

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ СВОЙСТВ В СЕЧЕНИИ ОТЛИВОК ИЗ ЖЕЛЕЗОКОБАЛЬТВОЛЬФРАМОМОЛИБДЕНОВЫХ СПЛАВОВ

А. Д. КЛЕМЕНТЬЕВ

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

Важным требованием, предъявляемым к режущему инструменту, является достаточная равномерность режущих свойств в пределах рабочей части инструмента. Существенные затруднения возникают в этом отношении при разработке литых дисперсионнотвердеющих железокобальтвольфрамомолибденовых режущих сплавов. Данное исследование посвящено выяснению факторов, влияющих на неравномерность свойств сплавов в сечении отливки и изучению возможности устранения этого недостатка.

Сплавы получали закалку в процессе отливки в металлическую форму, затем производился упрочняющий отпуск. С помощью присадок и вакуумной плавки существенно улучшается структура и свойства исследуемых сплавов. Структура становится мелкозернистой и более однородной по сечению отливки, повышаются твердость, красностойкость, прочность на изгиб, некоторые сплавы приобретают высокую стойкость при резании [1, 2].

Однако во многих случаях имеет место, несмотря на достаточную однородность структуры (микроструктура, макроструктура, структура излома), значительная неоднородность свойств по сечению отливки. Свойства ухудшаются по направлению от периферии к центру отливки. Заметно снижается прочность на изгиб, значительно ухудшаются режущие свойства.

Многие сплавы с однородной структурой, имеющие в исходном виде (в состоянии закалки) практически одинаковую твердость (HRC) по всему сечению отливки, обнаруживали в центральной части значительно меньшую прочность на изгиб, чем у периферии. После же отпуска разница обнаруживается и в твердости соответствующих участков отливки (до 3 HRC). Это приводит к необходимости при повторении опытов или для сопоставления свойств различных сплавов использовать симметричные или соответствующие части отливок.

Отмеченное несоответствие между твердостью и другими свойствами в состоянии закалки выясняется при исследовании микротвердости сплавов. Микроскопически выявляется первичное дендритное строение сплава [2]. Значительная неравномерность свойств имела место в сплавах с компактной формой центральной части зерен-дендритов (в дальнейшем — зерна) и изрезанными, тонковетвистыми краями этих зерен (в дальнейшем — межзеренные участки).

Измерение микротвердости (закаленных сплавов) показало, что твердость зерен у периферии (на глубине до 3 мм) ниже, чем в центре

отливки, а твердость межзеренных участков, наоборот, выше у периферии. Такое соотношение твердости зерен и межзеренных участков у периферии и в центре (влияние усадочной рыхлости отливки исключено) и приводит в ряде случаев к нивелировке интегральной (HRC) твердости по всему сечению отливки.

Изучение микротвердости в различных состояниях сплавов позволяет выяснить существенные причины неравномерности свойств сплавов в сечении отливок. Как показали исследования, неравномерность твердости зерен по сечению отливок обусловлена главным образом степенью их закаленности. Неравномерность же твердости межзеренных участков зависит как от степени их закаленности (тонковетвистой части дендритов), так и влияния вакуума на эти участки в процессе формирования отливки.

Рассмотрим условия закаливаемости исследуемых сплавов. Для получения различных скоростей охлаждения сплавов в процессе отливки применялась стальная разборная форма, позволяющая менять толщину ее стенок. Изнутри форма покрывалась обмазками различной толщины. Форма получала различный нагрев в пределах до 500°. Неравномерность твердости сплавов оказалась минимальной для промежуточных оптимальных скоростей охлаждения, но обеспечивающих достаточно полную фиксацию пересыщения твердого раствора. Для отливки сечением 8—10 × 25 мм форма имела толщину стенок 10—12 мм с тонким маркалито-глинистым покрытием. Температура формы — порядка 200°.

Связь между степенью закаленности сплава и твердостью в состоянии закалки и после отпуска носит обычный для дисперсионнотвердеющих сплавов характер: чем полнее закалка, тем меньше твердость сплава и тем выше степень дисперсионного упрочнения.

Закаленность сплавов в известных пределах можно регулировать с помощью присадок. Повышают закаливаемость марганец и никель, а уменьшают ее хром, кремний, ванадий и др. Такое действие элементов обусловлено влиянием их на температуру гамма-альфа превращения в связи с расширением или сужением гамма-области. Смещение гамма-альфа превращения в область более высоких температур, а следовательно, большей диффузионной подвижности атомов снижает закаливаемость сплавов, способствуя преждевременному распаду твердого раствора, повышает твердость сплавов в состоянии закалки, уменьшая резерв дисперсионного упрочнения при отпуске.

Исследовались сплавы с уровнем твердости 39 — 41 HRC в исходном закаленном состоянии и 65 — 68 HRC после отпуска.

Отражая степень закаленности различных участков сплава, твердость зерен, как и следовало ожидать, изменяется следующим образом. В состоянии закалки твердость зерен ниже у периферии (на десятки ед. HV), а после отпуска — ниже в центральной части отливки (примерно на 300 ед. HV). В межзеренных участках, представляющих собой тонкие ветви дендритов, должен наблюдаться повышенный распад твердого раствора (снижение закаленности — повышение твердости) по сравнению с зернами. Еще в большей степени этот распад должен быть выражен в центральных частях отливки. Разница в твердости зерен и межзеренных участков должна усиливаться и вследствие внутрикристаллической ликвации (появление которой обусловлено большой скоростью охлаждения сплавов), приводящей к обеднению периферийных участков зерен тугоплавкими компонентами (вольфрамом и молибденом), ответственными за дисперсионное упрочнение изучаемых сплавов.

