

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИТЫХ ДИСПЕРСИОННО- ТВЕРДЕЮЩИХ СПЛАВОВ

А. Д. КЛЕМЕНТЬЕВ

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

В исследованиях литых дисперсионно-твердеющих железокобальт-вольфрамовых сплавов [1] изучались сплавы, закаливающиеся в процессе отливки в металлическую форму (плавка и разливка производились в вакуумной печи). Далее следовал отпуск. Для данного технологического варианта были разработаны сплавы, обладающие хорошей самозакаливаемостью при отливке и высокой степенью дисперсионного упрочнения при отпуске. Тем не менее представляет интерес влияние специальной термической обработки на свойства этих сплавов.

Как было показано [2—4], термическая обработка оказывает существенное влияние на структуру, дисперсионное упрочнение и некоторые свойства исследуемых сплавов. Причем вариант технологии термически обработанных сплавов предъявляет свои требования к их химическому составу.

Важной характеристикой инструментальных материалов является прочность на изгиб. В данной статье рассматривается влияние термической обработки на прочность изгибу в комплексе с твердостью и структурой сплавов.

В таблице приведены варианты термической обработки и их влияние на твердость и прочность изгибу сплавов 1 и 2. Химический состав сплавов: сплав 1—20% Co, 20% W, 0,2% Ti, 1% Mn, 0,5% V; сплав 2—20% Co, 10% W, 10% Mo, 0,25% Ti, 0,5% V.

Сплавы выбраны с учетом характерного изменения их структуры и свойств после закалки [3, 4]. Структура сплава 1 до и после закалки принципиально не изменяет своего характера (повышается мелкозернистость). В исходном литом состоянии, в соответствии с химическим составом [3], структура имеет зерна с извилистыми границами и точечные выделения избыточной фазы в пограничных участках. Неравномерная травимость зерен твердого раствора указывает на наличие внутрикристаллической ликвации и местного преждевременного распада твердого раствора.

Сплав 2 в исходном виде имеет структуру, аналогичную структуре сплава 1, но после закалки приобретает полидрическое строение. Ответственными за такую перестройку структуры являются молибден,

ванадий и титан [4]. Кроме того, смещение за счет указанных элементов полиморфного превращения в зону более высоких температур способствует, вследствие фазового наклепа, преждевременному распаду твердого раствора, снижая степень закаленности сплава. В отдельных участках структуры кроме полиэдров обнаруживаются небольшие остатки исходной фазы дендритного строения (с извилистыми границами). В состоянии закалки они имеют меньшую, а после отпуска большую твердость, чем полиэдры, что находится в соответствии с ранее установленной закономерностью [4]. Небольшое количество избыточной фазы, находящейся в виде точечных включений, полностью растворяющейся при нагреве под закалку, не препятствует появлению полиэдрической структуры [3, 4].

Сплавы закаливались при нагреве в электрической трубчатой печи с керамическими нагревателями от 1300° с 5-минутной выдержкой и различными вариантами скоростей охлаждения. Отпуск производился в свинцовой ванне при температуре 650° С, продолжительностью 30 мин, обеспечивающий высокий уровень твердости сплавов.

При выборе вариантов термической обработки особое внимание обращалось на связь скорости охлаждения, в частности в областях высоких и низких температур (ступенчатая закалка) с прочностью на изгиб и дисперсионным упрочнением. Попутно выявлялись некоторые дополнительные детали дисперсионного упрочнения (изотермическая закалка).

В порядке уменьшения скорости охлаждения при закалке были использованы варианты охлаждения: в воде, масле, на воздухе и при замедленном охлаждении, которое достигалось постепенным выведением образца из зоны высокого нагрева трубчатой печи (при визуальном контроле охлаждения по цветам нагрева).

Таблица 1

Влияние различных вариантов термической обработки на твердость и прочность изгибу сплавов 1 и 2

Операция	Варианты термической обработки	Сплав 1		Сплав 2	
		HRC	$\sigma_{из}$ кг/мм ²	HRC	$\sigma_{из}$ кг/мм ²
1	Исходное состояние	48	319	43	371
2	То же + отпуск	62	285	65	289
3	Закалка в воде	40	135	42	194
4	То же + отпуск	65	94	66,5	142
5	Закалка в масле	41,5	296	42,5	295
6	То же + отпуск	64	242	65	274
7	Нормализация	46	414	43,5	297
8	То же + отпуск	61	357	63	261
9	Замедленное охлаждение	46	402	44	260
10	То же + отпуск	60	257	61	223
11	Нормализация + закалка в воде	39	171	—	—
12	То же + отпуск	66,5	126	—	—
13	Нормализация + закалка в масле	41,5	384	—	—
14	То же + отпуск	65	336	—	—
15	Ступенчатая закалка: в масле — на воздухе	—	—	43	322
16	То же + отпуск	—	—	64,5	292
17	Ступенчатая закалка: на воздухе — в масле	—	—	44	287
18	То же + отпуск	—	—	63	236
19	Изотермическая закалка	58	170	—	—

Закалка в воде (оп. 3, см. табл.), создавая слишком большие внутренние напряжения, приводит к весьма значительному уменьшению прочности по сравнению с исходным состоянием сплавов (оп. 1). Высокая степень закаленности сплавов обуславливает невысокую твердость, соответственно после отпуска твердость значительно возрастает (оп. 4) по сравнению со сплавами, отпущенными непосредственно после литья (оп. 2). При определении твердости отпущенных образцов в ряде случаев внедрение алмазного наконечника сопровождается характерным потрескиванием, показания твердости при этом искажаются.

Очевидно, резкая закалка приводит не только к повышению, но и неравномерности внутренних напряжений в микрообъемах, что усиливает неравномерность выделения дисперсных частиц упрочняющей фазы, тем самым вызывая еще более резкую неоднородность состояния сплава после отпуска.

