

Г. М. ЛЕБЕДЕВ, Ю. М. ОВЧИННИКОВ, Ю. А. ПОПОВ, И. В. ВИТЕВСКИЙ,
Д. Н. ЛЫСЕНКО, В. Н. БОНДАЛЕТОВ

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНОГО МОЛОТА

В последние годы идут поиски новых методов правки, которые бы позволили эффективно осуществлять обработку крупногабаритных толстостенных деталей и узлов. С возникновением и успешным развитием магнитно-импульсной обработки металлов появилась возможность применения мощных импульсов магнитного поля для правки поверхностей с помощью переносного инструмента, который получил название магнитного молота.

Работами по практическому использованию этого нового вида правки интересуются многие организации и промышленные предприятия. В настоящей статье публикуются методика расчета параметров магнитного молота, который предназначался для правки хлопунув и неровностей диаметром около 200 мм со стрелой прогиба до 20 мм на толстостенных крупногабаритных деталях двойной кривизны из материала АМг6М толщиной до 12 мм.

Работа деформации, необходимая для правки хлопуна, определялась по формуле:

$$A = \frac{K}{1+n} \left(\frac{16}{3} \cdot \frac{b^2}{D^2} \right)^{1+n} \cdot \frac{\pi D^2}{4} \delta, \quad (1)$$

где k и n — постоянные величины для данного материала, подсчитанные с учетом динамического нагружения. Для АМг6М $k=59,5$ кг/мм²; $n=0,193$;

b — стрела прогиба хлопуна;

D — диаметр хлопуна;

δ — толщина материала.

При $D=200$ мм; $b=20$ мм; $\delta=2,5$ мм по формуле (1) полная

работа деформации $A=1,159$ кдж. Если коэффициент полезного действия магнитно-импульсной установки принять равным 4%, (подобное значение было получено на имеющейся установке МИУ-60), то для правки хлопуна за один удар потребуется энергия $W=28,8$ кдж. При осуществлении правки хлопуна за 3—5 ударов потребная энергия установки значительно снизится.

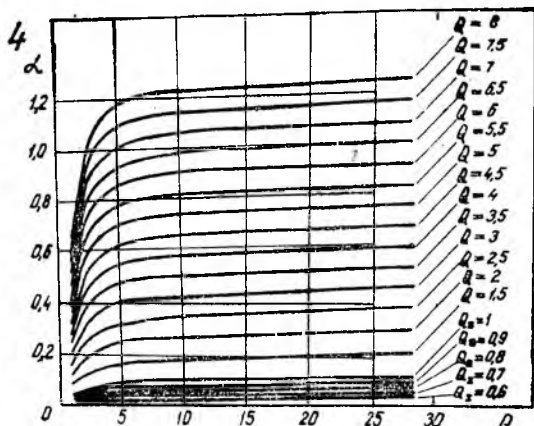
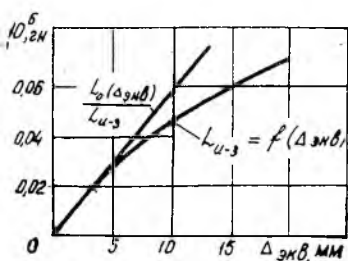
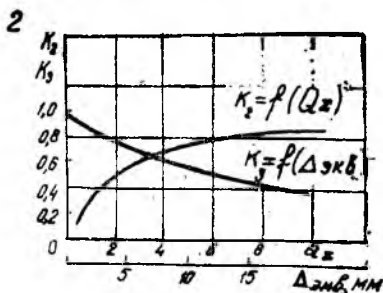
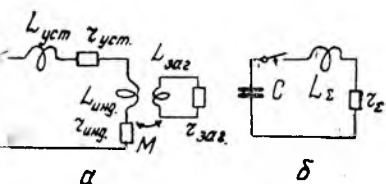


Рис. 1. Схема и экспериментальные зависимости для определения параметров магнитного поля. 1) а и б схемы замещения цепи разряда; 2) зависимости $k_2=f(\Delta_{экв})$ и $k_3=f(Q_1)$; 3) зависимости $L_{п-3} = f(\Delta_{экв})$; 4) зависимости $\alpha=f(Q_1, Q_2)$.

