

УДК 621.762

Т.А. Епифанцева*Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины***ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВКЛЮЧЕНИЙ ЖЕСТКОЙ ФАЗЫ ВОЛЬФРАМОВОГО СПЛАВА В СОСТАВЕ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ МЕДИ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ НЕСПЕЧЕННЫХ ПОРОШКОВЫХ ОБЛИЦОВОК КУМУЛЯТИВНЫХ ЗАРЯДОВ**

Исследованы особенности микроструктуры неспеченных прессовок конусной формы гетерогенного состава на основе меди и включений вольфрамового сплава полученных по схеме уплотнения составным нижним пуансоном. Изучено влияние количества частиц вольфрамового сплава в составе порошковой композиции на основе меди на характер образования и распределения дефектов (пор и трещин) в структуре неспеченных прессовок конусной формы при толщине стенки 2мм. Установлены особенности структуры при содержании объемной доли включений 10%, 20%, 32%. Проведена оценка картины микроструктуры, что позволило выбрать оптимальный состав для формирования технологически прочных неспеченных порошковых облицовок гетерогенного состава на основе пластичной матрицы и твердых включений.

Ключевые слова: порошковые облицовки, структура гетерогенного состава.

Т.О. Єпифанцева**ВПЛИВ КІЛЬКОСТІ ВКЛЮЧЕНЬ ЖОСТКОЇ ФАЗИ ВОЛЬФРАМОВОГО СПЛАВУ У СКЛАДУ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ НА ОСНОВІ МІДІ НА ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ НЕСПЕЧЕНИХ ПОРОШКОВИХ ОБЛИЦЬОВОК КУМУЛЯТИВНИХ ЗАРЯДІВ**

Досліджено особливості микроструктури неспечених пресовок конусної форми гетерогенного складу на основі міді та включень вольфрамового сплаву отриманих за схемою ущільнення складовим нижнім пуансоном. Вивчено вплив кількості частинок вольфрамового сплаву в складі порошкової композиції на основі міді на характер освіти і розподілу дефектів (пор і тріщин) в структурі неспечених пресовок конусної форми при товщині стінки 2 мм. Встановлено особливості структури при утриманні об'ємної частки включень 10%, 20%, 32%. Проведено оцінку картини микроструктури, що дозволило вибрати оптимальний склад для формування технологічно міцних неспечених порошкових облицювань гетерогенного складу на основі пластичної матриці і твердих включень.

Ключові слова: порошкові облицювання, структура гетерогенного складу

T.A. Epifantseva**INFLUENCE OF QUANTITY OF INCLUSIONS OF HARD PHASE OF TUNGSTEN ALLOY IN COMPOSITION OF COPPER COMPOSITE MATERIAL FOR THE FORMATION OF STRUCTURE OF UNBEATED POWDER COATINGS OF CUMULATIVE CHARGES**

The features of the microstructure of unsintered compacts of a cone-shaped heterogeneous composition based on copper and inclusions of a tungsten alloy obtained by the compaction scheme with a composite lower punch are investigated. The influence of the amount of chalcites of a tungsten alloy in the composition of a copper-based powder composition on the character of the formation and distribution of defects (pores and cracks) in the structure of unsintered cone compacts at a wall thickness of 2 mm was studied. The structural features are determined for the content of the volume fraction of inclusions of 10%, 20%, 32%. The microstructure picture was evaluated, which allowed to choose the optimum composition for forming technologically strong unsintered powder coatings of heterogeneous composition on the basis of a plastic matrix and solid inclusions.

Key words: powder coatings, structure of heterogeneous composition.

