

УДК 621.762

Т.А.Епифанцева

Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины

ВЛИЯНИЕ СХЕМЫ УПЛОТНЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ ГЕТЕРОГЕННОГО СОСТАВА НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ НЕСПЕЧЕННЫХ ПРЕССОВОК КОНУСНОЙ ФОРМ

Исследованы особенности микроструктуры неспеченных прессовок конусной формы гетерогенного состава на основе меди и включений свинца и графита полученных по двум схемам уплотнения (сплошным и разрезным нижним пуансоном). Изучено влияние схемы холодного прессования изделий конусной формы (толщина стенки образующей менее 1/10 d) на характер образования и распределения дефектов (пор и трещин) в структуре неспеченных прессовок конусной формы. Установлены особенности структуры при уплотнении сплошным и разрезным пуансоном. Проведена оценка картины микроструктуры, что позволило выбрать оптимальную схему формования технологически прочных неспеченных порошковых изделий конусной формы гетерогенного состава на основе пластичной матрицы и твердых включений

Конструкционный материал (КМ) на основе меди и включений (Pb, C, W) нашел широкое применение как материал специального назначения. Теоретический анализ, выполненный специалистами НАСА в начале 60-х годов, показал, что существует особый тип систем компонентов, который был назван «системы несмешивающихся компонентов». Однако до недавнего времени в силу ряда специфических особенностей большое число этих систем было фактически вне практического рассмотрения, хотя только двойных систем несмешивающихся компонентов насчитывается более 500 [1]. Анализ литературных данных показал, что для производства изделий из сплавов несмешивающихся компонентов без ограничений по химическому составу, количеству, с контролируемой и воспроизводимой структурой требуется трудоемкая технология. Альтернативным решением может быть применение порошковых материалов, что позволит создать изделия любой сложности и состава компонентов. Основная особенность таких систем заключается в создании порошковых изделий из смеси компонентов с большой разницей удельных масс и точек плавления. Анализ применения порошковых композиционных материалов (КМ) на основе меди показал, что порошковая композиция Cu-Pb-C успешно используется как прессовки конусной формы для перфорации нефтяных и газовых скважин рис.1 [2-4].



Рис.1. Порошковый тонкостенный конус, полученный холодным методом прессования

Несмотря на многолетний опыт использования порошкового материала состава Cu-Pb-C, исследования по управлению свойствами материала, его составом, распределением тугоплавкой составляющей в объеме изделий продолжают [5,6]. Создание порошковых изделий сложной формы, например, таких как тонкостенный конус, где толщина образующей 1-5 мм, из КМ гетерогенного состава на основе меди и включений, обуславливают поиск технологических возможностей создания изделий с заданным распределением плотности и включений по объему. Одним из путей решения поставленной задачи является выбор оптимальной схемы уплотнения [5].

В настоящей работе исследовалось влияние варианта схемы консолидации гетерогенного материала методом холодного прессования изделий конусной формы на формирование микроструктуры. Работа направлена на создание технологически прочных прессовок с равномерным распределением плотности по образующей тонкостенного конуса. Сложность решаемой проблемы обусловлена присутствием твердых частиц (Pb и C) в составе порошкового материала, что усложняет задачу формирования структуры прессовок с равномерным распределением пор и включений.

К порошковым неспеченным изделиям предъявляется требование технологической прочности, следовательно, при прессовании тонкостенного конуса необходимо консолидировать порошок высокой степени уплотнения. При этом необходимо решать задачи обеспечения не только равномерного распределения плотности вдоль образующей, но и заданного распределения включений в объеме матрицы прессовки, что может быть достигнуто, как показано ранее, путем использования схемы прессования разрезными пуансонами [6- 8].

Цель настоящей работы - сравнительное исследование микроструктуры неспеченных прессовок конусной формы, изготовленных согласно двум схемам уплотнения (сплошным или разрезным пуансоном). Применение разных схем консолидации порошковой смеси (сплошным или разрезным пуансоном), вызвано необходимостью оптимизации технологии изготовления конусных изделий с заданным распределением свойств по образующей.

Предметом исследований данной работы явилось выявление общей закономерности формирования микроструктуры неспеченных прессовок конусной формы полученных путем консолидации порошковой гетерогенной смеси сплошным или разрезным пуансонами.

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. Такой подход позволит выявить общее направление поведения материала при высоких детонационных нагрузках в процессе его эксплуатации.

