

**Метод и оборудование для магнитно-импульсного прессования порошков**

Студенты гр.10402220: Завольский М.К., Хаозе Янг, Зенько А.А.

Научный руководитель – Шкурдюк П.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Впервые в мировой практике лабораторией прикладной электродинамики ИЭФ развито применение магнитно-импульсного прессования (МИП) для получения объемных наноструктурных материалов. Принцип данного метода состоит в электромеханическом преобразовании энергии первичного емкостного накопителя в кинетическую энергию пресс-инструмента, совершающего работу по сжатию порошка. Метод характеризуется мягкими импульсными волнами сжатия в порошках с амплитудой до 2 ГПа (при многократном использовании пресс-инструмента) и длительностью в диапазоне 10–500 мкс. Метод позволяет генерировать и более высокие импульсные давления, порядка 10 ГПа, но при однократном использовании пресс-инструмента.

Мягкие импульсные волны сжатия оказываются весьма эффективным инструментом для уплотнения порошков с размерами частиц < 100 нм. При импульсном сжатии нанопорошков удачно сочетаются одновременные действия следующих существенных факторов.

Влияние большого механического импульса частиц выражается в значительном снижении роли потенциального межчастичного взаимодействия, препятствующего взаимному перемещению наночастиц, что можно рассматривать как повышение подвижности частиц, а на макроуровне – как снижение внутреннего трения. Это позволяет получать прессовки из нанопорошков с более высокой плотностью. Причем роль данного эффекта усиливается при уменьшении среднего размера частиц в порошке.

Благодаря адиабатичности процесса, мягкое импульсное прессование характеризуется значительным импульсным нагревом сжимаемого порошка, что улучшает его прессуемость и способно стимулировать структурно-фазовые превращения. За счет быстротечности импульсного прессования в ряде случаев удается сохранять метастабильные структурно-фазовые состояния порошков, предпочтительные для формируемого объемного наноматериала. Разработано и создано оборудование для магнитно-импульсного прессования нанопорошков различных материалов. Принципиальное отличие наших конструкций импульсных прессов состоит в возможности компактирования наноразмерных порошков. Экспериментальные установки экономичны, допускают автоматизацию процесса и значительное повышение производительности. Импульсное прессование нанопорошков может производиться при температурах до 500 °С в условиях вакуума после термической дегазации, обеспечивающей удаление адсорбированных веществ с поверхности частиц.

В имеющихся установках МИП двух типов реализовано прессование с использованием плоских и радиально сходящихся волн сжатия. При магнитно-импульсном нагружении наблюдается значительное повышение технологической пластичности, даже по сравнению со взрывным и электро-гидроимпульсным нагружением. При одних и тех же скоростях деформирования 100...200 м/с или деформации коэффициент динамичности  $K(\delta)$  имеет большие значения (таблица 1).

Таблица 1 – Коэффициенты динамичности

Марка материала	АМг3М	Амг6М	А18Н10Т	ВТ14
$K(\delta)$	2,1–2,5	2,11–2,18	1,21–1,35	1,12–1,2

Причины увеличения значений  $K(\delta)$  в особенностях МИОМ, отличающих этот метод обработки от других высокоскоростных методов: влияние вихревых токов и электродинамических сил.

В первую очередь действие вихревых токов сводится к дополнительному нагреву заготовки.

Вихревой ток распределяется неравномерно не только в глубину металла заготовки (скин-эффект), но и вдоль образующей: над витками индуктора он имеет большие значения, чем в зазоре между ними.

В этом случае, заготовку можно условно рассматривать как проводники с параллельно направленными токами. А такие проводники испытывают электродинамические условия осевого сжатия.

С учетом инерциальных сил, в заготовке возникает уже не плоская схема напряжений, а объемная с двумя сжимающими напряжениями. Повышение доли сжимающих напряжений приводит к дополнительному повышению предельных деформаций.

Ещё одной причиной увеличения пластичности свойств металла при МИОМ является эффект так называемой электропластичности, связанный с влиянием потока электронов проводимости на движущиеся дислокации и дислокации в скоплениях.

Дополнительный фактор – импульсный ток, обтекая внутренние дефекты, приводит к уменьшению их роли как концентраторов напряжений. В одних случаях импульсный ток приводит к возникновению сжимающих трещины электродинамических сил, в других – вызывает оплавление острых вершин трещин.

Индикатор является инструментом для магнитно-импульсной обработки. Существует большое количество вариантов его конструктивного выполнения: одно- и многовитковые; на раздачу, на обжим или плоские катушки, точеные, витые и т.д.

Основные элементы индуктора: токопровод, основание, витковая и главная изоляция, стяжные кольца, механическое усиление или защита используются в любых конструкциях индукторных систем.

В серийном производстве при большой частоте следования импульсов-разрядов возникает проблема перегрева индуктора, так как по токопроводу течет то в сотни килоампер. Развиваемых при этом температур изоляция не выдерживает. В этом случае конструкция, отвода тепла от токопровода или изоляции. Одно из таких решений применение полого токопровода (трубки), по которому прокачивается охлаждающая жидкость.

#### **Список использованных источников**

1 Теория обработки металлов давлением [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/335WiD>. – Дата доступа: 02.11.2022.

2 Основы технологических процессов обработки материалов давлением [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/335Wie>. – Дата доступа: 02.11.2022.