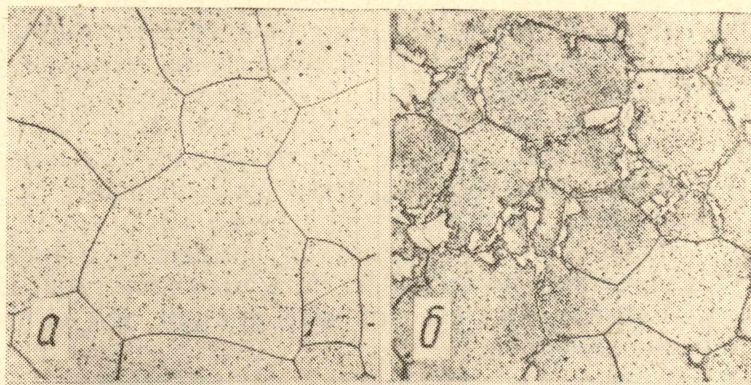


Рис. 1. Микроструктура сплавов, закалка в масле,  $\times 86$ :  
 а — спл. 21 (20% Co, 20% W, 35,5% V);  
 б — спл. 18 (20% Co, 10% W, 10% Mo).

Наименьшая твердость оказывается у полиэдрической фазы сплава, закаленного в масле. Наблюдаемая закономерность имеет общий характер.

Таким образом, после закалки в сплавах с полиэдрической структурой достигается меньшая степень фиксации твердого раствора по сравнению со сплавами, сохраняющими исходную структуру.

В сплавах с полной заменой вольфрама молибденом (спл. 17) исходная структура замаскирована распадом твердого раствора, но выявление границ зерен обнаруживает подобие полиэдричности. Закалка в масле дает хорошо выраженную полиэдрическую структуру.

Аналогично молибдену, но более резко выражено влияние ванадия. Добавка в исходный сплав (спл. 8) около 1% V (спл. 23) дает результат, качественно совпадающий с картиной превращений в сплаве 18 (20% Co, 10% W, 10% Mo). Присадка ванадия около 4% (спл. 21) дает результаты (рис. 1, а), сходные с наблюдаемыми в сплаве 17 (20% Co, 20% Mo).

В направлении, противоположном рассмотренному, действуют элементы, повышающие устойчивость  $\gamma$ -фазы (Co, Mn, особенно Ni) [3], которые тормозят или полностью предотвращают появление полиэдрической структуры. Тормозят перестройку структуры также избыточные, особенно пограничные фазы, если они не растворяются при температурах закалки. В сплавах с резкой неоднородностью исходной структуры, например, при наличии скоплений точечных выделений избыточной фазы в ветвистых участках дендритов [3], закалка приводит к получению смешанной структуры (полиэдров и исходной формы фазы). После выравнивающего отжига закалка фиксирует целиком полиэдрическую структуру.

Процесс формирования структуры закаливаемых сплавов может быть представлен в следующем виде. При нагреве сплава вследствие  $\alpha$ - $\gamma$ -превращения, вызывающего фазовый наклеп, создаются условия для рекристаллизации аустенита [4]. Действием присадок температура полиморфного превращения может быть смешена, что должно отра-



зиться на степени фазового наклепа, условиях протекания рекристаллизационных явлений и роста зерен.

В области более низких температур, когда диффузионные процессы относительно слабо развиты, имеется большое количество крупных сфероидизированных частиц избыточной фазы, препятствующих росту зерен. Еще в окружении таких частиц прекращается действие наклепа, стимулирующего рекристаллизацию. Закалка фиксирует более или менее мелкозернистую структуру. Когда же полиморфное превращение происходит в области высоких температур, сильно возрастает диффузионная подвижность атомов, частицы избыточной фазы, растворяясь, быстро уменьшаются по мере повышения температуры, утрачивают свое влияние на рост зерен. В этих условиях при достаточно однородной матрице сплава под влиянием фазового наклепа происходит процесс рекристаллизации, формирующий полиэдрическую структуру. Размеры полиэдров зависят от конечной температуры и выдержки при нагреве, но и от степени фазового наклепа. Очевидно, наклеп будет меньше при более высокой температуре полиморфного превращения вследствие повышения пластических свойств сплава, приближаясь к условиям критической деформации, тем самым способствуя укрупнению полиэдров.

Присадки, повышающие температуру полиморфного превращения, в то же время способствуют преждевременному распаду твердого раствора, чем и объясняется появление в ряде случаев одновременно с полиэдричностью в исходной структуре сплава также продуктов распада твердого раствора. Смешанные структуры, содержащие наряду с полиэдрами участки неперестроенной фазы (рис. 1, б), образуются при промежуточных условиях по сравнению с вышерассмотренными. Наличие в полиэдрических участках признаков распада твердого раствора отражает протекающие в них упругопластические процессы, в то время как неперестроенные участки испытывали только внешнее воздействие в сплаве. Изменение скорости охлаждения отражается на тех и других участках структуры принципиально одинаково (с повышением скорости охлаждения происходит лучшая фиксация твердого раствора), однако разница в степени пересыщения твердого раствора рассматриваемых участков по указанной причине не одинакова.

Затруднения в образовании полиэдрической структуры в сплавах с резкой неоднородностью структуры, особенно при наличии избыточной фазы, объясняются механическими препятствиями перестройке структуры. Отсюда вытекает стимулирующее влияние на появление полиэдрической структуры горячей обработки давлением или какой-либо термической обработки, способствующей повышению однородности и гомогенизации сплава.

В наших исследованиях обычно полиэдрическая структура отличалась крупнозернистостью и обуславливала невысокие механические свойства сплавов. Сплавы, получавшие за счет присадок в исходном состоянии значительную прочность на изгиб, после закалки имели повышенный уровень дисперсионного упрочнения вследствие лучшей фиксации пересыщенного твердого раствора, но значительно снижали прочность и стойкость при резании, теряя свои преимущества.

Сплавы, предназначенные для инструмента, подвергаемого дополнительной закалке после литья, не должны содержать элементов, расширяющих область существования  $\alpha$ -фазы в количествах, способных сдвинуть полиморфное превращение в область слишком высоких температур или эта тенденция должна быть подавлена с помощью элементов, повышающих устойчивость  $\gamma$ -фазы.



## Выводы

1. Исследуемые сплавы после закалки с различными скоростями охлаждения обладают большим разнообразием структур.

В работе установлена и получает объяснение зависимость характера микроструктуры от химического состава и скорости охлаждения сплавов.

2. Сплавы с присадками, закаливающиеся в процессе литья и приобретающие высокие механические и режущие свойства, после применения дополнительной закалки (обычно имеют полиэдрическую структуру) утрачивают свои преимущества.

3. Намечены принципы легирования сплавов, закаливающихся после литья.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А. Д. Клементьев. Исследование литых дисперсионно-твердеющих режущих сплавов. Известия вузов МВО СССР. Черная металлургия, изд. Сибирского металлургического института, № 3, 1959.

2. А. Д. Клементьев. Влияние условий закалки на микроструктуру и свойства литых железокобальтвольфрамовых сплавов (см. настоящий сборник).

3. А. Д. Клементьев. Микроструктура и свойства железокобальтвольфрамовых сплавов, закаливающихся в процессе литья (см. настоящий сборник).

4. В. Д. Садовский, К. А. Малышев, Б. Г. Сазонов. К вопросу о способах измельчения зерна легированной литой стали термической обработкой. Тр. ИФМ, вып. 17, Уральск. ФАН СССР, изд. АН СССР, М., 1956.

---