Конструкционный материал (КМ) гетерогенного состава на основе меди нашел широкое применение как материал специального назначения. До недавнего времени в силу ряда специфических особенностей, например отсутствие взаиморастворимости компонентов смеси гетерогенного состава при комнатных температурах, большое число систем на основе меди и включений жестких компонентов было фактически вне практического рассмотрения [1]. Решением использования порошкового материала гетерогенного состава для формирования кумулятивной струи эффективного действия послужил опыт применения порошковых облицовок в кумулятивных зарядах малых габаритов используемых для перфорации скважин [2]. Применение порошковых материалов на основе пластичной матрицы и включений позволил создать кумулятивный заряд разного назначения с заданными параметрами проникновения по диаметру и глубине пробития стальных преград. Основная особенность облицовок из порошковой системы гетерогенного состава заключается в создании кумулятивной струи из смеси компонентов с большой разницей удельных масс и точек плавления. Присутствие в кумулятивной порошковой струе частиц разного удельного веса приводит к перераспределению градиента скоростей как в

процессе ее формирования так и при растяжении. Анализ применения порошковых облицовок из композиционных материалов (КМ) на основе меди показал, что порошковая композиция Cu-Pb-C успешно используется для перфорации нефтяных и газовых скважин [3]. На практике для перфорации скважин используются кумулятивные заряды с порошковой облицовкой Cu-Pb-C, которые обеспечивают отсутствие песта в пробитых каналах и увеличение глубины пробития, по сравнению с облицовками штампованного литого материала, рис. 1,2.



Рис. 1. - Облицовка кумулятивного заряда: а - штампованная листовая медь. б - порошковый композиционный материал на основе меди Cu-Pb-C.

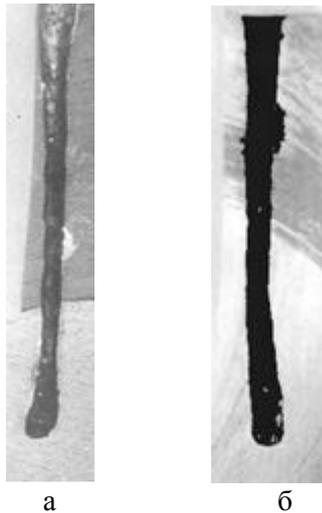


Рис. 2. - Канал образованный в комбинированной мишени при пробитии кумулятивным зарядом: а- штампованная облицовка из листовой меди; б - порошковая облицовка

Наличие низкой плотности порошкового материала облицовок гетерогенного состава Cu-Pb-C ($\theta = 10\%$ пор, рис.1, б), полученных методом холодного прессования, в сравнение с литым материалом (листовая медь рис.1,а), предопределяет особые требования к распределению включений в структуре материала [4].

Несмотря на многолетний опыт использования порошковых облицовок состава Cu-Pb-C, исследования по управлению свойствами материала вдоль образующей конуса и распределением жесткой фазы в объеме изделий продолжают [5]. Выполнение задачи повышение параметров пробития кумулятивных зарядов (диаметр и глубина входного отверстия) может быть достигнуто за счет использования порошковых облицовок с уникальной структурой. Интересным решением представляет вопрос повышения энергетического запаса материала струи способного повысить эффективность действия кумулятивного заряда за счет формирования уникальной структуры материала облицовок. Создание порошковых облицовок с заданным распределением частиц включений и плотности вдоль образующей конуса, при толщине стенки 2 мм из КМ на основе меди и включений вольфрамового сплава, предreshает поиск технологических возможностей выполнения поставленной задачи. Решение поставленной задачи возможно путем выбора оптимальной схемы уплотнения [6].

Создание изделий с заданным распределением плотности и жестких включений по толщине образующей связано не только с выбором оптимальной схемы прессования, но и с установлением оптимального количества частиц жесткого компонента в смеси для изготовления технологически прочных изделий.

В настоящей работе исследовалось влияние содержания количества жесткого компонента вольфрамового сплава и варианта схемы консолидации гетерогенного материала методом холодного прессования изделий конусной формы на формирование микроструктуры. Работа направлена на создание технологически прочных прессовок с разным распределением плотности по ширине образующей тонкостенного конуса. Сложность решаемой проблемы обусловлена присутствием жестких частиц ($W_{\text{спл.}}$) в составе порошкового композиционного материала на основе меди, что усложняет задачу формирования структуры прессовок [7].

К порошковым неспеченым облицовкам предъявляется требование технологической прочности, следовательно, при прессовании тонкостенного конуса необходимо консолидировать смесь высокой степени уплотнения матрицы. При этом необходимо решать задачи обеспечения не только разного распределения плотности по ширине образующей, но и заданного распределения включений в объеме матрицы прессовки вдоль образующей конуса, что может быть достигнуто, как показано ранее, путем использования схемы прессования составными пуансонами [8,9].

