

ПРИМЕНЕНИЕ НАГРЕВА ПРИ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОМ  
ПРЕССОВАНИИ ПОРОШКОВ

Все большее внимание последние годы получают импульсные способы прессования порошковых материалов, в том числе прессование импульсным магнитным полем [1+8].

При холодном магнитно-импульсном прессовании невозможно получить металлокерамические изделия по плотности и прочности близкие к свойствам компактного металла. Это объясняется в основном возникновением при прессовании высоких внутренних напряжений, возрастающих с увеличением давления, скорости приложения нагрузки, а также наличием окисных пленок и непрочностью охватывания частиц. Применение повышенных давлений может привести к появлению неисправимого брака - расслоя. Поэтому при применении магнитно-импульсного прессования с целью достижения более высокой плотности изделий на имеющемся оборудовании было естественно обратиться к нагреву.

Выбор способа и температуры нагрева определяется прежде всего особенностями магнитно-импульсного прессования (МИП), свойствами исходных порошков, взаимодействием порошка с материалом оболочки. Из различных источников тепла, бесспорно, лучшим является электрический нагрев, поскольку он обеспечивает необходимую гибкость и скорость процесса.

Использование нагрева при магнитно-импульсном прессовании имеет ряд особенностей. Во-первых, при этом происходит увеличение электросопротивления материала оболочки, что уменьшает электромагнитные силы, действующие на оболочку (рис.1). С другой стороны, нагрев способствует снижению прочностных свойств как материала оболочки, так и порошка. Оценка роли этих двух факторов, действующих в противоположных направлениях, особенно необходима при выборе режима прессования с нагревом. При этом нужно также учесть, что температура нагрева не должна превышать температуры плавления материала оболочки.

Наименее чувствительной к повышению электросопротивления

является медь, что дает возможность производить нагрев вплоть до  $1000^{\circ}\text{C}$  с использованием тонкостенных оболочек. Для стальных оболочек влияние электросопротивления уже становится значительным, что приводит к снижению эффективности процесса МИП в связи с резким уменьшением импульсного давления и необходимостью применения более толстостенных оболочек из-за увеличивающейся глубины проникновения магнитного поля [2].

Нами исследовались два способа магнитно-импульсного прессования порошковых материалов с применением электрического нагрева порошковой шихты в оболочке, используемой для формования:

а/ с косвенным нагревом порошка через стенку трубки индукционным способом в индукторе;

б/ с косвенным нагревом заключенного в оболочку порошка в электропечи сопротивления и быстрым переносом заготовки в индуктор для прессования.

По первому способу нагрев оболочки с порошком осуществляется с помощью высокочастотной установки. Индуктор выполняет здесь двойную роль: сначала в нем с помощью высокочастотной установки производится нагрев оболочки с порошком за счет действия вихревых токов, затем через него протекают импульсные токи разряда конденсаторной батареи. Эксперименты в целом дали положительные результаты. Основными вопросами при этом способе МИП являются выбор режима высокочастотного нагрева, обеспечивающего его необходимую скорость и эффективность, а также конструирование индуктора, выдерживающего длительные термические нагрузки. Высокое электрическое сопротивление шихты и наличие хорошо электропроводящего экрана-оболочки создают значительные трудности для определения параметров высокочастотного нагрева. Г.И.Бабат [4] отмечает, что при нагреве шихты существуют оптимальные размеры зерен и частота тока, при которых мощность, выделяющаяся в единице объема, имеет наибольшее значение.

Для металлических порошков с величиной электросопротивления  $50 + 100 \cdot 10^{-6}$  ом.см наиболее желательной оказывается частота тока  $10^4$  гц, однако наличие цилиндрического экрана с толщиной стенки, сопоставимой с глубиной проникновения магнитного поля при данной частоте, делает практически невозможным нагрев шихты непосредственно от вихревых токов в ней в силу их малости. Поэтому нагрев прессовки в данном случае осуществляется исключительно за счет

передачи тепла от разогретой оболочки. Проведенные сравнительные экспериментальные исследования показали, что эффективность нагрева можно повысить, применяя предварительную подпрессовку порошка, а также используя стальной сердечник, вводимый внутрь полости формируемого изделия. Высокочастотный метод нагрева может успешно применяться для тонкостенных деталей типа втулок, которые позволяют обеспечить равномерный и достаточно быстрый прогрев по сечению.