Изучив качественную картину микроструктуры неспеченных прессовок гетерогенного состава на основе пластичной матрицы (меди), нами выбрано основополагающее положение формирования изделий конусной формы. Полученный результат позволит варьировать конечными свойствами материала прессовок за счет использования пресс-формы с составным пуансоном при учете направления приложения давления прессования со стороны зоны уплотнения порошка формирующего основание конуса [8].

Таким образом, решение поставленной задачи может быть достигнуто за счет выбора оптимальной схемы формирования на основе результатов экспериментальных исследований микроструктуры образцов, которая определена особенностями свойств компонентов гетерогенной смеси.

Объект и методы исследований

Порошковая смесь была приготовлена методом механического смешивания компонентов согласно весовой пропорции Cu-18 % (масс.) Pb-2% (масс.) C. 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 свинца ПС1, со средним размером частиц 50 мкм ($\rho = 13,3 \text{ г/см}^3$), графит – стандартный порошок марки С1 ОСТ 6-08-431-75. Расчетная плотность смеси $8,97 \text{ г/см}^3$. Смесь уплотняли по двум схемам: сплошным и разрезным пуансоном (состоящим из двух частей), давление 800 МПа (рис.2 а, б). Металлографические исследования проводились на не спеченных образцах, относительная плотность 0,86.

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 неспеченных прессовок тонкостенного конуса, полученного при максимальном уплотнении, показал особенность формирования структуры материала,

распределение пор и расположение элементов смеси в зависимости от схемы прессования. Основной особенностью образцов, отмечаемой при изучении их методом оптической микроскопии, является различное содержание частиц включений (Pb и Cu) и расщепленных трещин в структуре КМ. Особое различие микроструктуры заметно при сравнении внутренней и наружной поверхностей конуса, в зависимости от схемы консолидации порошкового материала (рис.2 а, б).

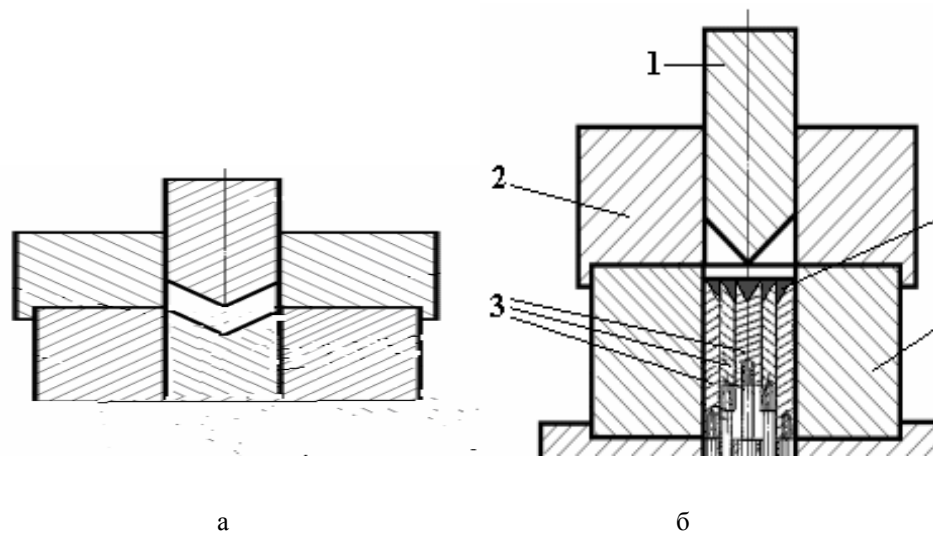


Рис.2. Схемы прессования тонкостенного конуса сплошным и составным нижним пуансоном: а - сплошной пуансон; б - составной пуансон: 1 – верхний пуансон, 2 – обойма, 3 – части пуансона