Характерно, что закалка в воде, проведенная после нормализации, дает более высокий уровень дисперсионного твердения и прочности (оп. 11 и 12). Очевидно, при этом двойном нагреве определенную роль играет уменьшение внутрикристаллической ликвиции и некоторое выравнивание внутренних напряжений.

Закалка в масле создает меньшую степень фиксации пересыщенного твердого раствора и дает меньшую твердость после отпуска (оп. 5, 6), чем в предыдущем случае, но обеспечивает практически приемлемый уровень прочности, более низкий, чем в исходном состоянии сплавов.

Нормализация для выбранных сплавов дает неравноценные результаты (оп. 7 и 8). Для сплава 1 уровень прочности после высокотемпературной обработки и после отпуска выше, чем в исходном состоянии (оп. 1 и 2), однако степень дисперсионного твердения (61 HRC) недостаточна.

В сплаве 2 вследствие более высокого общего уровня твердения по сравнению со сплавом 1, твердость после отпуска (оп. 8) достаточно высокая (63 HRC), но прочность оказывается ниже, чем в исходном состоянии сплава. Что касается относительно низкого дисперсионного упрочнения обоих сплавов, то это объясняется недостаточной закаленностью сплавов при охлаждении на воздухе.

Разница в уровнях прочности по сравнению с исходными состояниями в сплавах объясняется следующим образом. Высокая прочность сплава 1 обусловлена меньшей напряженностью сплава при закалке и частичным выравниванием состава сплава в пределах отдельных зерен. Характер микроструктуры при этом не меняется. В сплаве 2 появление полиэдрической структуры сопровождается ростом зерен, и, как отмечалось выше, при этом стимулируется преждевременный распад твердого раствора. Следует отметить, что при резком охлаждении во время закалки в воде в этом сплаве обнаруживаются признаки нафталинистости, которые едва заметны в изломах образцов, охлажденных в масле. Видимо, в известной мере эти недостатки присущи и нормализации.

Замедленное охлаждение, как и следует ожидать, снижает закаленность сплавов и уровень их дисперсионного твердения при отпуске (оп. 9 и 10). Несколько меньшая прочность по сравнению с нормализованным состоянием связана с повышенным распадом твердого раствора при охлаждении от высоких температур.

Положительное влияние нормализации на прочность 1 сплава указывает на целесообразность сочетания ее с вариантами термической обработки, приводящими к высокой степени дисперсионного твердения, то есть с закалкой в воде и масле. Соответствующие эксперименты по-

казали, что если нормализация не в состоянии предотвратить неблагоприятные последствия быстрого охлаждения в воде (оп. 11 и 12), то сочетание ее с охлаждением в масле, дает очень хорошие результаты (оп. 13 и 14), существенно более высокие по сравнению с исходным состоянием сплава. Решающим здесь, по-видимому, является выравнивание твердого раствора и неоднородности, связанной с условиями неравновесной первичной кристаллизации. Возможно при этом известную роль играют повторные напряжения и периодические процессы выделения и растворения избыточной фазы.

Влияние скорости охлаждения в области высоких и низких температур при ступенчатой закалке более удобно наблюдать на сплаве 2, у которого при температуре закалки полностью растворяется избыточная фаза и образуется однородная полиэдрическая структура.

В одном случае охлаждение производилось от закалочных температур до $600-700^{\circ}$ (визуально) в масле с последующим охлаждением на воздухе (оп. 15), в другом — до тех же промежуточных температур на воздухе с заключительным охлаждением в масле (оп. 17).

Первый вариант ступенчатой закалки обуславливает получение более высокой прочности (оп. 15 и 16), чем одинарная обработка в масле (оп. 5 и 6) или нормализация (оп. 7 и 8). После отпуска наблюдается несколько меньшая твердость (на $0,5 HRC$), но более высокая прочность, чем при одинарном охлаждении в масле и тем более при нормализации. Объяснение этому состоит в степени фиксации пересыщенного твердого раствора и напряженного состояния сплава.

Второй вариант ступенчатой закалки (оп. 17 и 18) во всех отношениях хуже одинарного охлаждения в масле (оп. 5 и 6), нормализации (оп. 7 и 8) и предыдущего варианта ступенчатой закалки (оп. 15 и 16).

Изотермическая закалка (оп. 19) производилась в свинцовой ванне при 650° в течение 30 мин. Полученные при этом твердость и прочность совершенно недостаточны, что объясняется, по-видимому, слишком высокой температурой изотермической выдержки.

Рассмотренные варианты термической обработки дисперсионно-твердеющих сплавов позволяют сделать вывод о целесообразности сочетания нормализации с последующей закалкой в масле. Для сплавов, чувствительных к повышенным напряжениям в области низких температур, но обладающих хорошей самозакаливаемостью, целесообразно использование ступенчатой закалки с первоначальным охлаждением в масле и заключительным — на воздухе.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Д. Клементьев. Исследование литых дисперсионно-твердеющих режущих сплавов. Известия вузов МВО СССР, «Черная металлургия», № 3, изд. Сиб. металлургического института, 1959.
2. А. Д. Клементьев. Микроструктура и свойства железокобальтвольфрамовых сплавов, закаливающихся в процессе литья. Известия ТПИ, т. 209, в печати.
3. А. Д. Клементьев. Влияние условий закалки на микроструктуру и свойства литых железокобальтвольфрамовых сплавов. Известия ТПИ, т. 209, в печати.
4. А. Д. Клементьев. Влияние присадок и условий закалки на микроструктуру и свойства литых железокобальтвольфрамовых сплавов. Известия ТПИ, т. 209, в печати.