Цель настоящей работы - исследовать особенность структуры порошковых облицовок от количества включений жесткой фазы вольфрамового сплава в составе гетерогенного материала на основе меди.

Предметом исследований данной работы явилось выявление закономерности формирования микроструктуры неспеченных прессовок конусной тонкостенной формы, которые получены путем консолидации порошковой гетерогенной смеси на основе пластичной матрицы и жестких включений вольфрамового сплава. Применение схем консолидации порошковой смеси составным пуансоном вызвано необходимостью оптимизации технологии изготовления конусных изделий с заданным распределением плотности и свойств по ширине образующей.

Особенность исследований заключается в сопоставлении анализа экспериментальных данных картины микроструктуры с показателем плотности и распределением частиц твердых включений в объеме прессовки, как вдоль, так и по ширине образующей тонкостенного конуса. Создание порошковых облицовок разной плотности по толщине образующей позволит выявить местоположение частиц в струе под действием детонационных сил при ее формировании, растяжения и проникновении в преграду.

Изучив качественную картину микроструктуры неспеченных прессовок гетерогенного состава на основе пластичной матрицы и включений, нами выбрано основополагающее положение формирования изделий конусной формы с заданным распределением плотности по толщине образующей. Полученный результат позволит регулировать конечные свойства материала прессовок за счет использования пресс-формы с составным пуансоном. Регулирование структурой холоднопрессованного материала возможно путем изменения объема и направления давления прессования относительно основания конуса [10].

Таким образом, решение поставленной задачи может быть достигнуто за счет выбора оптимальной схемы формирования и количества жестких включений на основе результатов экспериментальных исследований микроструктуры изделий конусной формы, которая определена особенностями свойств компонентов гетерогенной смеси.

Объект и методы исследований

Порошковая смесь была приготовлена методом механического смешивания компонентов согласно весовой пропорции Cu-20 % (масс.) $W_{\text{спл.}}$, Cu-38 % (масс.) $W_{\text{спл.}}$, Cu-50 % (масс.) $W_{\text{спл.}}$. Исходные компоненты смеси: электролитический порошок меди марки ПМС-1 (пикнометрическая плотность частиц $\rho = 8,96 \text{ г/см}^3$), частицы которого имели форму дендритов размером - 40 мкм (ГОСТ 4960—75), и порошок вольфрамового сплава W-7Ni-3Fe со средним размером частиц 28 мкм ($\rho = 17,15 \text{ г/см}^3$). Тяжелый сплав на основе вольфрама (W-7% Ni-3%Fe), получаемый методом совместного восстановления механически смешанных кислородсодержащих компонентов, хорошо изучен [11]. Размер частиц вольфрамового сплава (W-7Ni-3Fe) 30 мкм, $\rho = 17,15 \text{ г/см}^3$, содержание кислорода 1,98, удельная поверхность материала, $S_{\text{уд}} = 0,108 \text{ м}^2/\text{г}$. Из исходных компонентов методом механического перемешивания готовили гетерогенную смесь состава 1-3.

Расчетная плотность смеси: состава 1 Cu-20 % (масс.) $W_{\text{спл.}} \gamma_1 = 9,91 \text{ г/см}^3$. состава 2 Cu-38 % (масс.) $W_{\text{спл.}} \gamma_2 = 10 \text{ г/см}^3$, состава 3 Cu-50 % (масс.) $W_{\text{спл.}} \gamma_1 = 11,7 \text{ г/см}^3$. Геометрия порошковых облицовок соответствовала размерам чертежа заряда ЗПІ- 67. Облицовки для кумулятивного заряда ЗПІ 67-150 изготавливали по технологической схеме: приготовление смеси, объемная засыпка, прессование составным пуансоном (схема рис.2). Средняя масса порошковой облицовки была подобрана экспериментально по объему засыпки: состав 1-24г, состав 2 – 26г, состав 3- 29г. Давление прессования 600 МПа (рис.2 а, б). Металлографические исследования проводились на холоднопрессованных образцах, относительная плотность в среднем 0,86. Облицовки состава 1,2,3 изготовлены по одной схеме прессования.

