

образует сетку карбидов хрома. Связанный в карбиды углерод теряет свое значение как аустенизатор. Медленно оттесняемый боридами в подслое хром оказывает дополнительное ферритизирующее влияние.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пантелеенко Ф.И., Хусид Б.М., Ворошнин Л.Г., Сороговец И.Б. О росте борированного слоя на сферическом порошке железа// Весті АН БССР.- Серія ФТН. - №1, 1991. -С.22-24.
2. Пантелеенко Ф.И., Любецкий С.Н. Самофлюсующиеся порошки на железной основе для защитных покрытий// Весті АН БССР. Серія ФТН, 1991. - №3. С.22-27.
3. Пантелеенко Ф.И., Любецкий С.Н. Самофлюсующиеся порошки и износостойкие покрытия из них. - Минск: БелНИИНТИ, 1991 -59с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ЛАТУННЫХ ПРИПоев, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДАМИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ЗАКАЛКИ РАСПЛАВА, ДЛЯ ПАЙКИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

ВЕРЕЩАГИН М.Н., АГУНОВИЧ И.В.

УО «Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого»,  
г. Гомель, Беларусь, e-mail: agunovich@mail.ru

**Введение.** Латунные припои нашли широкое применение благодаря низкой температуре плавления, хорошей жидкотекучести, высокой прочности и твердости. В настоящее время существует технология - высокоскоростная закалка расплава - позволяющая существенно улучшить механические свойства припоев за счет увеличения растворимости легирующих элементов в твердых растворах, дробления структурных составляющих, образования новых метастабильных фаз [1]. При этом механические свойства, и в частности микротвердость, являются структурно-чувствительными, и зависят от условий получения сплавов при быстрой закалке из расплава.

**Цель** настоящей работы – исследование микротвердости многокомпонентных латунных припоев, полученных высокоскоростной закалкой расплава и выявление факторов, ее определяющих.

**Методика эксперимента.** В качестве исходных материалов для исследований использовались сплавы системы Cu-Zn-Ni-Fe-Pb-Sn-P с различным содержанием легирующих компонентов (образцы №1 - №5). Быстрозакаленные ленты данной системы получали методом двухвалковой закалки-прокатки расплава при частоте вращения валков  $\omega=10-30 \text{ с}^{-1}$ ; литые сплавы получали литьем в кокиль с охлаждением на воздухе. Шлифы для выявления микроструктуры готовили при помощи шлифовально-полировального станка ПОЛИЛАБ П12. В качестве травителей использовали пикриновое травление (1г пикриновой кислоты  $\text{C}_6\text{H}_3\text{N}_3\text{O}_7$  растворенной в  $5 \text{ см}^3 \text{ HCl}$ , с добавкой  $100 \text{ см}^3$  спирта), а также солянокислый раствор хлорного железа (5г  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; 30 мл  $\text{HCl}$ ; 30 мл  $\text{H}_2\text{O}$ ) [2]. Микроструктуру литых и быстрозакаленных образцов в продольном и перпендикулярном к оси направлении изучали на сканирующем микроскопе «Nanolab-7», металлографическом микроскопе «Neophot-21», сканирующем электронном микроскопе TESCAN Vega II LSH и металлографическом микроскопе «МЕТАМ РВ-22». Микротвердость измеряли при вдавливании в образец алмазной пирамиды Виккерса на приборе ПМТ-3 согласно ГОСТ 9450-76. Проводилось измерение микротвердости как поверхности ленты, так и ее ребра (торцевой поверхности).

**Результаты исследований и их обсуждение.** Быстрая закалка-прокатка расплава позволяет получить материал с мелкокристаллической структурой, высокой химической и

микроструктурной однородностью, с меньшим количеством пор, раковин и других дефектов, присущих литым сплавам. Как показали исследования, структура, и соответственно, свойства латуней во многом определяются скоростью охлаждения. Так, при быстром охлаждении возрастает количество  $\beta'$ -фазы, что повышает твердость латуни, тогда как медленное охлаждение увеличивает количество  $\alpha$ -фазы и повышает пластичность латуни.