При уплотнении гетерогенной смеси сплошным пуансоном происходит перераспределение включений свинца в зону вершины конуса и формирование крупных агломератов частиц, рис.2. Причиной повышенного содержания частиц включений (Pb и Cu) в вершине тонкостенного конуса, является низкий уровень касательных напряжений, и как следствие отсутствие достаточной степени сдвиговых деформаций способствующих перемещению частиц. Отсутствие перемещений частиц включений в касательном направлении обусловлено наличием высокой степени зацепления между дендритными частицами меди, составляющими матрицу прессовки. Агломераты частиц свинца 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 агломератов из частиц свинца может так же быть истирание окисной пленки с поверхности частиц при приложении деформаций, как под давлением, так и сдвиговых. Ввиду различной плотности материалов порошковых компонентов (медь $\rho = 8,96 \text{ г/см}^3$ свинец $\rho = 17,11 \text{ г/см}^3$) и формы частиц меди и свинца считаем, что в процессе засыпки в пресс-форму частицы свинца могут под действием сил Ван-Дерваляса образовывать скопления, перерастающие в агломераты при консолидации. Данным положением можно объяснить локальное распределение крупных агломератов в приповерхностных слоях с наружной стороны конуса (рис. 3, а). При этом поверхность прессовки характеризуется присутствием зародышевых трещин, что заметно может ухудшить как эксплуатационные свойства прессовок, так и их рост при дальнейшей технологической обработке (спекании, горячем прессовании, калибровке и др.). Особенность деформации и образования трещин в объеме матрицы прессовки вдоль границ структурных составляющих свидетельствует об определенной роли формы частиц и прочности окисной пленки на поверхности гетерогенных компонентов смеси. Образование выраженной границы контакта между частицами свинца и меди подтверждает отсутствие между ними физического - химического взаимодействия по причине отсутствия их взаимной растворимости (рис.3, в). Методом качественного рентгеноспектрального анализа зафиксировано наличие поры внутри агломерата рис. 3 г. Наличие трещин по всей поверхности образующей конуса (рис. 3, б) свидетельствуют о разуплотнении материала под действием упругих напряжений. Поверхность разрушения образующей конуса с внутренней стороны, характеризуется присутствием пустых пор малого размера (рис. 3 а, б), агломераты свинца отсутствуют, что является следствием высокой степени уплотнения медных частиц образующих зону контактов, которая препятствует проскальзыванию частиц свинца при

консолидации. Металлографические исследования позволили выявить не только расположение частиц свинца в межчастичном медном пространстве, но фиксировать отсутствие образования металлического контакта между частицами медь-свинец, что является выражением влияния исходных физико-химических свойств компонентов смеси на процесс формирования структуры материала прессовки. В ходе исследований установлено, что особенностью структуры прессовок гетерогенного состава, формуемых сплошным пуансоном, является наличие мелких трещин и агломератов свинцовых частиц в объеме материала на поверхности образующей конуса.

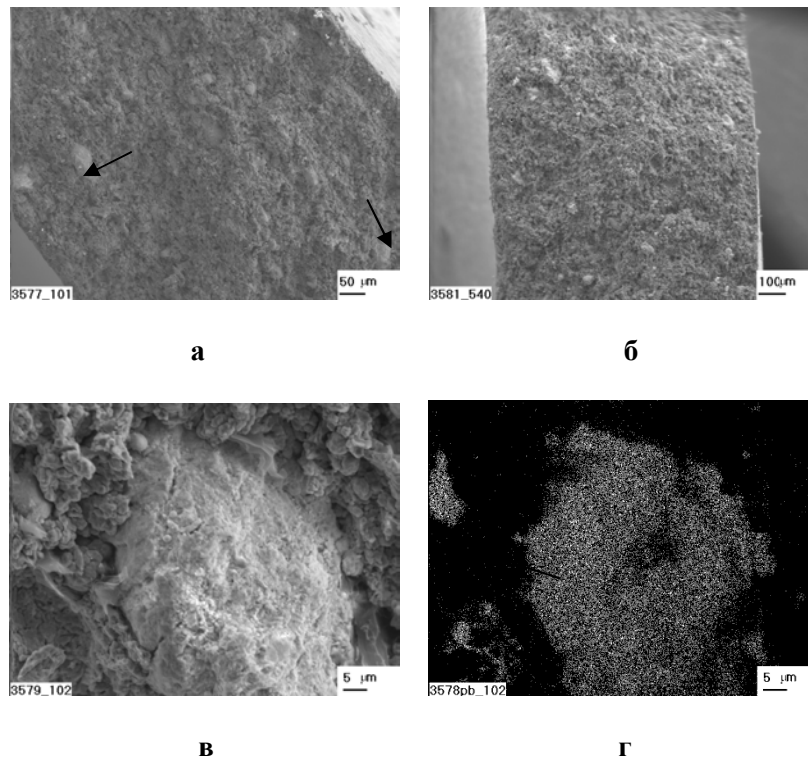


Рис. 3. Фрактограммы фрагмента прессовки тонкостенного конуса гетерогенного состава Cu-Pb-C полученной по схеме уплотнения сплошным пуансоном, РЭМ. а –х100, б – х54, в – х1000, г- х1000 X-ray Pb_{Lα}; а- общий вид излома, локальное распределение агломератов; б - присутствие трещин в поперечном сечении по толщине образующей конуса; в - агломерат свинцовой фазы,(I); г - наличие поры внутри агломерата свинца.