Для осуществления работы, подсчитанной по формуле (1), необходимо провести электромеханический расчет молота. Задачей этого расчета является оценка величины давления магнитного поля молота в зависимости от параметров установки, параметров системы «индуктор—заготовка» и числа витков индуктора.

Для подсчета величины давления рассматриваются полная трансформаторная (рис. 1а) и упрощенная (рис. 1б) схемы замещения при расчете разряда конденсатора на систему «индуктор заготовка».

На ее основе предлагается методика упрощенного расчета давления магнитного поля на заготовку.

Принимая, что в схеме (рис. 1б) ток равен [1]

$$i = U_{\text{co}} \sqrt{\frac{C}{L_{\Sigma}}} e^{-\frac{r_{\Sigma}}{2L_{\Sigma}} t} \sin \omega t \quad (2)$$

и суммарная индуктивность разрядного контура [2]

$$L_{\Sigma} = L_{\Sigma}(\Delta) \frac{Q_2^2}{Q_2^2 + 1} + \frac{L_n}{Q_2^2 + 1}, \quad (3)$$

легко рассчитать усилие на заготовку по формуле [1]:

$$F = \frac{1}{2} i^2 \frac{\partial L_{\Sigma}}{\partial \Delta}. \quad (4)$$

Здесь $Q_2 = \frac{\omega L_{\text{заг}}}{r_{\text{заг}}}$ — добротность заготовки; $L_{\text{заг}}$, $r_{\text{заг}}$ — индуктивность и активное сопротивление заготовки.

Подставляя в (4) значения тока (2) и изменения индуктивности разрядной цепи (3), получили зависимости усилия F от времени:

$$F(t) = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \frac{W_{\text{co}}}{\Delta_{\text{экр}}} e^{-\frac{r_{\Sigma}}{L_{\Sigma}} t} \sin^2 \omega t \quad (5)$$

и соответствующая максимальная величина усилия от времени

$$F_{\text{м}} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \frac{W_{\text{co}}}{\Delta_{\text{экр}}}. \quad (6)$$

Поделив $F_{\text{м}}$ на рабочую площадь заготовки S , которую предстоит выправлять, можно найти максимальное давление магнитного поля:

$$P_{\text{м}} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \frac{W_{\text{co}}}{S \Delta_{\text{экр}}}. \quad (7)$$

где $k_1 = \frac{L_{\text{н-з}}}{L_{\Sigma}}$ — коэффициент, показывающий, какая доля магнитной энергии разрядной цепи сосредоточена в системе «индуктор—заготовка»;

$k_2 = e^{-\frac{1}{Q} \arctg \xi Q}$ — коэффициент, учитывающий ослабление давления магнитного поля вследствие затухания разрядного тока к моменту достижения им первого максимума из-за активных потерь в разрядной цепи;

$k_3 = \frac{\partial L_{\Sigma}(\Delta)}{\partial \Delta}$ — коэффициент, учитывающий ослабление давления из-за неоднородности поля в зазоре;

$k_4 = \frac{Q_2^2}{Q_2^2 + 1}$ — коэффициент, учитывающий ослабление давления из-за проникновения поля сквозь контур заготовки;

$k_5 = \frac{L_0(\Delta_{\text{ЭКВ}})}{L_{\text{н-з}}}$ — коэффициент, характеризующий уменьшение тока раз-

ряда реальной системы «индуктор—заготовка»;

$W_{\text{со}}$ — энергия, запасаемая установкой;

$\Delta_{\text{ЭКВ}}$ — эквивалентный зазор, равный сумме геометрического зазора, эквивалентных зазоров в металле индуктора и заготовки, а также учитывающего витковые неоднородности поля витков зазора (0,2÷1,5 мм).

Для оценочных расчетов, исходя из условия оптимальной передачи энергии, можно пользоваться формулой:

$$P_{\text{м}} = (0,15 \div 0,5) \frac{W_{\text{со}}}{S \Delta_{\text{ЭКВ}}}. \quad (8)$$

Ниже приводится пример расчета магнитного молота, предназначенного для работы от магнитно-импульсной установки типа МИУ-60 конструкции Куйбышевского авиационного института. Характеристика установки МИУ-60: максимальная запасаемая энергия 65 кДж; диапазон рабочего напряжения 1÷10 кВ; собственная индуктивность 0,25 мкГн; емкость батарей конденсаторов 1330 мкФ; активное сопротивление разрядной цепи 0,00566 Ом, собственная частота разряда установки 8,8 кГц.

