

УДК 621.762

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Н.В. МАНУКЯН, С.Г. АГБАЛЯН, А.Г. ТУМАНЯН, А.Ю. СУЛЕЙМАН

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ДИСПЕРСНО-ТВЕРДЕЮЩИХ И УПРОЧНЯЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ

Ստանումել են պղնձի կիրքով դիսպերս ամրացրոյ և կարծրացրոյ նյութերի կառուցվածքագրւման տեխնոլոգիական առանձնահատկութիւնները: Աշտիկել է լավագոյն բաղադրութեանը և տարբարակութեանը արտադրամեթոտի ստացման տեխնոլոգիան: Աստանաւորել է պղնձայտ ամրացրոյ հումաւորութեան ֆիզիկա-մեխանիկական հատկութիւնները: Ստացված նյութից պատրաստվել է էլեկտրոդների փորձնական խորանակ, որի արդունաբերական փորձարկումը ցույց է տվել, որ տարբարակացում ստացված էլեկտրոդների կարունութունը 2,5...3 անգամ գերազանցում է ստանդարտին:

Установлены технологические особенности структурообразования дисперсно-твердеющих и упрочненных материалов на основе меди. Разработаны оптимальные составы и технология получения изделий экструзией. Исследованы физико-механические свойства упрочненных сплавов меди. Изготовлены опытные партии электродов из полученных материалов, промышленные испытания которых показали, что стойкость экструдированных электродов в 2,5...3 раза выше стандартных. g24

Ил. 3. Табл. 2. Библиогр.: 7 назв.

The technological particularities for structuring disperse-reinforced and hardening copper-based materials were established. The optimal compositions and technology of producing goods by extrusion were developed. The physical and mechanical properties of reinforced copper-based materials were studied. The experimental lots of electrodes obtained from elaborated materials were produced. The industrial tests show that the resistance of extruded electrodes is for 2.5...3 times higher than that of standard ones.

Ил. 3. Tables 2. Ref. 7.

Дисперсно-упрочненные порошковые материалы (ДУПМ) принципиально не отличаются от твердеющих порошковых материалов (ДТПМ) по механизму упрочнения. Основное различие состоит в том, что в твердеющих сплавах фазовые соотношения определяются процессами распада пересыщенных твердых растворов, а в дисперсно-упрочненных сплавах они задаются искусственно в процессе приготовления. В качестве упрочняющих фаз используются термодинамически стабильные тугоплавкие соединения, не претерпевающие фазовых превращений, не взаимодействующие с матричным металлом и не растворяющиеся в нем вплоть до температуры его плавления [1, 2].

Целью исследования является разработка технологии получения дисперсно-упрочненных и твердеющих порошковых материалов на основе меди с высокими электропроводностью и прочностными свойствами.



При создании ДУПМ требуется решение следующих задач, а именно: выбор: фазы-упрочнителя и ее объемного содержания; способа введения фазы-упрочнителя в матрицу; способа получения компактных заготовок; режимов деформации и термической обработки.

Порошковые шихты для ДУПМ на основе меди получают путем внутреннего окисления, химического осаждения и восстановления в растворах, а также механическим смешиванием дисперсных частиц. По жаропрочности ДУПМ превосходят легированные сплавы на основе меди. Преимущества ДУПМ проявляются при температурах выше $0,57 \times T_{пл}$ меди. Прочность ДУПМ возрастает с увеличением концентрации дисперсных частиц, однако при этом уменьшается электропроводность. Оптимальное соотношение прочности и электропроводности обеспечивается при концентрации дисперсных частиц 1...2%.