По данным фрактограмм установлена особенность макроструктуры прессовки (полученной сплошным пуансоном), которая характеризуется локальным расположением пор, крупных агломератов свинцовых частиц и трещин по всей ширине образующей. При этом в структуре такой прессовки заметно присутствие достаточно большого количества трещин вдоль границы образующей конуса, что является результатом упругого последействия и присутствие высокой степени накопленной деформации порошковой системы. При исследовании структуры материала по ширине образующей конуса установлено, что частицы свинца распределены неравномерно, с тенденцией увеличения их содержания к внутренней поверхности.

Структура поверхности излома неспеченной прессовки тонкостенного конуса полученного по схеме разрезного пуансона представлена на рис. 4, а - г. Установлено, что в ходе формирования поверхности конуса по схеме разрезного пуансона наблюдается равномерное распределение частиц компонентов свинца и графита по всему объему, как по длине, так и по ширине образующей. Вся поверхность излома характеризуется равномерным распределением мелких пор, свинец расположен в медном пространстве. Крупные трещины не обнаружены, заметно присутствие мелких трещин (рис. 4, б). По всей поверхности излома наблюдается тенденция образования сегрегированных слоев, состоящих из частиц меди и включений свинца (рис. 4, г), которые выступают как зоны концентратора напряжений.

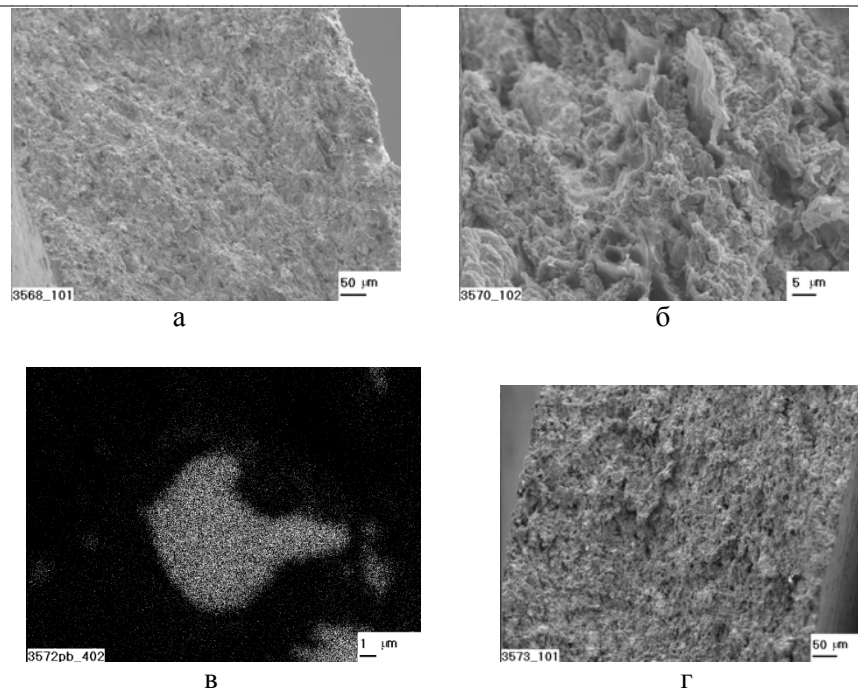


Рис.4. Микрофрактограммы не спеченных порошковых изделий конусной формы на основе меди с содержанием свинца 18 % (масс.), прессованных составным пуансоном РЭМ. а – $\times 100$, б – $\times 1000$, в – $\times 4000$ X-ray Pb L_{α} , г - $\times 100$; а - общий вид излома, отсутствие крупных скоплений агломератов свинца; б - присутствие мелких трещин в местах расположения графита на поверхности излома; в - свинцовая частица; г - наличие зоны концентратора напряжений в виде плоскости сцеплений частиц меди вдоль толщины образующей конуса

Следовательно, консолидация гетерогенного порошкового материала разрезным пуансоном способствует образованию у прессовок плотной структуры с равномерным распределением компонентов смеси, распределением пор и величины накопленной деформации.