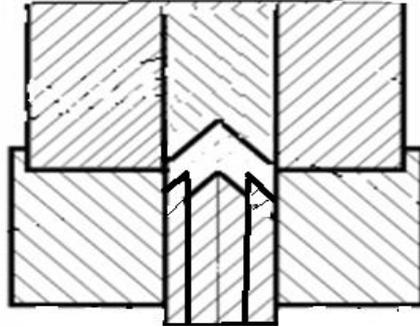


Рис.3. - Схема прессования порошковых облицовок составным нижним пуансоном

При проведении исследования использовали экспериментальные методы: оптическую и сканирующую электронную микроскопию, рентгеноспектральный и спектральный химические анализы. Анализ микроструктуры неспеченных прессовок конусной формы проведен с помощью растрового микроскопа "Superprobe-733". Встроенная в этот прибор приставка для рентгеновского анализа позволила проследить за распределением элементов на макро- и микроуровнях. Структуру неспеченных прессовок изучали с поверхности излома, как по ширине, так и вдоль всей длины образующей конуса.

Результаты экспериментов

Анализ поверхности излома материала порошковых облицовок показал особенность формирования структуры материала, распределение пор и расположение частиц включений вольфрамового сплава в зависимости от их содержания в смеси. Основной особенностью порошковых облицовок гетерогенного состава является различное содержание частиц включений и расслоенных трещин в структуре КМ. При изучении фрактограмм установлено различие микроструктуры материала прессовок каждого состава в объеме внутренней и наружной сторон образующей конуса.

При уплотнении гетерогенной смеси состава 1-3 происходит перераспределение включений $W_{\text{спл.}}$ по объему. Картина микроструктуры прессовки состава 1 имеет особенность наличие частиц включений вольфрамового сплава в большем количестве в объеме материала с внутренней стороны конуса. В вершине конуса наблюдается их малое количество. Причиной такого размещения частиц включений $W_{\text{спл.}}$ является наличие малого угла наклона в вершине конуса – $\alpha = 60^\circ$ и большая разница удельного веса компонентов. Объем прессовки в вершине конуса $R = 1 \text{ мм}$ составляют частицы меди, которые формируют матрицу прессовки. Образование крупных агломератов частиц включений $W_{\text{спл.}}$ обнаружено в объеме конуса по диаметру составной части пуансона и у основания, рис.3.

Причиной повышенного содержания частиц включений ($W_{\text{спл.}}$) в нижней части объема образующей конуса, является высокое значение удельной массы материала вольфрамового сплава и низкий уровень касательных напряжений между гетерогенными частицами смеси, и как следствие отсутствие достаточной степени сдвиговых деформаций способствующих перемещению частиц. Отсутствие перемещений жестких частиц ($W_{\text{спл.}}$) в горизонтальном направлении обусловлено наличием высокой степени зацепления между дендритными частицами меди, составляющими матрицу прессовки. Агломераты частиц $W_{\text{спл.}}$ могут образовываться как при механическом смешивании компонентов смеси и в процессе заполнения пресс-формы, так и при консолидации порошкового материала при малых сдвиговых деформациях. Причиной образования повышенной пористости в материале облицовок состава 1 может так же быть истирание окисной пленки с поверхности частиц меди при приложении деформаций под

давлением. Ввиду различной плотности порошковых материалов компонентов ($\text{Cu } \rho = 8,96 \text{ г/см}^3$ и $W_{\text{спл}} \rho = 17,7 \text{ г/см}^3$) и формы частиц меди (дендритная) и вольфрамового сплава (неправильной округлой формы), считаем, что в процессе засыпки в пресс-форму частицы $W_{\text{спл}}$ могут под действием сил Ван-Дервальса образовывать скопления, которые при консолидации повышают накопленную деформацию материала прессовки. Данным положением можно объяснить образование и локальное распределение агломератов включений, которое установлено со стороны внутренней поверхности образующей конуса (рис. 4).