ДУПМ на основе меди характеризуются высокими показателями длительной прочности и ползучеустойчивости. Например, длительная прочность ДУПМ ($Cu-Al_2O_3$) с объемной долей 3,5 % Al_2O_3 при температуре 450 °C составляет 250 МПа, 650 °C - 140 МПа и 850 °C - 60 МПа, тогда как для меди при 450 °C - 10 МПа [3]. Электрическое сопротивление ДУПМ на основе меди при комнатной температуре в среднем на 15% больше, чем у Cu . Однако с повышением температуры это различие уменьшается и практически исчезает при 700...800 °C. Плотность ДУПМ т.к.л.р. и теплопроводность близки к чистой смеси ввиду малых концентраций дисперсных включений.

ДУПМ на основе Cu применяются в электротехнике и сварочной технике. Сочетание жаропрочности и электропроводности открывает широкие возможности для изготовления из ДУПМ электродных контактов, обмоток роторов электродвигателей, эксплуатируемых при высоких температурах, различных трубчатых теплообменников и др. Большую экономию дает замена чистой меди и латуни дисперсно-упрочненными материалами в электродах для стыковой и роликовой сварки и в электрод-инструментах для электроискровой обработки металлов и сплавов.

Растворное упрочнение для рассматриваемых сплавов неприемлемо, так как растворение большинства легирующих элементов в количествах, достаточных для эффективного упрочнения меди, приводит к существенному снижению электропроводности (до 20 %).

Более эффективно дисперсионное твердение, причем легирующие элементы должны быть подобраны таким образом, чтобы их растворимость в меди при высокой температуре была значительно больше, чем при комнатной температуре. В этом случае матрица состаренного сплава будет представлена практически чистой медью с высокой электропроводностью. Электросопротивление двухфазных смесей значительно меньше, чем у твердых растворов при той же концентрации легирующего элемента в сплаве, в идеальном случае подчиняется правилу аддитивности [4].

Для повышения жаропрочности при сохранении высокой тепло- и электропроводности должны соблюдаться следующие условия:

- 1) высокие температуры солидуса и начала рекристаллизации;

2) малая растворимость легирующих элементов в твердой меди;

3) наличие в меди дисперсных частиц.

Из элементов, не слишком сильно повышающих электросопротивление меди, слабо снижает температуру солидуса лишь Cr, а Ni - повышает ее. Легирующие элементы и примеси увеличивают температуру рекристаллизации меди, в особенности цирконий, гафний и титан [5].

Высокие жаропрочные свойства обеспечивают не содержащие меди интерметаллиды, такие как NiBe, NiTi, NiAl, Ni₃Si, Co₃Si, CoBe. Прирост прочностных свойств сплавов Cu-Ni-Si, Cu-Co-Si, Cu-Co-Be, Cu-Ni-Be в результате старения составляет 2,5...3 раза выше по сравнению с закаленным состоянием.

Вместе с тем сплавы квазибинарных разрезов типа Cu-A_xB_y (A, B) (не содержащий меди интерметаллид) отличаются большой электропроводностью по сравнению со сплавами двойных систем. Это обусловлено значительно меньшей растворимостью интерметаллидов типа A_xB_y в меди по сравнению с чистыми компонентами A и B в двойных системах.

Как показывает исследование, сплавы, содержащие 0,4...1% Cr, обладают высокой электропроводностью после закалки и старения. Хром мало растворим в меди: 0,65% Cr при 1072°С и 0,02% Cr-400°С [6]. Поэтому после старения структура этих сплавов представлена почти чистой медью и небольшими включениями хрома, что обеспечивает сохранность примерно 80% электропроводности меди. Хромистые бронзы хорошо сопротивляются износу, их используют для электродов контактной сварки и коллекторов электромоторов.

