

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ИМПУЛЬСНОГО ФОРМИРОВАНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПАКТНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Александров В.М.¹, Лобачев В.А.¹, Киршина Н.В.¹, Шелег В.К.², Боян С.Г.²

¹ Обособленное хозрасчетное структурное подразделение «Научно-исследовательский институт импульсных процессов с опытным производством», г. Минск, Республика Беларусь, impuls@bn.by

² Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Физико-механические свойства компактно-пористых материалов (КПМ) определяются характеристиками их структурных и каркасных свойств. В качестве показателя структурных свойств КПМ выбрана пористость пористой составляющей и каркасных – коэффициент контактирования пористой составляющей к компактной подложке. Эти показатели в основном определяют комплекс структурных и каркасных свойств КПМ, а также и изделий из него.

В большинстве своем механическая связь между подложкой и дискретными частицами образуется в результате механического сцепления подложки и дискретных частиц в виде порошка, имеющих, в большинстве своем, шероховатую исходную поверхность. Процесс формирования металлических контактов между подложкой и дискретным материалом определяется, в частности, технологическими параметрами импульсного формования. При этом наряду с уменьшением площади поверхности системы в целом увеличивается площадь контакта между компактной подложкой и пористым телом, и происходит первоначальное формирование точечных контактов.

Основными факторами, определяющими процесс импульсного формования на гидродинамической машине (ГДМ), являются вид и величина заряда пороха, условия его заряжания, масса разделительного поршня, объем рабочей камеры и рабочая жидкость в ней, количество прессуемого порошка и оболочки, в которой осуществляется прессование.

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что указанные параметры целесообразно регулировать изменением массы поршня, величины заряда и давления начала движения поршня – давления среза чеки $p_{ср}$.

Увеличение массы поршня приводит к уменьшению скорости нарастания давления и увеличению времени прессования. При этом давление в рабочей камере с увеличением массы поршня также увеличивается. Для получения высокой пористости прессовок необходимо уменьшать массу разделительного поршня. В этом случае можно иметь колебательную систему «пороховые газы – поршень – жидкость» еще при горении пороха в камере сгорания. Кинетика этого процесса определяет циклический характер нарастания давления в рабочей камере, причем в первых циклах давление увеличивается и в каждом цикле имеет место высокая скорость нарастания давления. Общее время прессования увеличивается на 30 – 40 %, что положительно сказывается на получении качественных высокопористых прессовок. Существенное влияние на параметры гидродинамического прессования оказывает первоначальное давление, которое необходимо приложить к поршню для начала его перемещения и которое регулируется прочностью срезаемой чеки $p_{ср}$. Давление среза изменяет время приложения нагрузки.

Величина заряда пороха выбирается в зависимости от свойств прессуемого порошка, его массы и необходимой степени его уплотнения. Экспериментальные исследования влияния параметров импульсного прессования на структуру материалов, зоны контакта, порового пространства показали следующие зависимости. Уплотняемость исходных порошков тем выше, чем крупнее их частицы и меньше их фактор формы. Состояние поверхности частиц порошка также оказывает существенное влияние на образование прочных межчастичных контактов при прессовании.

При массе заряда пороха 0,063 кг исследуемые образцы не уплотнялись и заготовка при разборке оснастки разрушалась. При массе заряда 0,08 - 0,1 кг заготовка формовалась, но ее механическая прочность была недостаточна для дальнейшего проведения технологических операций (транспортировки, подготовки к спеканию). С увеличением массы заряда ВВ до 0,13 кг относительная плотность заготовок возросла до расчетной (достигнутая плотность прессовок составила 70 – 80 %). Это объясняется тем, что возросла длительность импульса - обжатие порошка происходит не только вследствие взаимного перемещения частиц порошка и уменьшения размеров межчастичных пор, но и пластической деформации. Длительность импульса влияет на скорость детонации и время действия нагрузки: увеличивается время действия давления, что способствует более плавному снятию нагрузки и, следовательно, лучшему сохранению заготовки. Дальнейшее увеличение массы заряда до 0,15 кг не дало существенного улучшения свойств заготовки. Напротив, плотность заготовки снижалась, что объяснимо действием избыточного давления детонации, и, как следствие, сильной релаксационной волной, нарушающей межкристаллитное сцепление, достигнутое за счет волны сжатия. При массе заряда 0,18 кг заготовка растрескивается.

В процессе отработки технологических режимов были изготовлены экспериментальные образцы в количестве 10 штук из порошков титана фракции 40 - 63 мкм, 63 – 100 мкм, 100 – 160 мкм при давлениях прессования от 100 до 250 МПа, материал подложки: сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72.