Результаты измерения микротвердости литых и быстрозакаленных образцов разного химического состава представлены в *таблице и рисунке 1*.

Таблица

**Микротвердость литых и быстрозакаленных образцов**

Номер образца	Микротвердость, МПа				
	1	2	3	4	5
литые	2973	3757	2970	2600	3145
быстрозакаленные	4090	3980	3044	2650	4338



Рисунок 1 – Сравнительные значения микротвердости литых и быстрозакаленных образцов разного химического состава

Можно видеть, что микротвердость быстрозакаленных лент исследованных сплавов превышает микротвердость литых образцов того же состава на 20-30 %, и она увеличивается с ростом концентрации легирующих компонентов. Увеличение микротвердости быстрозакаленных образцов обусловлено твердорастворным, дисперсионным и зернограницными механизмами упрочнения, причем изменение микротвердости за счет образования пересыщенного твердого раствора играет более существенную роль [3].

При измерении микротвердости быстрозакаленных лент установлено, что микротвердость поверхности быстрозакаленной ленты и ее торцевой части идентичны.

Кроме того, исследования показали, что определяющим фактором формирования микротвердости быстрозакаленных сплавов является его структура, а именно размер зерна. На *рисунке 2* представлена зависимость влияния размера зерна на микротвердость исследованных сплавов.

Можно видеть, что при размере зерна менее 0,008 мм микротвердость быстрозакаленных образцов увеличивается ~ 2 раза по сравнению с литыми сплавами.

Результаты структурных исследований, а также полученные данные измерения микротвердости, позволяют говорить о несомненном главенствующем влиянии толщины полученных образцов и, соответственно, скорости закалки над микротвердостью. В то же

время изменение химического состава сплава оказывает влияние на микротвердость в меньшей степени.