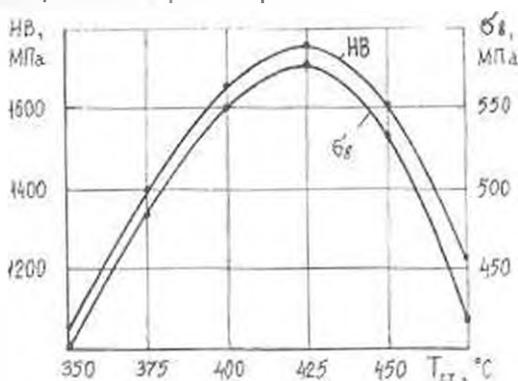


Рис.1. Зависимости твердости и прочности на разрыв сплава (Cr=1,0 мас. %, Zr=0,8 мас. %, TiC=1,0 мас. %, Cu - остальное) от температуры старения при закалке $T_z=1020 \pm 10^\circ\text{C}$, $t_z=2$ ч и продолжительности старения 5,5 ч

Определенный интерес представляют сплавы, легированные 0,1...0,8 % Zr. Эксперименты показывают, что они отличаются высокой жаропрочностью и электропроводностью. Растворимость циркония при 965°С составляет 0,11%, с уменьшением температуры

она значительно снижается и становится ничтожно малой (ниже 400°C) [6]. Упрочнение меди дисперсными выделениями фазы Cu_3Zr невелико, поэтому до старения проводят холодную пластическую деформацию.

Более высоким сочетанием свойств отличаются бронзы, легированные хромом и цирконием. Введение сотых долей процента циркония в сплав меди с 0,4...1 % Cr существенно повышает его температуру рекристаллизации и жаропрочность. Исследования показывают, что структура этих сплавов после старения состоит из чистой меди и выделений хрома. Находящийся в твердом растворе цирконий уменьшает диффузионную подвижность хрома и поэтому задерживает коагуляцию выделений хрома, что и обуславливает высокую жаропрочность сплава Cu-Cr-Zr . Кроме того, легирование сплава Cu-Cr-Zr карбидом титана (TiC) с дисперсностью частиц менее 1 мкм заметно повышает прочностные свойства при незначительном повышении удельного электросопротивления ρ .

Исходя из вышесказанного, исходными материалами служили порошки меди марки ПМС-1 (ГОСТ 4960-75), хрома - ПХ1С (ТУ14-22-50-91), циркония - ЦЦ1 (ТУ48-4-251-73) и карбида титана (ТУ48-19-78-78).

Как видно, комплекс высоких физико-механических свойств проявляется у сплавов, мас. %: хрома 0,4...1; циркония 0,1...0,8; карбида титана 0,5...1 (табл.1 и 2). Введение карбида титана до 0,5...1 мас. % дисперсностью до 1 мкм повышает жаропрочность сплава.

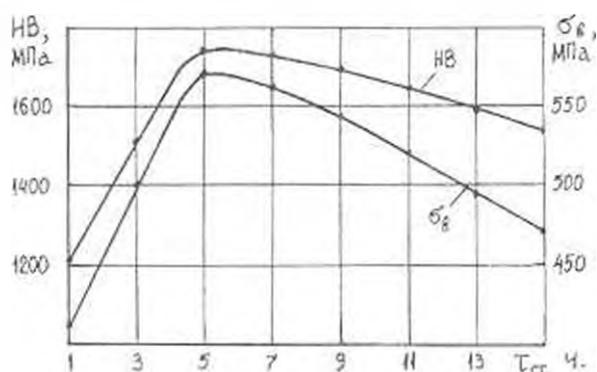


Рис.2. Зависимости твердости и прочности на разрыв сплава (Cr=1,0 мас. %, Zr=0,8 мас. %, TiC=1,0 мас. %, Cu - остальное) от продолжительности старения при закалке $T_z=1020 \pm 10^\circ\text{C}$, $\tau_z=2$ ч и температуры старения $425 \pm 10^\circ\text{C}$

Свойства дисперсно-твердеющих сплавов существенно зависят от температуры и продолжительности старения (рис. 1 и 2). Анализ кривых $\text{НВ}=f(T, \tau)$ и $\sigma_b=f(T, \tau)$ показывает, что максимальная твердость и прочность достигаются при температуре старения 400...425°C и выдержке 5...6 ч. Снижение твердости и прочности с повышением температуры и продолжительности объясняется коагуляцией дисперсных частиц и растворением их в матрице, т.е. приближением структуры сплава к равновесной.