Для пористой составляющей определены структурные свойства материалов – пористость, максимальная и средняя величина пор. Результаты исследований приведены в таблице 1 и графически представлены на рис. 1.

Таблица 1. Свойства экспериментальных образцов

Материал пористой составляющей и фракция	Давление прессования, МПа	Пористость, %	Средняя величина пор, мкм	Максимальная величина пор, мкм
Титан ТПП, 40–63 мкм	250	26	10	15
	200	32	12	18
	100	43	15	32
Титан ТПП, 63–100 мкм	250	30	15	20
	200	35	20	25
	100	47	35	42
Титан ТПП. 100–160 мкм	250	33	20	25
	200	37	25	30
	150	43	30	37
	100	48	34	42

Как видно из результатов исследований оптимальным давлением прессования является 150 – 200 МПа, при котором пористость составляет 37 – 43 %.

Стабильность каркасных свойств компактно-пористого материала в значительной степени обусловлено структурой и количеством контактов, сформированных в процессе прессования в зоне взаимодействия «пористая составляющая – компактный материал». Решение этой задачи достигается проведением анализа явлений, происходящих в микроподъемах контактирования каждой отдельной частицы пористой составляющей, находящейся во взаимодействии с компактным материалом, и количественной оценки суммарной величины общего контакта пористой составляющей к компактной. Количественная

оценка доли суммарного контакта на номинальной длине контактирования пористого материала с компактным дает возможность более дифференцировано и надежно контролировать структуру и прогнозировать свойства контактов.

Для выявления действительного контакта изготавливали микрошлифы и проводили предварительный металлографический анализ микроструктуры единичных контактов при увеличении большим того, при котором производится измерение следов сечения плоскостью шлифа поверхностей контактирования частиц с компактным материалом. Цель предварительного металлографического анализа микроструктуры – качественная оценка структуры единичного контакта, наличия границы раздела между взаимодействующими объектами. За количественную меру контактирования принято отношение длины суммарного металлографически выявленного металлического контакта на следе пересечения произвольной плоскостью шлифа пористой составляющей к общей длине – коэффициент контактирования. Установлено, что при давлении прессования 100 МПа коэффициент контактирования не превышает 0,35, с увеличением давления прессования он увеличивается до 0,5 – 0,55 при давлении 150 МПа и 0,65 при давлении 250 МПа, однако при этом давлении прессования пористость пористой составляющей снижается до уровня, недостаточного для использования в качестве фильтрующего материала. Зависимость величины коэффициента контактирования от давления прессования для различных фракций титанового порошка приведена на рис. 2.

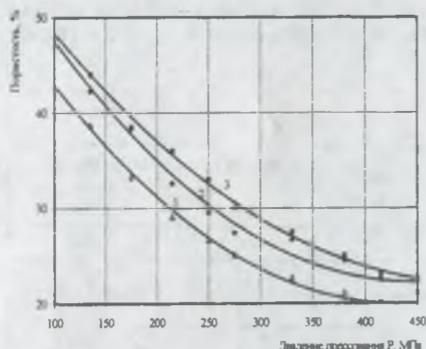


Рис. 1. Зависимость пористости экспериментальных образцов из порошка титана от давления прессования 1 – порошок титана дисперсностью 40 – 63 мкм; 2 – порошок титана дисперсностью 63 – 100 мкм; 3 – порошок титана дисперсностью 100 – 160 мкм

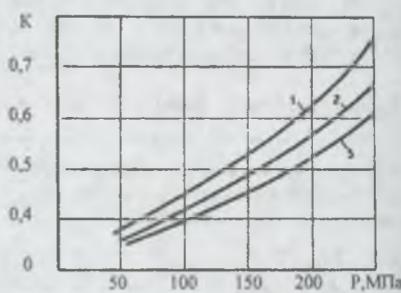


Рис. 2. Зависимость величины коэффициента контактирования от давления прессования для различных фракций титанового порошка 1 – порошок титана дисперсностью 100 – 160; 2 – порошок титана дисперсностью 63 – 100 мкм; 3 – порошок титана дисперсностью мкм 40 – 63 мкм

В результате исследований установлено, что оптимальными режимами формования КПМ, обеспечивающими стабильные физико-механические свойства, необходимые для эксплуатации изделий из КПМ, являются: давление прессования – 50-200 МПа; величина заряда пороха – 0,13 кг, при которых пористость пористой составляющей составляет 37 – 43 %, а коэффициент контактирования – 0,5 – 0,6.