По изложенной методике был проведен расчет магнитного молота, предназначенного для правки заготовок из материала АМг6М толщиной 2,5 мм с диаметром неровности порядка 200 мм.

С увеличением толщины материала просачивание поля уменьшается, добротность заготовки увеличивается, а следовательно, повышается эффективность работы магнитного молота. Для облегчения вычисления коэффициентов были построены экспериментальные зависимости индуктивности индуктора, отнесенную к одному витку, от величины эквивалентного зазора $L_{\text{н-з}} = f(\Delta_{\text{ЭКВ}})$, зависимость $\frac{L_0(\Delta_{\text{ЭКВ}})}{L_{\text{н-з}}}$ и зависимости $k_2 = f(Q_2)$ и $k_3 = f(\Delta_{\text{ЭКВ}})$ (рис. 1, 2, 3).

Зависимость $\alpha = f(Q)$ (рис. 1,4) используется для расчета импульса давления, развиваемого магнитным молотом.

В результате расчета из условия максимальной передачи энергии в систему «индуктор—заготовка» ($k_1 \geq 0,95$) число витков должно быть больше или равно 11. По условию «запирания» магнитного поля ($Q_2 > 10 \div 15$) получено, что число витков должно быть не больше 10. Для более точного обоснования принятого числа витков был проведен проверочный расчет давления при разном числе витков.

В результате этого расчета было выбрано число витков, равное 10. При этом $k_1 = 0,946$; $k_2 = 0,43$; $k_3 = 0,61$; $k_4 = 0,962$; $k_5 = 1,17$.

Величина давления магнитного поля индуктора при этих условиях в зависимости от энергоемкости батарей сведена в таблицу 1.

По полученным данным был изготовлен плоский индуктор с десятью витками для магнитного молота и испытан. Испытания были

W	кдж	5	10	20	30	40	50
P	кг/см ²	45	90	180	270	360	450

проведены на образцах выпуклой формы из материала АМг6М Д16АТ толщиной 2,5÷12 мм. Эксперименты по правке магнитным молотом проводились при энергии от 6 до 21 кдж. Результаты экспериментов подтвердили правильность проведенных расчетов.

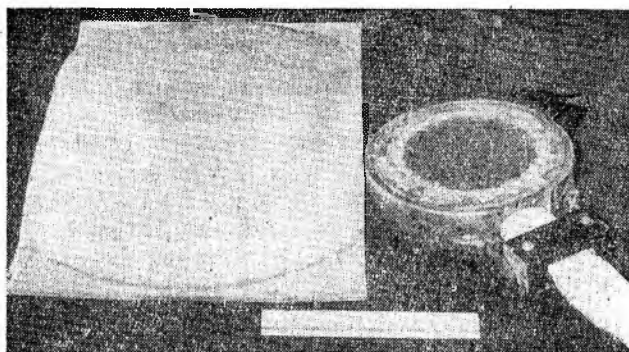


Рис. 2. Молот и сферический образец из материала АМг6М толщиной 12 мм после обработки

Например, при правке выпуклого образца толщиной 12 мм получена осадка материала на 7—9 мм за один импульс (рис. 2). Запасаемая энергия установки при этом составляла 20 кдж.

ВЫВОДЫ

1. Разработанная методика расчета позволила с достаточно близким приближением определить параметры магнитного молота.
2. Проведенные исследования магнитного молота на различных образцах показали способность этого инструмента осуществлять удовлетворительную правку выпуклостей и неровностей на выпуклых образцах из материала АМг6М толщиной от 2 до 12 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Р. Нейман, П. Л. Калантаров. Теоретические основы электротехники, ч. 1, Госэнергоиздат, 1959.
2. Ю. А. Попов. Методы расчетов импульсных электромагнитных процессов в индуктивно связанных системах, диссертация, 1969.