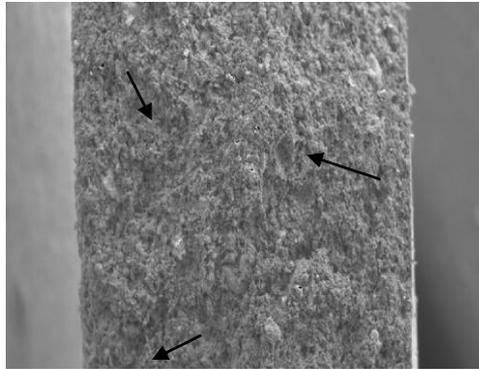


Рис. 4. - Фрактограмма фрагмента неспеченной порошковой облицовки состава 1, РЭМ. – $\times 1000$, общий вид излома, локальное распределение агломератов; присутствие трещин в поперечном сечении по толщине образующей конуса

Микроструктура состава 1, характеризуется наличием локального распределения агломератов включений с внутренней стороны конуса, трещин по всему объему материала, присутствие пустых пор малого размера. При этом поверхность прессовки характеризуется присутствием трещин в разном направлении, что заметно может повлиять на эксплуатационные свойства порошковых облицовок. Особенность деформации и образования трещин в объеме материала порошковой облицовки на основе медной матрицы свидетельствует об определенной роли количества частиц включений в составе гетерогенной смеси. Образование границы контакта механического происхождения между частицами $W_{\text{спл}}$ и Cu подтверждает отсутствие между ними физико - химического взаимодействия (рис.4).

Наличие трещин по всему объему образующей облицовки состава 1 свидетельствуют о разуплотнении материала под действием упругих сил. Установлено, что присутствие большого количества включений $W_{\text{спл}}$ в составе смеси, при высоких нагрузках, приводит к формированию высокопористой структуры, за счет роста накопленной деформации частиц меди. при образовании каркаса материала изделия. Уменьшение значения пористости материала облицовок состава 3 (менее 23% пор) путем приложения усилия прессования (большого чем 600 Мпа) приводит к разрушению изделия.

Общий вид микрофрактограмм позволил выявить закономерность влияние содержание частиц включений жесткой фазы на прочностные свойства прессованных облицовок. Локальное расположение конгломератов частиц вольфрамового сплава наблюдается в основном с наружной поверхности образующей со стороны приложения усилий формования. Фрактограммы прессовок состава 1-3 характеризуются наличием глубоких пор и расположением частиц вольфрамового сплава без образования физического контакта, рис. 4,5. При изучении ряда микрофрактограмм пористой структуры по толщине облицовки вдоль образующей установлен неравномерный характер распределения частиц вольфрамового сплава. Концентрация пор в структуре гетерогенного материала прессованной облицовки состава 2 наблюдается по всему объему, что свидетельствует о прохождении процесса изменения формы медных частиц с образованием металлического контакта и процесса закрепления частиц включений в матрице на ранней стадии консолидации. В связи с большей разницей величин плотности гетерогенных порошков вольфрамового сплава и меди ($\gamma_w = 17,15 \text{ г/см}^3$ и $\gamma_{\text{Cu}} = 8,96 \text{ г/см}^3$) уровень наклонной деформации в материале облицовки определяется действием касательных и тангенциальных сил как при формовании матрицы изделия, так и при закреплении в ее пространстве частиц включений. При этом в процессе объемной засыпки смеси в прессформу, частицы вольфрамового сплава подвержены перераспределению, что приводит к увеличению их содержания с внутренней

стороны образующей конуса (состав 1) и относительно равномерному расположению в объеме матрицы (состав 2). Присутствие пустых пор в материале прессовки со стороны приложения усилия и рост их плотности по толщине образующей к внутренней стороне (состав 3), свидетельствует о влиянии количества и величины удельной плотности материала включений на характер структуры порошковой прессованной облицовки.

