

Ш.Э. САРКИСЯН, А.С. ПЕТРОСЯН, А.Н. КАЗАРЯН, Э.Г. АМБАРЦУМЯН

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ Fe-Mo-Cu

Дан анализ технологического исполнения экструзии порошковых композиционных материалов. Исследованию были подвергнуты три состава шихт для получения материалов конструкционного и антифрикционного назначения. Выявлены преимущества бинарных систем, позволяющие экструдировать при более низких давлениях и увеличить стойкость инструмента.

Ключевые слова: экструзия, конструкционный и антифрикционный материалы, бинарные системы, температурный градиент, пресс-изделие.

Технический прогресс сопровождается непрерывным повышением требований, предъявляемых к материалам деталей машин и конструкций, работающих в условиях граничного и сухого трения при тяжелых нагрузках. Улучшение их триботехнических характеристик возможно путем синтеза новых беспористых металлокерамических антифрикционных композиций, имеющих сложнелегированную матрицу, в которую введены дисперсные включения твердых смазок: сульфиды, теллуриды, селениды ряда металлов (например, MoS_2) [1-3]. Основой для матрицы чаще всего служит железный порошок марки ПЖ. Легирующими добавками могут быть металлы, образующие с железом твердые растворы, и интерметаллидные соединения, упрочняющие основу (Mo, Cu и др), присутствие которых значительно улучшает антифрикционные свойства композиции, особенно при работе в тяжелых условиях (как в режиме самосмазывания, так и граничного трения).

Влияние Mo-а проявляется в стабилизации структуры, восприимчивости к термической обработке, понижении износа и коэффициента трения.

Легирование медью, т.е. <Fe-Cu-Mo> или <Fe-Cu-C>, повышает несущую способность подшипников до $PV=7 \text{ МПа м/с}$, а также улучшает теплопроводность композиционного материала [3]. Отличительной особенностью сплавов является то, что в них реализованы оба механизма упрочнения: растворный Fe{Mo}, Fe{Cu} и интерметаллидный (FeMo, Fe₂Mo).

Принципиальная схема технологического процесса получения такого антифрикционного материала состоит из приготовления шихты, прессования с пористостью $\theta = 15...20 \%$, спекания с полной или частичной гомогенизацией матричной структуры и горячего компактирования до беспористого состояния. Возможно и последующее улучшение свойств термообработкой.

Компактирование чаще выполняют горячим или динамическим горячим прессованием, реже экструзией, хотя, на наш взгляд, именно она способна полностью реализовать заложенные в композиции триботехнические возможности, поскольку здесь уплотнение сопровождается высокими степенями пластических деформаций, способствующих лучшему свариванию несплошностей и улучшению структуры.

Экструзия, как технологический процесс, высокопроизводительна и рентабельна при производстве как больших, так и маленьких партий продукции, поскольку переналаживание на ее новый вид можно осуществлять с минимальными материальными затратами и не останавливая производство [4]. К тому же экструзией получают профили, максимально приближенные к размерам конечной продукции.

Из вышеизложенного вытекает, что изучение процесса получения металлокерамических композиционных материалов экструзией представляет не только научный, но и значительный практический интерес.

Подбор составов шихт обусловлен литературным анализом, а также результатами ранее выполненных работ. Учитывалось также, что в Республике Армения производятся медь и молибден. Нами выбраны следующие составы шихт (табл.1).

Таблица 1

N состава	Исходные составы порошковых композиций					
	Содержание компонентов, %					
	Cu	Mo	MoS ₂	S	C	Fe
1	2,0	10,0	-	-	-	остальное
2	2,0	5,0	2,0	-	0,5	-
3	2,0	5,0	-	0,8	-	-

Последующий технологический процесс выполнялся по двум схемам: в первом случае экструзия производилась без оболочки, во втором – в оболочке (рис.1) .