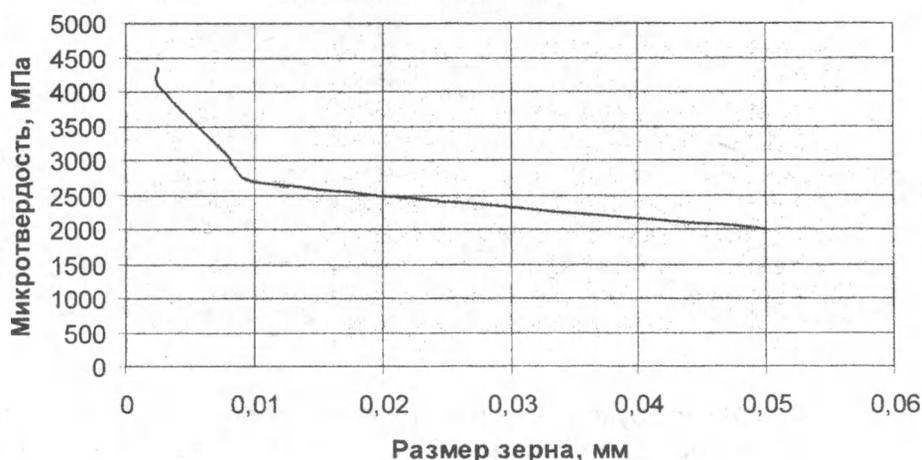


Рисунок 2 - Влияние размера зерна на микротвердость

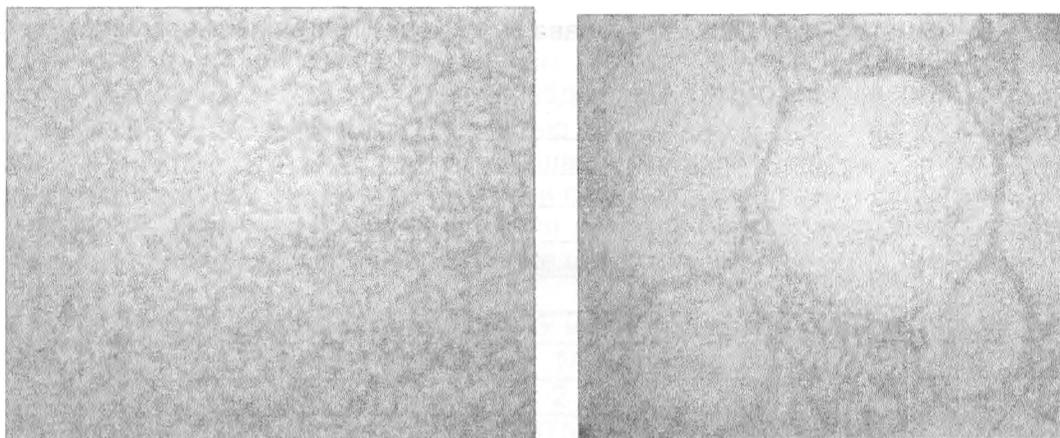
На рисунке 3 представлена микроструктура ленты сплава №3 различной толщины, что соответствует разной скорости охлаждения расплава. Для толщины ленты 0,9 мм при размере зерна 0,003 мм микротвердость составляет ~4500 МПа, в то же время при толщине 1,5 мм микротвердость равна ~2000 МПа.

Более высокую микротвердость быстрозакаленных сплавов с меньшей толщиной можно объяснить: во-первых, очень малым размером микрокристаллитов, пересыщенных легирующими элементами вследствие быстрого затвердевания; во вторых, высокая концентрация легирующих элементов создает дополнительные условия для реализации высоких напряжений начала пластического течения. Кроме того, увеличение скорости охлаждения приводит к увеличению количества  $\beta'$ -фазы, по сравнению с литыми сплавами, что также обуславливает значительное увеличение твердости быстрозакаленных сплавов. В поликристаллических материалах границы зерен представляют собой нарушения непрерывности микроструктуры, препятствующие скольжению, особенно при низких температурах, при которых движение дислокаций затруднено. Эти же границы являются потенциальными барьерами к распространению дислокаций в соседние зоны. Поэтому мелкозернистый материал с большей площадью границ после быстрой закалки имеет более высокую прочность, чем крупнозернистый сплав, полученный при литье в кокиль.

Установлено, что и литые, и быстрозакаленные образцы имеют достаточно высокую хрупкость и испытания на изгиб не выдерживают. Хрупкость сплавов связана с присутствием упорядоченной  $\beta$ -фазы в литом и  $\beta'$ -фазы в быстрозакаленном сплаве (когда атомы цинка располагаются в центре куба, а атомы меди — в его вершинах куба [4]). В отличие от равновесного состояния  $\beta'$ -фаза появляется в структуре латуней при содержании цинка около 30% (по двухфазной диаграмме состояния). Рентгенофазовый анализ сплавов выявил присутствие метастабильного цинка с присущей ему гексагональной плотноупакованной решеткой, с параметрами  $a=2,668 \text{ \AA}$  и  $c=4,99 \text{ \AA}$ , придающей твердость и хрупкость материалу.

Характерной особенностью данного сплава является наличие хрупких включений фосфидов меди. Это обусловлено тем, что фосфор весьма незначительно растворяется в  $\alpha$ -фазе, и выделяется в виде хрупкого химического соединения  $\text{Cu}_3\text{P}$ , повышая твердость и резко снижая пластичность латуней. Вместе с тем, фосфор значительно снижает температуру плавления сплава.

Хрупкость литых сплавов также связана со структурными факторами (формой и неоднородностью зерен, микропористостью, ликвациями, сегрегациями и т.д.), тогда как хрупкость быстрозакаленных сплавов обусловлена наличием определенного типа связей, протеканием процессов фазового расслоения и т.д., а также значительным перегревом расплава.