Для нагрева порошковой шихты перед МИП нами был предложен и испытан простой метод косвенного нагрева закупоренной оболочки в электропечи сопротивления. Технологический процесс по этому способу выполнялся в следующем порядке:

а/ магнитно-импульсное обжатие конца оболочки на медную или стальную заглушку;

б/ засыпка порошка и виброутряска;

в/ магнитно-импульсное обжатие второго конца оболочки на заглушку;

г/ нагрев в электропечи оболочки с порошком до  $600+950^{\circ}\text{C}$  и выдержка в печи для равномерного прогрева (в течение  $15+20$  мин);

д/ быстрый перенос заготовки в индуктор и магнитно-импульсное обжатие до требуемой плотности и размера.

В этом случае индуктор нагревается незначительно, так как время контакта его с нагретой заготовкой минимально.

На рис.1 показана схема приспособления для прессования с нагревом относительно коротких изделий. Путем последовательного перемещения заготовки через зону индуктора можно значительно увеличить длину изделий, получаемых этим способом.

Применение предварительного нагрева порошка в закупоренной оболочке позволяет значительно повысить плотность прессовки и другие физико-механические свойства материала (рис.2).

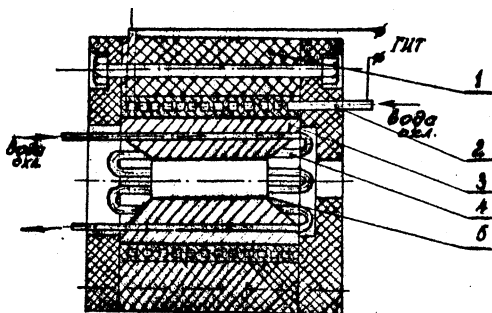


Рис.1. Индуктор с концентратором:  
 1 - корпус; 2 - спираль; 3 - концентратор;  
 4 - трубка охлаждения; 5 - главная изоляция

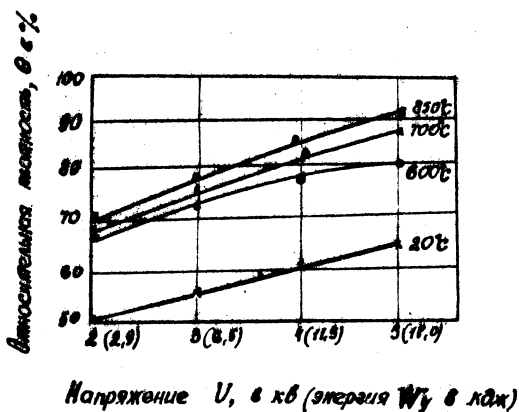


Рис.2. Зависимость плотности образцов от энергии прессования

## Л и т е р а т у р а

1. Барбарович Ю.К. Порошковая металлургия, № 10, 1970.
2. Миронов В.А., Назаров Н.С., Роман О.В. В сб. "Прогрессивные способы изготовления металлокерамических изделий". "Полюмя", Минск, 1971.
3. Райченко А.И. Порошковая металлургия № 7, 1971.
4. Бабат Г.И. Индукционный нагрев металла и его применение. "Энергия", М.-Л., 1965.

УДК 621.762.404;586

Н.С.Назаров

### ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ДАВЛЕНИЙ ПРИ СИЛОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

В электродинамике путем решения уравнений Максвелла получена следующая зависимость для определения электродинамических давлений:

$$p = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} \quad (1)$$

где  $B^2 = B_1^2 - B_2^2$  — разность квадратов вектора магнитного поля по обе стороны рассматриваемой проводящей среды;  
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{2H}{M}$  — магнитная постоянная.

Электромагнитное давление весьма просто вычисляется по формуле (1) в том случае, когда численные значения вектора магнитного поля определены экспериментально. Теоретически значения вектора магнитного поля вычисляются довольно сложно и не совсем точно, ибо вектор магнитного поля является сложной функцией многих параметров разряда.

Для частного случая, когда индуктор можно рассматривать как цилиндрическую катушку с равномерной плотно намотанной обмоткой и равномерно распределенным магнитным полем в зазоре заготовка-обмотка индуктора, значения магнитного поля достаточно точно определяются по формуле работы [1]:

$$B = \mu_0 \cdot \frac{N}{l} i \quad (2)$$