Таблица 1

Влияние химического состава на физико-механические свойства
экструдированного сплава при 20°C ($T_3=975 \pm 25^{\circ}\text{C}$, $\tau_3=45 \pm 60$ мин, $\lambda=4$)
после термообработки по оптимальным режимам ($T_3=1020 \pm 10^{\circ}\text{C}$, $\tau_3=2$ ч,
охлаждение в воде, $T_{\text{от}}=425 \pm 10^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{от}}=5,5$ ч)

Химический состав		Мас. %	Предел прочности на растяжение, σ_B , МПа	Относительное удлинение, δ , %	Твердость НВ, МПа	Электропроводность по меди, %
1	Хром	0,30	510...520	6...7	1350...1400	86...87
	Цирконий	0,09	(480...500)	(8...10)	(1300...1350)	(84...85)
	Карбид титана	0,40				
	Медь	ост.				
2	Хром	0,40	555...570	5,5...6,0	1700...1720	85...86
	Цирконий	0,10	(520...530)	(6...8)	(1650...1700)	(82...83)
	Карбид титана	0,50				
	Медь	ост.				
3	Хром	0,70	565...580	5...6	1740...1750	85...86
	Цирконий	0,50	(530...550)	(6...7)	(1650...1700)	(80...83)
	Карбид титана	0,80				
	Медь	ост.				
4	Хром	1,00	570...580	5...6	1740...1750	84...85
	Цирконий	0,80	(540...550)	(6...7)	(1650...1700)	(78...80)
	Карбид титана	1,00				
	Медь	ост.				
5	Хром	1,10	570...580	5,0...5,5	1740...1750	80...82
	Цирконий	0,90	(540...550)	(8...9)	(1650...1700)	(73...74)
	Карбид титана	1,10				
	Медь	ост.				

Примечание. В скобках приведены физико-механические свойства при 200°C .

Микроструктура образцов представляет собой мелкозернистую медную основу с распределением по границам зерен дисперсно-упрочняющей фазы. Находящийся частично в твердом растворе цирконий препятствует выделению хрома, что и обуславливает высокую жаропрочность сплава $\text{Cu}-\text{Cr}-\text{Zr}-\text{TiC}$. Упрочнение сплава осуществляется по следующему механизму: хром - растворным, цирконий - интерметаллидным, карбид титана - дисперсионным, т.е. его частицы равномерно распределяются по границам зерен. В процессе

экструзии частицы карбида титана частично измельчаются до 0,05...0,1 мкм, при этом возрастает равномерность их распределения.

