

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]:

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

- где N - число витков индуктора;
- l - расчетная длина индуктора;
- i - разрядный ток;
- ξ - поправочный коэффициент, учитывающий отношение τ/l , где $\tau = \delta_1 + \delta_2 + \Delta$, δ_1 и δ_2 - толщины проводящего электрический ток слоя заготовки и индуктора соответственно;
- Δ - зазор между заготовкой и токопроводящей обмоткой индуктора.

Для длинных и узких индукторов, когда $\frac{\sqrt{\mu} l}{\tau} > 3$ значения поправочного коэффициента определяются по формуле [1]:

$$\xi = 1 - \frac{\tau}{\pi l} \quad (3)$$

За толщину проводящего слоя в индукторе и заготовке принимают глубину проникновения магнитного поля в материал проводника. Она вычисляется по формуле

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \sigma \mu}} \quad (4)$$

- где σ - электропроводность материала проводника;
- ω - круговая частота колебаний разрядного тока, равная

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{\Omega}{2L}\right)^2} \quad (5)$$

- L - эквивалентная индуктивность разрядного контура;
- C - емкость батареи конденсаторов;
- Ω - эквивалентное активное сопротивление разрядного контура.

Под эквивалентным сопротивлением и индуктивностью разрядного контура имеется в виду такое значение указанных величин, при включении которых в разрядный контур электрический ток в нем будет равняться току в действительном разрядном контуре с учетом влияния заготовки. Для таких контуров разрядный ток определяется зависимостью, взятой из работы [2]:

$$i = \frac{U_0}{\omega L} \exp\left(-\frac{\Omega}{2L} t\right) \sin \omega t \quad (6)$$

где U_0 - напряжение зарядки конденсаторов;
 t - текущее время разряда.

С учетом зависимостей (2), (5) и (6) соотношение (I) переписывается в виде

$$P = \frac{2M_0 \cdot 5 N^2 U_0 C}{L^2 \sqrt{L - \frac{R^2}{L}}} \exp\left(-\frac{R}{L} t\right) \sin^2 \omega t \quad (7)$$

При электромагнитном деформировании активное сопротивление разрядной цепи обычно невелико. Следовательно, слагаемыми, содержащими $\frac{R^2}{L}$ в зависимостях (5) и (7), можно пренебречь ввиду их малости. Тогда круговая частота разрядного тока определится по формуле $\omega \approx \sqrt{\frac{1}{LC}}$ (8), а электродинамическое давление на заготовку - по формуле

$$P = \frac{M_0 \cdot 5^2 N^2 W}{L^2} \exp\left(-\frac{R}{L} t\right) \sin^2 \frac{t}{\sqrt{LC}}, \quad (9)$$

где $W = \frac{CU_0^2}{2}$ - энергия, запасаемая в батарее конденсаторов (энергия разряда).

Индуктивность разрядного контура при электромагнитном деформировании в основном определяется индуктивностью рабочего инструмента - индуктора. Индуктивность индуктора как без заготовки, так и с ней, можно определить расчетным путем по известным эмпирическим зависимостям.

С точки зрения теории расчета трансформаторов заготовку можно рассматривать как короткозамкнутую обмотку трансформатора. Эмпирическая формула для определения эквивалентной индуктивности рабочего инструмента с учетом влияния заготовки в этом случае имеет вид [1] :

$$L = \frac{M_0 \cdot 5^2 N^2 D_{12}}{L} \left(\delta + \frac{b_1 + b_2}{3} \right) \mu_0 \cdot 5 n^2 \delta (D \pm \delta), \quad (10)$$

где D_{12} - средний диаметр пары спираль индуктора - заготовка. Он равен $D_{12} = D \pm \left(\delta + \frac{b_1 + b_2}{3} \right) = D \pm \delta$. Знак плюс в формуле ставится, когда заготовка охватывает индуктор, а минус - когда заготовка расположена внутри индуктора;

D - расчетный диаметр спирали индуктора;

n - число витков спирали индуктора на единицу длины.

При подстановке последней зависимости в (9) получается следующее уравнение для определения электродинамического давления:

$$p = \frac{\xi W}{\pi e \delta (D \pm \delta)} \exp\left[\frac{-\Omega t}{\pi M_0 \xi n^2 e (D \pm \delta)}\right] \sin^2 \frac{t}{\sqrt{LC}} \quad (II)$$

Это уравнение показывает, что электродинамическое давление на заготовку зависит не только от энергии разряда и параметров индуктора, но и определяется зазором между заготовкой и спиралью индуктора. При деформировании заготовки указанный зазор непрерывно изменяется. Следовательно давления, действующие на заготовку во время ее деформирования, могут быть определены только при совместном решении уравнений электродинамики и уравнений, определяющих процесс деформирования заготовки, взятых из теории обработки металлов давлением. Для частного случая эта задача решалась в работе [8].