Уменьшение плотности пор и конгломератов вольфрамового сплава в материале облицовки состава 2 можно объяснить созданием максимально плотной структуры при нагрузке позволяющей создать технологически прочный каркас прессовки. Наличие трещин на поверхности образующей облицовки состава 3 свидетельствует о прохождении процесса разуплотнения материала под действием упругих напряжений. Экспериментально установлено, что максимальная относительная плотность неспеченных холоднопрессованных облицовок составляет: состава 1 $\rho = 76 \text{ г/см}^2$, состава 2 $\rho = 74 \text{ г/см}^2$, состава 3 $\rho = 70 \text{ г/см}^2$. Дальнейшее увеличение усилия прессования приводит к разрушению облицовок. Следовательно, содержание оптимального количества включений жесткой фазы вольфрамового сплава в составе КМ порошковой облицовки предопределяет не только плотность материала, но и характер распределения жестких включений по ширине образующей. На микрофрактограммах поверхности излома состава 3 со стороны приложения усилия прессования (наружная сторона образующей облицовки) присутствуют конгломераты частиц тяжелого сплава, рис. 5. По середине толщины образующей в материале облицовки присутствуют поры и в малом количестве конгломераты частиц вольфрамового сплава. При максимальном уплотнении на внутренней стороне образующей облицовки состава 3 просматриваются поры и трещины, что можно объяснить ускоренным во времени прохождением этапа формирования каркаса матрицы прессовки. Консолидация порошкового материала при участии тангенциальных сил привела к образованию сектора плоскостей из медных частиц в направлении приложения нагрузки (рис.5).

Исходя из анализа фрактограмм видно, что для изделий состава 2 содержащего 38мас% жестких частиц сплава (W –7%Ni – 3%Fe) характерна наиболее равномерное их закрепление в объеме прессовки по ширине образующей.

Анализ картин фрактограмм состава 1-3 показал, что использование схемы прессования нижним составным пуансоном позволяет создавать облицовки с разным распределением плотности материала матрицы и включений по ширине образующей. Поверхность разрушения материала состава 1 и 2 с внутренней стороны образующей конуса, характеризуется присутствием не только большего количества пустых пор малого размера, но и наличие агломератов $W_{\text{спл}}$. Для состава 2 микроструктура поверхности разрушения имеет особенность присутствие разного количества включений $W_{\text{спл}}$, по толщине образующей что является следствием высокой степени уплотнения медных частиц на первой стадии консолидации и образования зоны контактов, которая препятствует проскальзыванию частиц $W_{\text{спл}}$ при консолидации. Металлографические исследования позволили выявить не только расположение частиц $W_{\text{спл}}$ в межчастичном медном пространстве, но фиксировать отсутствие образования металлического контакта между частицами $CU - W_{\text{спл}}$, что является выражением действия исходных физико-химических свойств компонентов смеси на процесс формирования структуры материала облицовки. В ходе исследований установлено, что особенностью структуры материала облицовки состава 1 -3, является наличие разной степени дефектов в объеме материала образующей конуса: трещин в матрице CU и агломератов $W_{\text{спл}}$.

По данным фрактограмм установлена особенность макроструктуры порошковой облицовки, которая характеризуется локальным расположением пор, частиц $W_{\text{спл}}$ и трещин. В структуре облицовки состав 1-3 заметно присутствие достаточно большого количества трещин с наружной поверхности образующей конуса, что является результатом упругого последствия и присутствие высокой степени накопленной деформации порошковой системы. При исследовании структуры материала по ширине образующей конуса установлено, что частицы $W_{\text{спл}}$ распределены неравномерно, с тенденцией увеличения их содержания к внутренней поверхности конуса.

Структура поверхности излома порошковой облицовки состава 2 представлена на рис. 5. Установлено, что со стороны наружной поверхности конуса наблюдается равномерное распределение частиц включений по всему объему, как по длине, так и по ширине образующей. Вся поверхность излома характеризуется равномерным распределением мелких пор. В объеме материала состава 2 у основания конуса крупные трещины не обнаружены. С наружной стороны поверхности облицовки состава 2 заметно присутствие мелких трещин. Наблюдается присутствие

сегрегированных слоев, состоящих из частиц меди и включений, которые выступают как зоны концентратора напряжений.

