

4. Предлагаемая технология легирования даст возможность отказаться от операции смешивания и предположительно позволит получать спеченные изделия с более равномерным распределением меди по объему спеченного изделия и более однородной структурой материала. Это, в свою очередь, позволит значительно повысить комплекс механических и физико-химических свойств спеченных изделий.

Литература:

1. Ермаков С.С., Вязников Н.Ф., Порошковые стали и изделия.- Л.: Машиностроение, 1990.- 319 с.
2. Радомысльский И.Д., Сердюк Г.Г., Щербань Н.И. Конструкционные порошковые материалы.- Киев: Техника, 1985.- 152 с.
3. Степанчук А.Н., Билык И.И., Бойко П.А. Технология порошковой металлургии - Киев: Высшая школа, 1989.- 416 с.
4. Анциферов В.Н., Акименко В.Б., Гревнов Л.М. Порошковые легированные стали.- М.: Металлургия, 1991.- 320 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНОГО ПОРОШКОВОГО КОМПОЗИТА ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

КОВТУН В. А., РЯБЧЕНКО Т. В.

*Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого
НАН Беларуси, г.Гомель, Беларусь,
тел.: (+375 232) 77 46 38, e-mail: vadimkov@yandex.ru*

Основная проблема при решении поставленной задачи заключается как в моделировании очевидной при анализе на мезоуровне неоднородности напряженно-деформированного состояния (НДС) [1-2], обусловленной неоднородностью структуры материала, так и в правильном описании закономерностей деформации в данной точке на различных этапах нагружения. Объектом исследования является металлополимерный композиционный порошковый материал, в котором содержание дисперсного полимерного наполнителя ПТФЭ составляет 10 об. % (оптимальное для данного класса материалов) и 34 об. % (максимально допустимое для данного класса композиционных материалов. Такая степень наполнения матрицы позволяет при условии равномерного распределения наполнителя обеспечить

контактирование медных частиц между собой без нарушения целостности металлического каркаса) [3].

На рис. 1 представлены разработанные модели мезофрагментов насыпного слоя металлополимерной порошковой системы, исследуемые при моделировании напряженно-деформированного состояния. Выбранный мезофрагмент порошковой системы является повторяющимся элементом, включает оптимальное количество частиц полимерного наполнителя. Выбор конфигурации мезофрагмента рассматриваемой металлополимерной порошковой системы и количества частиц полимерного наполнителя сделан на основе анализа микроструктурных исследований данных систем. Разработанная модель металлополимерной порошковой системы медь-ПТФЭ содержит частицы меди размером 100 мкм и полимерный наполнитель ПТФЭ дисперсностью 100 мкм (рис. 1).

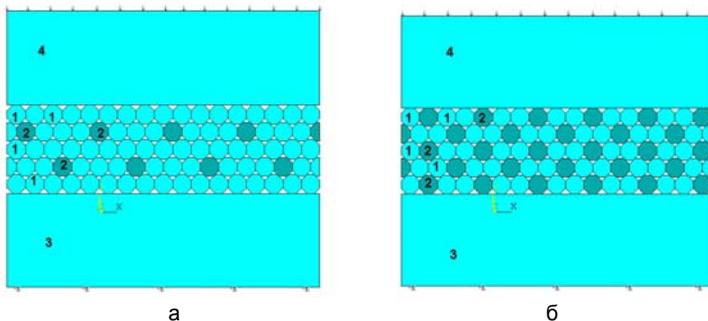


Рис. 1. Модели мезофрагментов насыпного слоя металлополимерной порошковой системы при содержании частиц ПТФЭ 10 об. % (а) и 34 об. % (б):
1 – частицы медного порошка, 2 – частицы полимерного наполнителя ПТФЭ,
3 – металлическая подложка, 4 – пресс-инструмент

Разработанная модель металлополимерной порошковой системы медь-ПТФЭ, включающая 85 частиц порошкового композита медь-ПТФЭ, представленная на рис. 1, использовалась для моделирования его напряженно-деформированного состояния. В модели заданы контакты между частицами меди и ПТФЭ. Рассматривается процесс холодного прессования заданной порошковой системы при воздействии распределенной сжимающей нагрузки 800 Н, нижнее основание жестко закреплено. В процессе разработки модели принято допущение по ограничению перемещения боковых частиц насыпного слоя по оси x . При расчете использовались следующие исходные данные: модуль

упругости для медного порошка $E_m = 110$ ГПа, для полимерного наполнителя ПТФЭ $E_p = 0,49$ ГПа; коэффициент Пуассона для медного порошка $\nu_m = 0,37$, для ПТФЭ $\nu_p = 0,45$.