В настоящем сообщении проводилась оценка величины электродинамического давления на неподвижную заготовку. В первую очередь нас интересовали наибольшие давления, развиваемые электромагнитным полем при заранее выбранных параметрах разряда. Как видно из зависимости (II), максимально возможные давления на неподвижную заготовку получаются в первую четверть периода колебаний разрядного тока, т.е., когда $t = \frac{1}{4}T = \pi/2\omega = \frac{1}{2}\pi\sqrt{LC}$. Для указанного момента времени зависимость (II) переписывается в виде:

$$p_{\max} = \frac{\xi W}{\pi e \delta (D \pm \delta)} \exp\left[-\frac{\Omega}{2n} \sqrt{\frac{C}{\pi \xi M_0 \delta (D \pm \delta)}}\right] \quad (I2)$$

Анализ последней зависимости показывает, что амплитудные значения электродинамического давления возрастают с увеличением энергии разряда и числа витков спирали индуктора, приходящихся на единицу длины. Увеличение активного сопротивления разрядного контура влечет за собой падение амплитудных значений электродинамического давления. Оно также зависит от соотношения τ/c при соизмеримости указанных величин.

Составляющие энергии разряда изменяют амплитудные значения

давления следующим образом: электродинамические давления прямо-пропорциональны квадрату напряжения зарядки и являются сложной функцией от емкости батареи конденсаторов. Сложно зависят электродинамические давления и от зазора между заготовкой и токонесущей спиралью индуктора, а также от размеров индуктора.

Произведение $\pi^2 \delta (D \pm \delta)$ в уравнении (I2) представляет собой объем кольцевого зазора между заготовкой и спиралью индуктора, в котором сосредоточено магнитное поле. Обозначив $\delta = \pi \epsilon \delta (D \pm \delta)$ и проведя исследование зависимости (I2) на максимум, получим

$$\pi^2 \Omega^2 c = 8 n^2 m_0 \xi v \quad (I3)$$

или, подставив известные значения, будем иметь

$$\Omega^2 c = 32 \cdot 10^{-7} n^2 \xi \epsilon \delta (D \pm \delta) \quad (I4)$$

Активное сопротивление разрядной цепи и емкость батареи конденсаторов - обычно известные характеристики. Число витков спирали на единицу длины также известная величина, определяемая сечением провода. Следовательно, зависимость (I4) позволяет, задаваясь двумя неизвестными из трех (ℓ , δ , D), определить любую из них с целью получения оптимального разряда по наибольшему давлению. Например, по известным δ и D необходимо определить оптимальную длину спирали индуктора или оптимальное отношение $\psi = \ell/D$ длины спирали к ее диаметру. Из (I4) находим

$$\psi = \frac{10^7 \Omega^2 c}{32 n^2 \xi D \delta (D \pm \delta)} \quad (I5)$$

Таким образом, проведенный анализ показывает, что оптимальные соотношения между размерами индуктора и заготовки зависят от активного сопротивления и емкости разрядной цепи и не зависят от напряжения зарядки.

Л и т е р а т у р а

1. В а с и л и н с к и й С.Б. Вопросы теории и расчета трансформаторов. "Энергия", М. 1970.
2. Г и н з б у р г С.Г. Методы решения задач по переходным процессам в электрических цепях. "Высшая школа", М., 1967

В. Назаров Н.С., Роман О.В. и др. Деформирование трубчатых заготовок энергией импульсного магнитного поля. В сб. АН БССР "Пластичность и обработка металлов давлением". "Наука и техника", Минск, 1974.

УДК. 620.194.

Г.Н.Дубровская, В.А.Генкин, М.А.Дворецкая

ОБ ИЗМЕНЕНИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ФРИКЦИОННОГО СПЕЧЕННОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ТРЕНИИ

В литературе [1,2] имеются данные, показывающие, что в поверхностном слое трущихся материалов могут происходить химические и структурные превращения. В связи с этим значительный интерес представляет изучение химических изменений, происходящих в многокомпонентных материалах в процессе трения.

Типичным примером таких материалов являются фрикционные спеченные порошковые изделия, в состав которых может входить до десяти компонентов (медь, железо, олово, свинец, графит, асбест, муллит и т.д.).

Наличие свободного графита и асбеста не позволяет использовать методы [3,4], обычно применяемые для раздельного определения олова, свинца, железа, меди при их совместном присутствии.

Анализ фрикционных сплавов по методике [3], применяемой для сплавов, содержащих олово показал, что образующийся при растворении в азотной кислоте осадок мета-оловянной кислоты захватывает собой нерастворимые примеси - свободный углерод, асбест, что приводит к искажению результатов анализа. По применяемой в ИПМ методике считается, что присутствие свободного углерода не мешает определению олова при растворении сплава МК-5 в азотной кислоте.

Результаты наших исследований по определению олова в искусственных смесях, приготовленных с заранее заданным точным содержанием углерода, показали, что при содержании углерода больше 3% невозможно добиться сходимости параллельных определений при прокаливании осадков двуокиси олова до постоянного веса. По-видимому, в этих условиях углерод частично восстанавливает двуокись олова до металла.