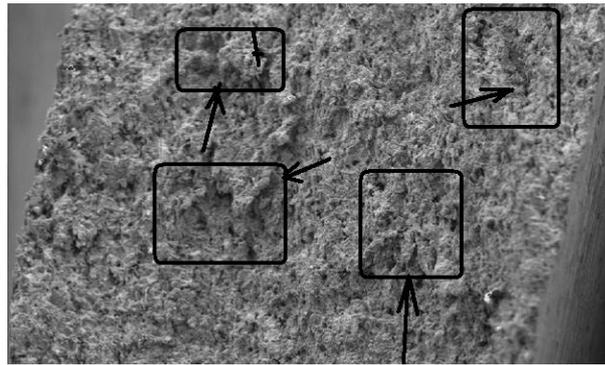


Рис.5. - Микрофрактограмма порошковой облицовки основе меди и включений $W_{\text{спл}} = 38\%$ (масс.), прессованных составным пуансоном РЭМ, $\times 1000$, присутствие крупных трещин на поверхности излома и наличие плоскости сцеплений частиц меди вдоль толщины образующей конуса

Следовательно, при создании облицовок методом холодного прессования, в процессе консолидации гетерогенного порошкового материала, где в состав смеси (состав 2) входят частицы высокой твердости и прочности ($W_{\text{спл}}$), можно достичь плотной структуры с заданным распределением включений по ширине образующей.

Обнаружено, что при создании порошковых облицовок на основе пластичной матрицы и включений $W_{\text{спл}}$ по схеме составного пуансона, по причине наличие дендритной формы частиц у медного порошка, уже на начальной стадии уплотнения происходит образование каркаса матрицы прессовки и закрепление частиц $W_{\text{спл}}$ в межчастичном медном пространстве. В дальнейшем проскальзывание частиц компонентов затруднено, что и является причиной образования структуры с разным по объему распределением включений и пор. Такое изначальное закрепление частиц W в медной матрице является причиной их неравномерной концентрации в сторону увеличения с внутренней стороны поверхности образующей, состав 1. Использование схемы составного пуансона позволяет получать порошковые облицовки с наличием заданного распределения частиц W по толщине тонкостенного конуса.

Таким образом, анализ поверхности излома порошковых облицовок гетерогенного состава на основе пластичной матрицы и включений, полученных по схеме составного пуансона, показал возможность получения изделий с послойным распределением плотности и частиц включений по ширине образующей конуса за счет контроля количества включений жесткой фазы.

Исследования поверхности излома материала облицовок позволили установить особенности формирования структуры тонкостенного конуса из гетерогенного материала на основе меди и включений $W_{\text{спл}}$ по схеме консолидации составным пуансоном. Изучение фрактограмм выявило роль количества твердых включений в смеси на особенности образования дефектов (пор и трещин) в структуре материала прессовки. Установлена зависимость структуры порошковых облицовок по ширине образующей конуса от количества включений жесткой фазы в составе гетерогенного материала. Наличие дефектов (пор, трещин, сектора сцеплений частиц меди) в структуре неспеченного материала порошковой облицовки гетерогенного состава находится в прямой зависимости от схемы консолидации [9]. За счет подбора объема засыпки порошка в прессформу по зонам соответствующим выставлению составного пуансона можно получать порошковые облицовки разной структуры и количеством включений в вершине, по середине и у основания образующей облицовки.

Частицы вольфрамового сплава являясь концентратором напряжений находятся в межчастичном медном пространстве. Наличие слоя сцепленных между собой медных частиц можно объяснить прохождением процесса высокой степени зацепления на начальной стадии формирования. Рассматривая структурные микрообъемы пористого холоднопрессованного изделия из гетерогенного композиционного материала с различным процентно - весовым соотношением элементов в составе порошковой шихты, где основным элементом является медь, нами

установлена характерная зависимость между распределением элементов и их ролью в определении прочностных характеристик изделия.

Выводы

Исследования фрактограм поверхности излома пористых изделий показали наличие закономерности в формировании структурных параметров изделий на медной основе. Изучение поверхности излома позволило установить наличие различного размера пор и ручьистых трещин, образованных в результате наслаиваемости целых объемов предварительно сцепленных между собой медных частиц.