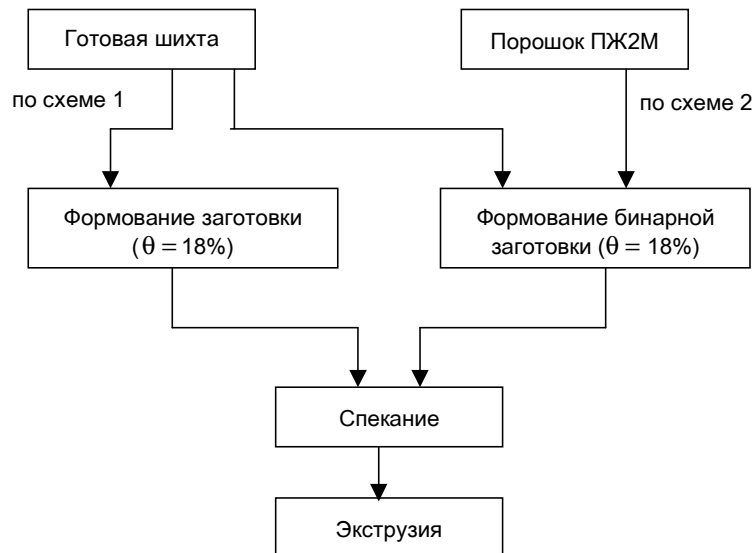


Рис.1. Технологические схемы получения экструдированного композиционного материала (пресс-изделий)

Заготовки для экструзии по схеме 1 (рис.2а) получались двусторонним прессованием шихтовых составов пористостью $\theta = 18\%$, а заготовки для экструзии по схеме

2 (рис. 2б) формовались в специально разработанной пресс-форме, обеспечивающей получение равнопористых (наружного - из ПЖ2М и внутреннего - из шихты) слоев путем совместного двустороннего прессования.

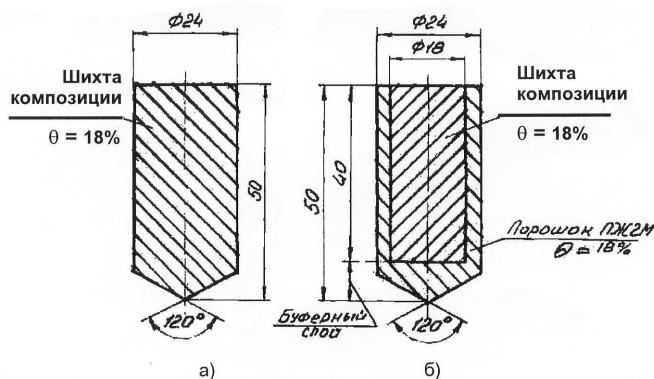


Рис. 2. Осевые сечения заготовок для экструзии: а - без оболочки, б - с оболочкой

Перед экструзией все образцы спекались при 1150 °С в среде водорода в течение двух часов. Температура контейнера 350...370 °С, рабочая скорость экструзии - около 4 мм/с, тип смазки - графито-масляный. Параметры экструзии приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры экструзии заготовок порошковых композиций

N соста- ва	Температура экструзии, °С	Кэффи- циент вы- тяжки, λ	Вид экструзии	Давление экструзии Р, МПа		Р _{Н2} / Р _{Н1}
				Р _Н	Р _К	
1	1150	4	По схеме 1	120	160	0,67
1	1150	4	По схеме 2	80	110	
2	1150	4	По схеме 1	130	150	0,54
2	1150	4	По схеме 2	70	100	
3	1150	4	По схеме 1	120	150	0,58
3	1150	4	По схеме 2	70	100	

Примечание: Р_Н и Р_К - давление в начале и в конце истечения; Р_{Н1} и Р_{Н2} - по схемам 1 и 2.

Типичный внешний вид пресс-изделия, полученного по схемам 1,2, показан на рис.3 а и б. Видны глубокие кольцевые поперечные трещины и надрывы на боковой и торцевой поверхностях, где наличные растягивающие напряжения превысили прочность материала (рис.3а). Кольцевые трещины сосредоточены в головной и средней частях пресс-изделия и отсутствуют в хвостовой части, что указывает на ослабление растягивающих напряжений в зоне деформирования к концу процесса выдавливания. На наш взгляд, такая картина получилась из-за малопластичности композиции и сильного подхоложивания поверхности заготовки во время ее переноса в контейнер и в процессе самой экструзии (этот процесс из-за малой скорости выдавливания длится 15...20 с). По экспериментальным