Поскольку исследуемые материалы являются изотропными, то к ним можно применить классическую модель упруго-пластического тела с критерием текучести типа Мизеса. Для получения максимальной детализации результатов исследований была использована конечноэлементная аппроксимация на основе разбиения указанных выше компонентов материала двухмерными (2D) элементами с автоматической генерацией сетки (рис. 2). Для исследования разработанных структурных моделей мезофрагментов насыпного слоя металлополимерного порошкового материала методом конечных элементов использовано 41498 узлов и 29587 элементов (рис. 2).

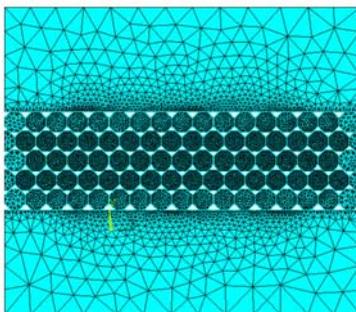


Рис. 2. Дискретизация фрагмента насыпного слоя металлополимерной порошковой системы конечными элементами

Моделирование напряженно-деформированного состояния композиционного металлополимерного материала, состоящего из металлической медной порошковой матрицы и полимерных частиц ПТФЭ, позволило получить поля распределения эквивалентных и касательных напряжений при воздействии равномерно распределенной сжимающей нагрузки, а также провести оценку процесса пластической деформации металлополимерной порошковой системы и установить области максимальных контактных давлений внутри насыпного слоя при межчастичном контакте медных частиц и частиц ПТФЭ. Учитывая то, что картина распределения напряжений периодически повторяется на протяжении слоя, можно рассматривать эквивалентные напряжения для ячейки периодичности.

Результаты исследований показали, что сжатие металлополимерной порошковой системы сопровождается следующими явлениями: структурной деформацией (межчастичным смещением) и деформацией самих частиц с образованием протяженной зоны контактов. Структурную деформацию при сжатии порошковой системы внешними силами невозможно осуществить без пластической деформации на контактах, величина которой, в основном, характеризует давление уплотнения. Так, при содержании в порошковой системе частиц ПТФЭ в количестве 10 об. % в областях контакта медных частиц пластические деформации составляют $0,061 \div 0,142$, а при содержании 34 об. % – $0,030 \div 0,076$.

На рис. 3 представлено распределение контактных давлений $p(x)$ в мезофрагменте металлополимерной порошковой системы медь-ПТФЭ в процессе прессования при содержании частиц полимера 10 об. % и 34 об. %. Можно отметить следующую закономерность распределения контактных давлений в металлополимерной порошковой системе. Максимальные значения контактных давлений составляют 894 МПа при содержании частиц ПТФЭ 10 об. % и 830 МПа при содержании частиц ПТФЭ 34 об. %. В области контакта частиц ПТФЭ с медными частицами наблюдаются минимальные значения контактных давлений, значения которых составляют до 99,3 МПа при содержании частиц ПТФЭ 10 об. %. При увеличении процентного содержания частиц полимерного наполнителя до 34 об. % их значения достигают 92,2 МПа. Значительное увеличение контактных давлений наблюдается в областях контакта медь-медь, а их значения составляют: при 10 об. % частиц ПТФЭ $596 \div 794$ МПа, при 34 об. % частиц ПТФЭ – $553 \div 737$ МПа.

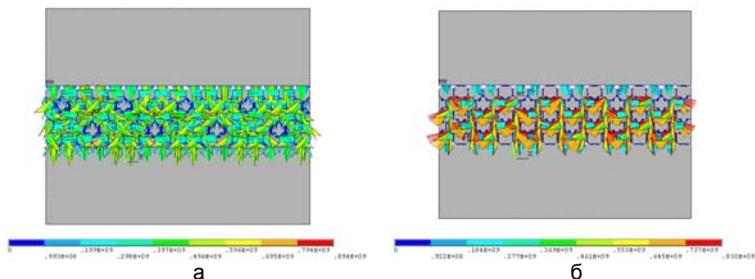


Рис. 3. Распределение контактных давлений $p(x)$ в мезофрагменте металлополимерной порошковой системы медь-ПТФЭ при прессовании и содержании частиц полимера: 10 об. % (а), 34 об. % (б)