Проведены исследования по влиянию количества включений тяжелой фазы вольфрамового сплава в составе гетерогенного материала на основе меди при формировании. Изучены особенности структуры порошковой облицовки гетерогенного состава на основе меди в зависимости количества включений вольфрамового сплава.

Установлена картина наличие дефектов в структуре неспеченных порошковых облицовок по ширине образующей тонкостенного конуса, что явилось результатом горизонтального течения материала под действием касательных напряжений.

Изучено влияние направления действия сил трения и объема зоны засыпки составного пуансона на особенности структуры порошковой облицовки. Экспериментально установлено локальное распределение частиц включений Wspl по всему объему конуса.

Показано, что использование составных пуансонов и поочередное уплотнение объема материала позволяют получать структуру облицовок с заданным распределением пор и частиц включений по толщине.

Установлена связь между количеством включений Wspl и характеристикой структуры порошкового материала вдоль образующей тонкостенного конуса (наличие пор, трещин, распределение включений).

Проведенные исследования позволили рекомендовать ряд технологических решений для получения порошковых облицовок способных повысить эксплуатационные свойства кумулятивных зарядов.

Список использованных источников:

1. Новые материалы Колл.авторов. Под научной редакцией Ю.С.Карабасова.-М: МИСИС .-2002 -736с. (207 с-)
2. Епифанцева Т.А.,Сердюк Г.Г., Державец Л.И. Применение порошкового материала для нефтяных и газовых скважин. //Порошковая металлургия.-1990.-№4.-с.38 -42
3. Епифанцева Т.А., Державец Л.И.Кудина Т.И.Состав для облицовки кумулятивного заряда.А.с.1.552 762 СССР, МКИ³ В 63 В 43/02 , Оpubл.28.11.89 3-52
4. Епифанцева Т.А. Экспериментальный и теоретический анализ распределения плотности порошкового гетерогенного материала в прессовках конусной формы Наукові нотатки. Зб.наук.ст..ЛДТУ, Вип. 17 , Луцьк, ЛДТУ, 2009. с.141-162.
5. Епифанцева Т.А.,Сердюк Г.Г. Державец Л.И. Влияние структурных характеристик порошкового материала облицовки на эффективность их использования. Сб.Порошковая металлургия. Киев: Мин. Маш. 1989.-С.53-56.
6. Радомысельский И.Д., Печенковский Е.Л., Сердюк Г.Г. Пресс – формы дя порошковой металлургии. Расчет и конструирование. – К.: Техника, 1970. – 172 с.
7. Епифанцева Т.А., Подрезов Ю.Н., Д. Г Вербилло, В.Г.Каюк, И.Д Мартюхин, Г.Г Сердюк Влияние жесткого компонента из вольфрамового сплава на процесс формования смесей на основе медного порошка и свойства гетерогенных неспеченных прессовок //Порошковая металлургия, 2006 .- №11/12, с.43-50
8. Епифанцева Т.А., Мартюхин И.Д., Михайлов О.В., Сердюк Г.Г.Влияние схемы уплотнения на распределение свойств материала облицовок кумулятивных зарядов при их формировании из гетерогенной порошковой композиции//Порошковая металлургия.- 2000.- N 11/12 .- с. 21-27.
9. Епифанцева Т.А., Михайлов О.В., Мартюхин И.Д.Исследование влияния схемы уплотнения на конечные свойства порошкового материала облицовок кумулятивных зарядов Сб. Новочеркасск государственный Южно – Российский технический университет (НПИ),2000г. , с.189-194
- 10.Епифанцева Т.А. Экспериментальный и теоретический анализ распределения плотности порошкового гетерогенного материала в прессовках конусной формы. Наукові нотатки. Зб.наук.ст..ЛДТУ, Вип. 16 , Луцьк, ЛДТУ, 2007. с.179-189.
11. Баженова Л.Г. Исследование структуры и физико-механических свойств сплавов системы W- Ni-Fe/ автореферат кандидатской диссертации. Киев. 1982.

Стаття надійшла до редакції 12.02.2017