Считаем, что при формовании конусных изделий по схеме разрезного пуансона, по причине наличие разветвленной формы частиц у медного порошка, уже на начальной стадии уплотнения в виду высокой степени зацепления медных частиц, происходит образование каркаса матрицы прессовки и закрепление свинцовых частиц в межчастичном медном пространстве. В дальнейшем проскальзывание частиц компонентов затруднено, что и является причиной образования структуры с равномерным распределением включений и пор. Такое изначальное закрепление частиц свинца в пространстве меди является причиной отсутствия образования агломератов и наличие равномерного распределения частиц свинца по всему объему конуса. На основании проведенных исследований можно заключить, что установленный методом компьютерного моделирования характер уплотнения конусных изделий [10] адекватен результатам металлографических исследований

Таким образом, анализ поверхности излома порошковых прессовок конусной формы из гетерогенного материала на основе пластичной матрицы и включений, полученных по схеме сплошного или разрезного пуансонов, показал, что присутствует существенное различие в образовании структуры прессовок. В частности, отмечено различие в распределении частиц включений (свинца и графита), присутствие разной величины трещин и количества пор.

Исследования поверхности излома прессовок позволили установить особенности формования структуры тонкостенного конуса из гетерогенного материала на основе меди и включений в зависимости от схемы консолидации разрезным или сплошным пуансоном. Изучение фрактограмм позволило выявить роль твердых включений в смеси на особенности образования дефектов (пор и трещин) в структуре материала прессовки в зависимости от схемы консолидации порошковой смеси при формировании тонкостенного конуса. Установлено, что схема консолидации гетерогенного материала определяет структурные параметры прессовок в форме тонкостенного конуса (где толщина образующей менее 1/10 диаметра основания конуса)

Наличие в структуре прессовки дефектов в виде пор, трещин, сектора сцеплений частиц меди находится в прямой зависимости от схем уплотнения объема порошка.

Полученные результаты картины распределения пор и включений в объеме матрицы прессовки идентичны с данными компьютерного моделирования конусных изделий с наклонной поверхностью, которые представлены в работах [9,10].

Выводы

Проведены экспериментальные исследования по влиянию схемы уплотнения порошкового материала гетерогенного состава на основе меди и включений свинца и графита, при формования тонкостенного конуса.

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

Изучено влияние направления действия сил трения и объема засыпки на конечную структурную характеристику прессовок. Экспериментально установлено локальное распределение частиц включений по всей образующей конуса.

Показано, что использование составных пуансонов и разбиение порошка на ряд подобластей с их поочередным уплотнением позволяют получать более структуру прессовок с равномерным распределением пор и компонентов включений при отсутствие явных трещин.

Установлена характерная связь между распределением компонентов смеси (включений свинца и графита), характеристикой структуры (наличие дефектов: пор, трещин) и схемой формования тонкостенного конуса.

Проведенные исследования позволили выбрать оптимальную схему прессования для решения любых задач для дальнейшей эксплуатации изделий.

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. Курдина 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., 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. .
5. Радомыслский И.Д., Печенковский Е.Л., Сердюк Г.Г. Пресс – формы для порошковой металлургии. Расчет и конструирование. – К.: Техника, 1970. – 172 с.
6. Епифанцева Т.А., Мартюхин И.Д., Михайлов О.В., Сердюк Г.Г. Влияние схемы уплотнения на распределение свойств материала облицовок кумулятивных зарядов при их формовании из гетерогенной порошковой композиции//Порошковая металлургия.- 2000.- N 11/12 .- с. 21-27.
7. 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
8. 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.
9. Епифанцева Т.А., Мартюхин И.Д., Михайлов О.В., Сердюк Г.Г. Особенности распределения плотности при осевом прессовании пористых изделий, ограниченных наклонными к направлению прессования поверхностями. Численный анализ//Порошковая металлургия.- 1997.- N 5/6 -с.
10. O.Mikhailov, T.Yepifantseva, Computer modelling of compacting of powder parts having slant to a pressing direction surfaces - in: 2nd Conference on Advances and Applications of GID, 18-20 February, 2004, Barcelona, Spain