В процессе исследования напряженно-деформированного состояния фрагмента металлополимерной порошковой системы установлено, что при изменении структуры металлополимерных порошковых систем вследствие увеличения процентного содержания частиц ПТФЭ наблюдается изменение значений эквивалентных по Мизесу напряжений, максимум которых находится в точках контакта медных частиц. Анализ результатов расчета также выявил существенную концентрацию напряжений в областях контакта медных частиц (таблица). При этом частицы политетрафторэтилена изменяют форму при воздействии равномерно распределенной сжимающей нагрузки. Однако эквивалентные напряжения в области контакта полимерных частиц в исследуемой модели композита минимальны и их значения составляют от 7 МПа до 66,2 МПа при наполнении медной порошковой матрицы 10 об. % полимерного наполнителя, а при содержании 34 об. % частиц ПТФЭ – от 1,1 МПа до 45,9 МПа.

Наличие неоднородной структуры в порошковом металлополимерном материале приводит к неравномерному распределению напряжений с большими градиентами и концентрациями в определенных областях мезофрагмента материала, а концентраторы напряжений могут вызывать начало пластической деформации или хрупкого разрушения.

Таблица

Значения напряжений и деформаций в областях контакта частиц мезофрагмента металлополимерной порошковой системы

Область контакта частиц	Содержание ПТФЭ, об. %	Эквивалентные напряжения по Мизесу, МПа	Касательные напряжения, МПа	Контактные давления, МПа	Пластическая деформация
Медь-ПТФЭ	10	7,0÷66,2	-40,5÷70,8	8,0÷99,3	0,005÷0,020
	34	1,1÷45,9	-11,9÷36,4	5,0÷92,2	0,002÷0,015
Медь-медь	10	244÷362	-207÷182	596÷794	0,061÷0,142
	34	225÷359	-157÷181	553÷737	0,030÷0,076

Таким образом, методами компьютерного моделирования с применением подхода мезомеханики проведена оценка структуры металлополимерного порошкового композита при пластическом деформировании. Получены поля распределения эквивалентных и касательных напряжений, контактных давлений, а также областей начала пластической деформации в сечении порошковой системы медь-политетрафторэтилен. Исследовано

влияние мезоскопического структурного уровня на процессы деформирования и проанализированы закономерности контактного взаимодействия на границах раздела и напряженно-деформированного состояния частиц металлополимерного порошкового композита. Показано, что внутренняя структура композита играет ключевую роль в процессах образования концентраторов напряжений и локализации пластической деформации, а исследование мезоструктурных и мезомеханических особенностей металлополимерных порошковых систем позволяет достаточно объективно прогнозировать деформационно-прочностные свойства, что необходимо учитывать при создании композиционных материалов и покрытий на их основе.

Литература:

1. Физическая мезомеханика и компьютерное конструирование материалов. Под ред. В. Е. Панина. – Новосибирск: Наука, 1995. – Т.1.–298 с., Т.2.–320 с.
2. Ковтун В.А., Семенова Т.В. Влияние структуры металлополимерных порошковых систем на напряженное состояние композита // Известия НАНБ. Серия физико-технических наук. – 2007. – № 2. – С. 12–18.
3. Ковтун В. А., Плещачевский Ю. М. Триботехнические покрытия на основе порошковых меднографитовых систем. Гомель, 1998. – 148 с.

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЗМА УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТРИЦ НАНОЧАСТИЦАМИ ТУГОПЛАВКИХ СОЕДИНЕНИЙ

**КОСТИКОВ В.И., ЛОПАТИН В.Ю., ЧЕБРЯКОВА Е.В.,
ВИКУЛОВА Л.В., АЛЕКСЕЕВА М.Д.**

*НИТУ «Московский институт стали и сплавов», г. Москва, Россия,
тел.: (+7 495) 638-44-09, e-mail: chebryakovaev@gmail.com*

Одним из направлений развития современных материалов является разработка технологий композитов с матрицами на основе сплавов алюминия, упрочненных частицами малого размера (в том числе наноразмерными), а также использование в качестве матриц промышленных алюминиевых дисперсионно-твердеющих сплавов с повышенными эксплуатационными характеристиками.

Основными методами воздействия на процесс кристаллизации металлов и сплавов с целью улучшения качества литых заготовок являются изменение скорости охлаждения расплава и