Таким образом, твердость межзеренных участков должна возрастать по направлению к центру отливки, в действительности же эта твердость

снижается (в закаленном сплаве примерно на 100 ед. HV). Одной из причин такого снижения твердости межзеренных участков является появление рыхлости, вызванной усадочной микропористостью, возникающей в тонковетвистых окончаниях дендритов, где легко могут появляться в процессе кристаллизации изолированные объемы жидкости. Вакуум усиливает пористость, особенно при плавке с незавершенными процессами газообразования.

Разливка без вакуума или под давлением должна уменьшать этот дефект. И действительно разливка почти при атмосферном давлении (разливка начиналась, когда в печь медленно впускался воздух и его давление достигало примерно 200 мм рт. ст.) приводила к уменьшению рыхлости межзеренных участков в середине отливки. Разница в твердости межзеренных участков у периферии и в центре отливки при разливке под вакуумом составляет около 100 ед. HV, а при безвакуумной разливке она равна соответственно нескольким десяткам ед. HV.

Следует отметить, что твердость зерен и межзеренных участков в центре отливки примерно одинакова (у периферии твердость соответствующих участков отличается на десятки ед. HV). Однако эта равномерность микротвердости в центре отливки в состоянии закалки сплава обусловлена преждевременным распадом твердого раствора и некоторой остающейся еще рыхлостью, оказывающих противоположное влияние на твердость межзеренных участков. Последующее твердение обнаруживает в центральной части отливки значительную неоднородность микротвердости (до 100 ед. HV), но все же, примерно вдвое меньшую, чем при разливке под вакуумом. Снятие вакуума при разливке на неоднородность микротвердости у периферии отливки влияния не оказывает.

Таким образом, безвакуумная разливка уменьшает неоднородность микротвердости в центре отливки, доводя ее до уровня неоднородности у периферии. Главная причина этой, остающейся неоднородности состоит в преждевременном распаде твердого раствора в межзеренных участках. Это хорошо подтверждают опыты с проведением дополнительной закалки, которая обеспечивает сквозную равномерную прокаливаемость по всему сечению отливки. В результате наблюдается небольшой разброс микротвердости по всему сечению отливки как в состоянии закалки, так и отпуска.

Некоторое повышение скорости охлаждения при разливке в воздухе существенного влияния на выравнивание микротвердости не оказывает.

В сплавах, разлитых под вакуумом, несмотря на дополнительную закалку, отмечается значительная неоднородность микротвердости в центре отливки и неравномерность различных свойств по ее сечению, что обусловлено рыхлостью межзеренных участков. Микротвердость же у поверхности отливки довольно равномерна как в состоянии закалки, так и отпуска. Твердость зерен мало отличается в пределах всего сечения отливки и при закалке, и при отпуске, тогда как межзеренные участки в центре имеют значительно меньшую твердость (примерно на 200 ед. HV), чем у поверхности отливки.

Неравномерность интегральной твердости по сечению отливки в состоянии закалки составляет до 0,5—1 HRC, а в состоянии отпуска до 1—1,5 HRC, что существенно меньше, чем при отсутствии дополнительной закалки.

### Выводы

Исследование микротвердости позволяет выяснить причины неравномерности свойств в сечении отливки исследуемых сплавов. Ответст-

венными за снижение таких свойств сплавов, как прочность на изгиб и режущие свойства, являются места тонковетвистых дендритов (межзеренные участки), в которых протекает преждевременный распад твердого раствора, а также появляющаяся в этих участках рыхлость.

В наружных участках отливки вследствие лучшей закаливаемости неоднородность микротвердости относительно невелика. В центральных частях отливки степень закаливаемости меньше, особенно в разветвлениях дендритов, в которых, кроме того, появляется рыхлость, обусловленная усадочной микропористостью, усиливающейся под влиянием разливки под вакуумом.

Безвакуумная разливка снижает рыхлость в межзеренных участках, улучшает свойства центральной части отливки. Применение дополнительной закалки, обеспечивает сквозную однородную прокаливаемость отливки, приводит к выравниванию микротвердости как в состоянии закалки, так и отпуска, чему должно способствовать также уменьшение внутрикристаллической ликвидации в процессе нагрева под закалку. Одновременное использование безвакуумной разливки и дополнительной закалки позволяет получить достаточную равномерность микротвердости (в пределах нескольких десятков ед. HV) по всему сечению отливки.

Для повышения плотности отливки необходима максимальная дегазация металла при вакуумной плавке. При разливке целесообразно использование давления инертных газов, а также литья под давлением или центробежного литья.

Существенно упрощается устранение неравномерности свойств по сечению отливки в сплавах с мелкозернистой компактной первичной структурой кристаллитов без тонковетвистых образований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Д. Клементьев. Исследование литых дисперсионноотвердеющих режущих сплавов. Изв. вузов, Черная металлургия, № 3, 77—83, 1959.
2. А. Д. Клементьев. Литые дисперсионноотвердеющие режущие сплавы. Современная конструкция режущих инструментов. Тр. инструментальщиков Западной Сибири. сб. 1, Изд-во ЦИНТИАМ, М., 242—252, 1962.