данным [4], подхолаживание поверхности стальной заготовки, нагретой до 1100°C , за время ее переноса в контейнер (7 с) достигает 70°C , а глубина слоя в заготовке, где еще наблюдается понижение температуры, достигает 15...20 мм. Исходя из этого, можно предположить, что заготовка диаметром $\varnothing 24$ мм будет охлаждаться по всей глубине (даже учитывая меньшую теплопроводность пористой заготовки), а разница температур наружных и внутренних слоев будет незначительная. Заготовка во время экструзии одновременно охлаждается с поверхности от контакта с более холодными стенками инструмента, причем сильнее при использовании графитовой смазки и слабее – стеклосмазок, и нагревается в зоне деформации за счет выделяемой от этого процесса теплоты. Стеклосмазка при высоких скоростях экструзии может компенсировать теплотери и даже несколько подогреть заготовку. При низких скоростях экструзии ее влияние незначительно. В условиях эксперимента на начальных стадиях экструзии масса заготовки такова, что в ней имеется значительная разница температур от поверхности к сердцевине, которая с уменьшением массы пресс-остатка уменьшается. В конечной стадии экструзии заготовка значительно охлаждена, что увеличивает давление истечения, создает более благоприятное напряженное состояние в матричной воронке, и дальнейшее выдавливание пресс-изделия происходит бездефектно (рис.3а) [5, 6].

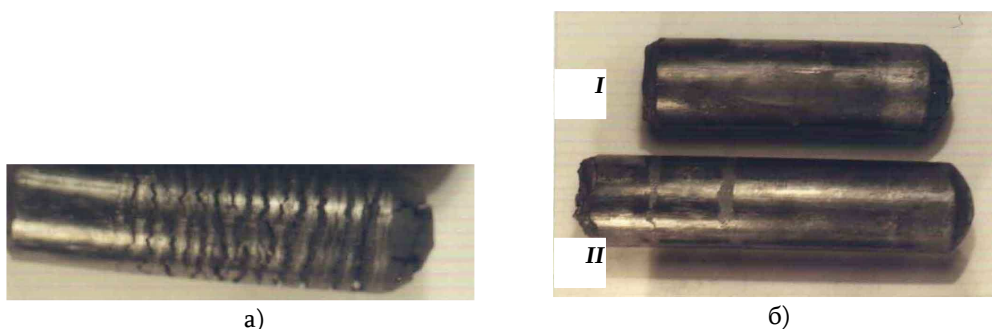


Рис. 3. Пресс- изделия, выдавленные: а - без оболочки (по схеме 1), $t = 1150^{\circ}\text{C}$, $\lambda=4$ по составу 1; б - в оболочке (по схеме 2) $t=1150^{\circ}\text{C}$, $\lambda=4$, оболочки – ПЖ2М, матрицы: I – состав 1, II – состав 2

На рис.3 б показан вид пресс-изделий, экструдированных по схеме 2 (в оболочке). Их боковая поверхность качественная. При выдавливании получается компактный “бездефектный” материал.

Сравнение силовых параметров (табл. 2) показывает, что давление экструзии (при идентичных условиях) в оболочке в 1,5...1,8 раза ниже, чем без оболочки. Оболочка в ряде случаев применялась при экструзии труднодеформируемых сплавов и активных металлов [3]. Принято, что прочностные и упругие свойства оболочки должны быть ниже, чем у матричного материала. В этом случае снижаются усилия выдавливания и повышается равномерность истечения [3, 7].

По С.И. Губкину [8], при экструзии по прямому методу обеспечиваются наиболее благоприятные условия истечения, если коэффициент трения металла о стенки контейнера весьма незначителен (0,03...0,05) и заготовка обладает однородными свойствами по сечению. Тогда зона деформации сосредотачивается вблизи матрицы, распространяясь в направлении

штемпеля на длину, равную или меньшую половины диаметра контейнера (первый вид распространения деформации), что подтверждается экспериментальными исследованиями деформаций при экструзии как различных компактных [4, 9], так и пористых [10] заготовок. При этом напряженное состояние выдавливаемого металла представляет трехосное сжатие, при котором бездефектно можно экструдировать как весьма пластичный, так и малопластичный материал.