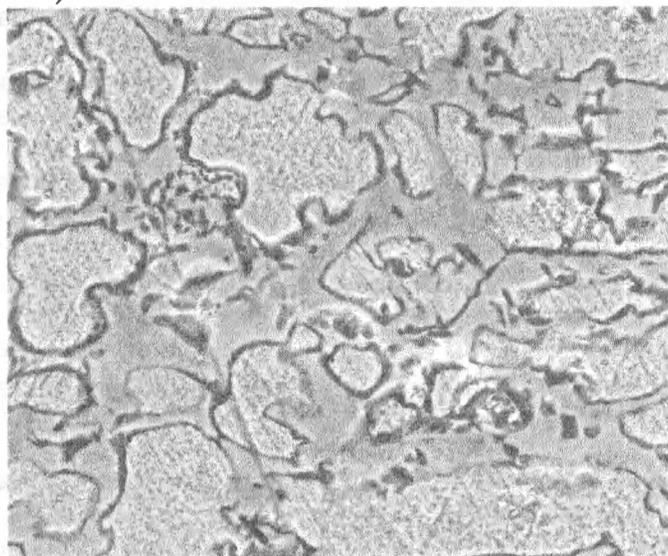


а

б

Рисунок 3 - Микроструктура ленты сплава №3 после закалки-прокатки,  $\times 1000$ :  
а - толщина ленты 0,9 мм, б - толщина ленты 1,5 мм

Установлено, что  $\alpha$  -латунях свинец образует легкоплавкие эвтектики по границам зерен, что приводит к горячеломкости. В двухфазных латунях происходит перекристаллизация ( $\alpha+\beta$ )-фаз, в результате которой образовавшийся по границам прежних зерен  $\beta$ -фазы эвтектоид оказывается внутри вновь формирующихся зерен твердого раствора и его вредное воздействие на пластичность снижается, но не исключается, так как некоторое его количество вокруг зерен присутствует (рис.4).



SEM HV: 30.00 kV Date(m/d/y): 10/28/08  
View field: 99.20  $\mu\text{m}$  Det: BSE Detector 20  $\mu\text{m}$   
Date(m/d/y): 10/28/08 viedk VEGA\\ TESCAN  
Digital Microscopy Imaging

Рисунок 4 - Микроструктура литой латуни после травления. Светлые зерна –  $\alpha$ -фаза, между ними расположены включения эвтектоида, темные точки внутри зерен – мелкие включения свинца и железа.

**Выводы:** Быстрая закалка-прокатка расплава позволяет получить припой в виде тонких лент, что весьма удобно при пайке плоских поверхностей с разнообразными очертаниями и при соединении деталей сложной формы. Припой обладает микрокристаллической структурой, что повышает качество соединения.

Обнаружено, что микротвердость быстрозакаленных многокомпонентных латунных припоев превышает микротвердость литых образцов того же состава на 20-30% и увеличивается с ростом концентрации легирующих компонентов, причем это увеличение микротвердости связано в основном с образованием пересыщенного твердого раствора.

Определяющим фактором формирования микротвердости быстрозакаленных припоев является их микроструктура, а именно размер зерна.

Установлено, что литые и быстрозакаленные образцы имеют достаточно высокую хрупкость. Это связано с присутствием упорядоченной  $\beta$ -фазы в литом и  $\beta'$ -фазы в быстрозакаленном состоянии, наличием хрупких включений фосфидов, структурными факторами и перегревом расплава.

### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Ефимов Ю. В., Варлимонт Г., Мухин Г. Г. и др. Метастабильные и неравновесные сплавы / Под ред. Ефимова Ю. В. – М.: Металлургия, 1988. - 383 с.
2. Беккерт М, Клемм Х. Справочник по металлографическому травлению. Пер. с нем. Н.И. Туркиной и др. – М.: Металлургия, 1979, 336 с.
3. Лозенко В.В. Шепелевич В.Г. Машиностроение: Республиканский межведомственный сборник научных трудов. Вып.21, в 2 т., гл. ред. В.М. Хрусталева - Мн.: УП «Технопринт» - т.2-2005, с.118-122
4. Смирягин А.П., Смирягина Н.А., Белова А.В., Промышленные цветные металлы и сплавы: Справочник. Изд. 3-е доп. и перераб -М.: Металлургия, 1974, 488с