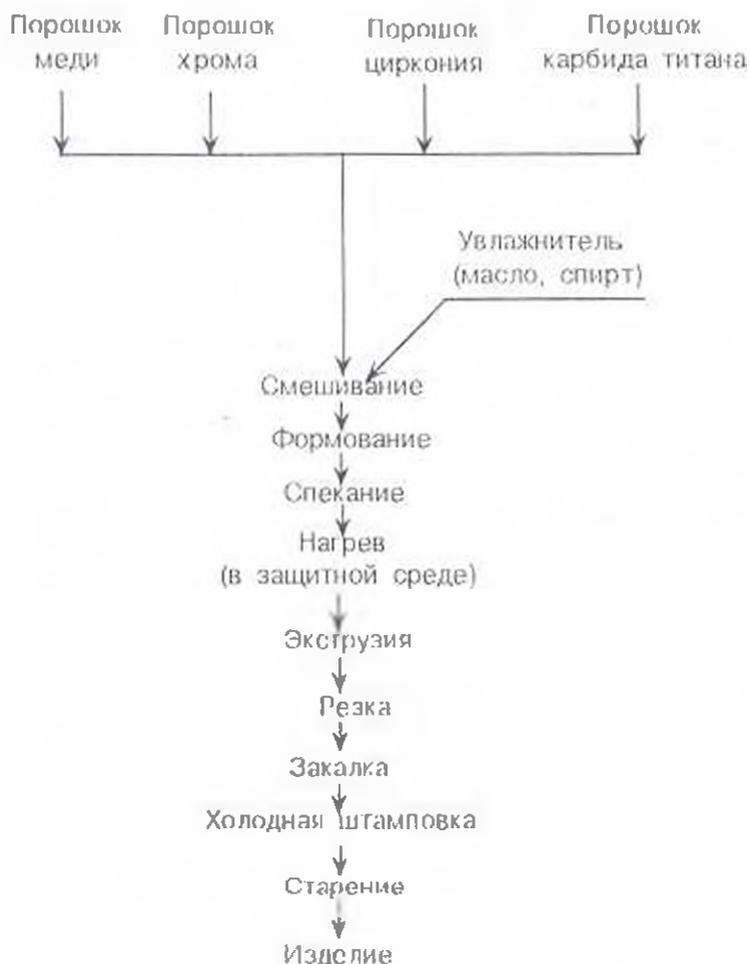


Рис. 3. Технологическая схема изготовления электродов для контактной сварки

На основании проведенных исследований разработана технология изготовления длинномерных заготовок из дисперсно-упрочненных и твердеющих сплавов на основе меди (рис. 3) для электродов контактной сварки. В лабораторных условиях изготовлены опытные партии электродов, промышленные испытания которых показали, что стойкость экструдированных электродов в 2,5...3 раза выше стандартных (БрХ 0,7).

Таблица 2

Зависимости прочностных свойств экструдированного сплава (мас. %: хром 1,0%, цирконий 0,8%, карбид титана 1,0%, медь - остальное) от режимов экструзии после термообработки ($T_3=1020-10^{\circ}\text{C}$, $\tau_3=2,5$ ч, охлаждение в воде, $T_{\text{ст}}=425 \pm 10^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{ст}}=5,5$ ч)

Температура экструзии, $^{\circ}\text{C}$	Продолжительность, ч	Коэффициент вытяжки, λ	Пористость, %	Предел прочности на растяжение, σ_B , МПа	Относительное удлинение δ , %	Твердость, НВ, МПа
1	900			480...500	6...7	1500...1520
2	950	2,5		555...570		
3	1000			565...580	5...6	1700...1750
4	1050		4	не обн.		
5		1,5		500...510	6...7	1500...1550
6		2,0		555...565		1700...1720
7	1000	3,0		565...580	5...6	1740...1750
8		3,5		565...580		1740...1750
9			2	2...2,5	2...3	1000...1100
10		2,5	3	не обн.	5...6	1700...1720
11			5			1740...1750

ЛИТЕРАТУРА

1. Портной К.И., Бабич Б.Н. Дисперсион-упрочненные материалы. - М.: Металлургия, 1974. - 200 с.
2. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения. Справочник / И.М. Федорченко, И.Н. Францевич, И.Д. Радомысельский и др. - Киев: Наукова думка, 1985. - 624 с.
3. А.с. 381699 СССР. Антифрикционный сплав на основе меди / Л.Ф. Колесниченко, Э.Т. Мамакин, В.М. Илюшенко и др. // Открытия. Изобретения. - 1973. - № 22 - С.
4. Павлов В.А., Лященко А.П., Аврунина Г.В. Горячая штамповка из порошков цветных металлов // Горячее прессование в порошковой металлургии: Тр. IV Всесоюз. н.-т. конф. - Новочеркасск, 1981. - С. 130-132.
5. Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. - М.: Металлургия, 1981. - 416 с.
6. Двойные и многокомпонентные системы на основе меди: Справочник / М.Е. Дриц, Н.Р. Бочвар, Л.С. Гузей и др. - М.: Наука, 1979. - 248 с.
7. Манукян Н.В. Технология порошковой металлургии. - Ереван: Айастан, 1986. - 232 с.

ГИУА

05.02.1997