В реальных условиях экструзии при высоких температурах наблюдается значительное подхлаживание наружных слоев заготовки о более холодный контейнер, причем подхлаживание сильнее, если смазка не теплозащитна, а материал имеет низкую теплопроводность. Усиление этих факторов приводит к распространению зоны деформации вглубь и увеличению ее неравномерности по сечению заготовки, (т.е. возникает второй или третий вид распределения деформаций [8]). Это, в свою очередь, приводит к появлению напряжений растяжения в поверхностных слоях деформируемого материала. Неравномерность деформаций и ухудшение напряженного состояния добавочно усиливаются при увеличении коэффициента трения металла о стенки контейнера. В случае экструзии пластичного материала растягивающие напряжения “поглощаются” пластическими деформациями и релаксационными явлениями, в случае малопластичного – образуют поверхностные трещины. Из сказанного вытекает, что в случае экструзии бинарных систем будут иметь место наиболее благоприятные условия истечения, если подхлаженный наружный слой (оболочка и более теплая менее пластичная матрица) получит во время экструзии примерно одинаковые свойства (предел текучести), и тогда возникнет первый (по С.И. Губкину) вид распространения деформаций. Этот факт необходимо учесть для бинарной системы, т.к. обеспечивается равномерность толщин слоев по всей длине пресс-изделия. При нарушении этого равенства и необеспечении малых коэффициентов трения металл – контейнер может возникнуть второй и даже третий вид распространения деформаций, при которых наличие пластичной оболочки, хотя и не позволит образование поверхностных дефектов, но и не обеспечит условие равномерности толщин слоев вдоль пресс-изделия.

В ряде случаев полученные изделия подвергают термической обработке с целью повышения их эксплуатационных характеристик. Механические свойства сплава $\langle \text{Fe-Mo-Cu} \rangle$ ($\sigma_{\text{в}} = 418 \text{ МПа}$, $\delta = 20\%$, $\text{HB} = 1190 \text{ МПа}$) обосновываются металлографическим анализом (рис.4 а и б). Установлено, что в системе $\langle \text{Fe-Mo-Cu} \rangle$ тройных соединений не образуется. Тройной твердый раствор на основе меди находится в равновесии с α , γ , ϵ и Мо. Здесь α и γ - твердые растворы на основе железа (микротвердостью 1800...2400 МПа), ϵ - двойные соединения системы Fe-Mo [FeMo , Fe_2Mo] (микротвердостью 7500...8000 МПа) [11].

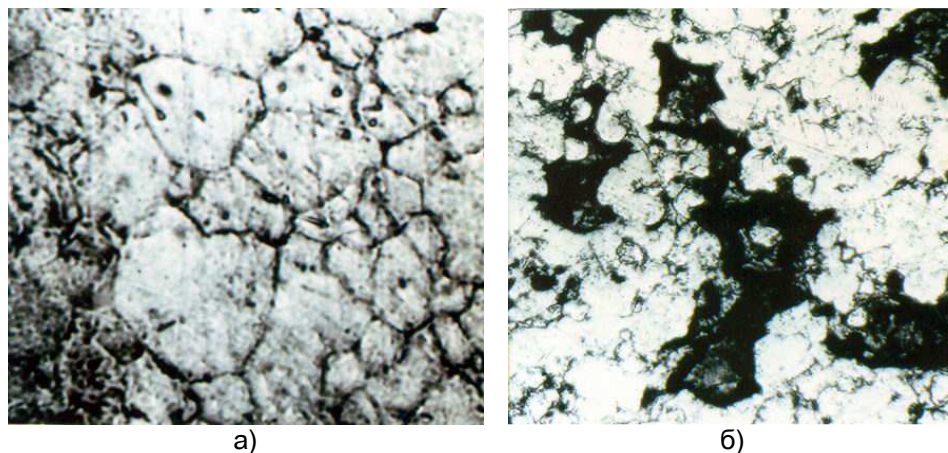


Рис.4. Композиционный материал: а - $\langle \text{Fe-5Mo} \rangle$; б - $\langle \text{Fe-5Mo-2Cu} \rangle$ после экструзии $T_{\text{э}} = 1150^\circ \text{C}$, $\tau = 2$ ч, $\lambda = 4$

Таким образом, на основании вышеизложенного можем прийти к следующим выводам.

1. Получены двухслойные профили, где внутренний рабочий слой представляет сравнительно дорогой, прочный и менее пластичный композиционный материал антифрикционного назначения, а наружный слой – дешевый и более пластичный (ПЖ2М) материал конструкционного назначения, что в целом снижает стоимость конечного изделия.
2. Снижаются усилия выдавливания примерно в 1,5...1,8 раза, что позволит экструдировать композиционный материал с более высокими степенями деформации.
3. Установлено, что более мягкий наружный слой заготовки позволяет увеличить стойкость инструмента.
4. Показано, что наличие мягкой оболочки позволяет проводить экструзии и при заметном общем охлаждении заготовки, т.е. при низких скоростях выдавливания. Это значит, что производство заготовок (труб) для антифрикционных подшипников скольжения можно осуществлять и на тихоходных гидравлических прессах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Федорченко И.М., Пугина Л.И.** Композиционные спеченные антифрикционные материалы. – Киев: Наукова думка, 1980. – 404 с.
2. **Алаян А.А., Касьян В.Л., Казарян А.Н.** и др. – В кн.: Порошковая металлургия на пороге 3000-летия. – Ереван: Тигран Мец, 2000. – С. 67-88.
3. **Манукян Н.В.** Технология порошковой металлургии. – Ереван: Айастан, 1986. – 234 с.
4. **Прозоров Л.В.** Прессование стали и тугоплавких сплавов. – М.: Машиностроение, 1969. – 206 с.
5. Процессы формоизменения металлов и сплавов / Отв. ред. **Н.В. Агеев**. – М.: Наука, 1971.
6. **Манукян Н.В., Петросян Г.Л., Петросян Х.Л., Агбальян С.Г.** Исследование процессов получения протяжного инструмента составной конструкции // Труды VIII Межд. конф. по порошковой металлургии. – Дрезден, 1981. – С. 71-81.
7. **Могучий Л.Н.** Влияние механических характеристик материалов на их совместное истечение при выдавливании (прессовании) // Пластическая деформация неярдовых металлических материалов: Сб. – М.: Наукова думка, 1976. – С. 35-41.
8. **Губкин С.И.** Теория обработки металлов давлением. – М.: Металлургиздат, 1947. – 315 с.
9. **Жолобов В.В., Зверев Г.И.** Прессование металлов. – М.: Металлургиздат, 1959. – 415 с.
10. **Саркисян Ш.Э.** Исследование процессов экструзии и разработка технологии получения беспористых металлокерамических материалов: Дис. ... канд. техн. наук. – Ереван, 1971. – 155 с.
11. **Dannohl W.** Wissenschaftliche Veroffentlichungen aus den Siemens – Werken. – 1938. – Т. 17, N 2. – С. 1-13.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 25.06.2003.

**Շ.Է. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Հ.Ս. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Ա.Ն. ԴԱԶԱՐՅԱՆ,
Է.Գ. ՀԱՄԲԱՐՏՈՒՄՅԱՆ
ԿՈՄՊՈԶԻՑԻՈՆ ՀԱՎԱՇՓԱԿԱՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ԱՐՏԱՄՂՈՒՄ**

Տրված է հակաշփական նշանակության փոշեկոմպոզիցիոն նյութերի արտամղման տեխնոլոգիական գործընթաց: Հետազոտվել են կոնստրուկցիոն և հակաշփական նշանակության երեք բովանդակություններ: Բացահայտված են երկմետաղական սիստեմների առավելությունները, որոնք թույլ են տալիս արտամղում իրագործել ավելի ցածր ճնշումներով և բարձրացնել գործիքի կայունությունը արդյունաբերական արտադրության ժամանակ:

**Sh.E. SARKISSYAN, H.S. PETROSYAN, A.N. KAZARYAN,
E.G. HAMBARTSUMYAN
TECHNOLOGY DEVELOPMENT FOR OBTAINING COMPOSITE MATERIAL BASED
ON Fe-Mo-Cu**

Technological construction analysis for powder material extrusion is given. For obtaining structural and antifriction properties three compositions of blend are studied. Binary systems permitting to extrude in lower pressures and increase the durability of the tool are revealed.