

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ИМПУЛЬСНОГО НАГРУЖЕНИЯ

Земцов М.И., Смертин С.А.

Вятский государственный университет, Киров, Россия

Ключевые слова: импульсная штамповка, коэффициент трения, измерительный стенд, динамическое трение, образец, контробразец, скоростной фоторегистратор.

Аннотация. В работе рассматривается экспериментальное исследование сил трения при импульсном (динамическом) нагружении, существенно влияющем на процессы обработки металлов давлением. Исследования проводились на измерительном стенде, основными элементами которого являются индуктор, кольцевой образец, выполненный из листового материала, контробразец, изготовленный из инструментальной стали, эластичный и жёсткий пуансоны для создания давления в трущейся паре. Перемещение контробразца относительно образца осуществлялось с помощью импульсного магнитного поля и фиксировалось скоростным фоторегистратором СФР-2М. Приводятся примеры графиков изменения коэффициента трения в зависимости от скорости перемещения контробразца относительно образца для различных материалов и различном давлении в трущейся паре без смазки и при её наличии.

EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE COEFFICIENT OF FRICTION UNDER IMPULSED LOADING CONDITIONS

Zemtsov M.I., Smertin S.A.

Vyatka State University, Kirov, Russia

Keywords: impulse stamping, coefficient of friction, measuring stand, dynamic friction, sample, contrary sample, speed photo recorder.

Abstract. The paper considers an experimental research of friction forces under impulse (dynamic) loading, which significantly influencing the processes of metalworking by pressure. The research was carried out on a measuring stand, the main elements of which are an inductor, a ring sample made of sheet material, a contrary sample made of tool steel, elastic and rigid punches to create pressure in a friction pair. The displacement contrary sample relative to the sample was carried out by means of impulsed magnetic field and recorded by a speed photo recorder SFR-2M (СФР-2М). Examples of charts of friction coefficient change depending on the speed of displacement of the contrary sample relative to the sample for different materials and different pressure in the friction pair without lubricant and if it available are given.

Известно, что силы трения играют существенную роль при изготовлении изделий обработкой металлов давлением [1]. От их величины в значительной степени зависит предельная степень формообразования, заполняемость отдельных элементов штампа, точность формы и размеров штампуемых деталей, качество их поверхности, потребное усилие прессового оборудования.

Отдельную группу среди многочисленных методов обработки давлением образуют импульсные методы, в частности, листовой штамповки [2]. К ним относятся электрогидроимпульсная штамповка, магнитоимпульсная и магнитоэластоимпульсная штамповка, штамповка

взрывом. Данные методы характеризуются высокими значениями импульсного давления, кратковременным его действием, высокими скоростями деформирования и деформации материала заготовки. Высокие давления и скорости изменяют характер трения между заготовкой и жестким формообразующим инструментом. В связи с этим целесообразна экспериментальная оценка влияния импульсного нагружения на процесс трения между заготовкой и инструментом, в частности, на коэффициент трения в трущейся паре заготовка – инструмент.

В условиях нестационарного режима, характерного для импульсной обработки, уместно коэффициент трения определять по косвенным параметрам, характеризующим процесс трения – скорости или ускорению элементов трущейся пары, с последующим расчетом силы и коэффициента трения.

Исследования проводились на экспериментальном стенде, схема которого приведена на рисунке 1.

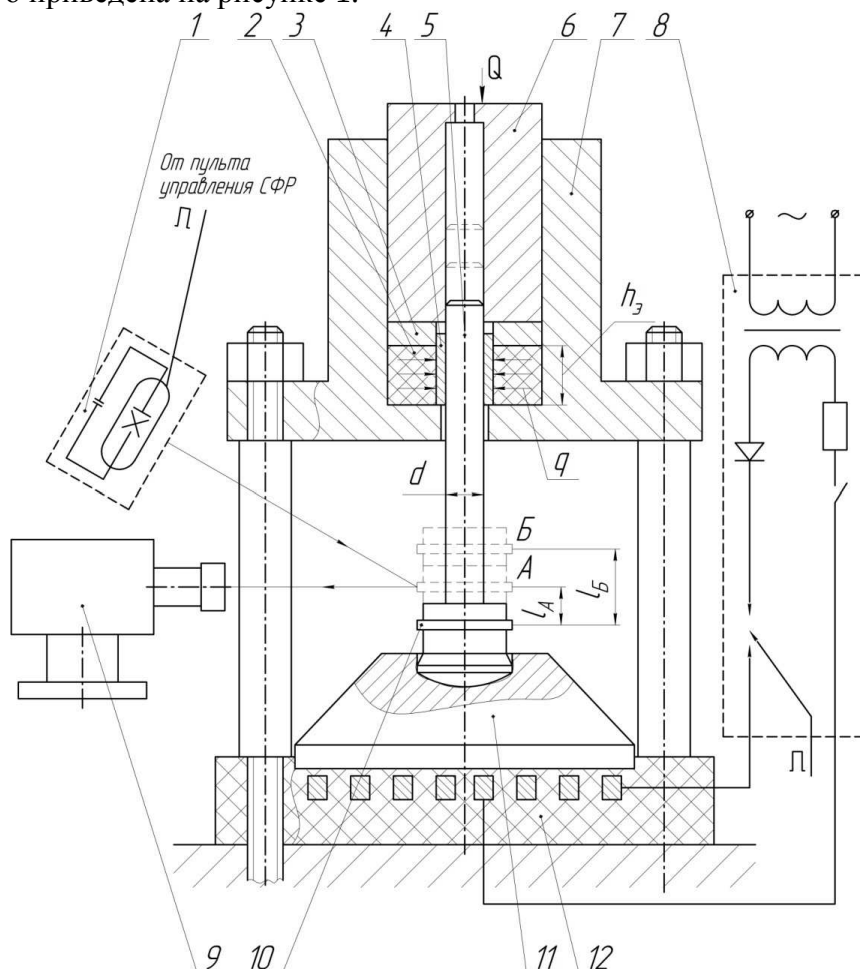


Рис. 1. Схема измерительного стенда для определения параметров динамического трения: 1 – блок подсветки; 2 – эластичный пуансон; 3 – нажимное кольцо; 4 – кольцевой образец; 5 – контрообразец; 6 – пуансон; 7 – контейнер; 8 – МИУ; 9 – фотокамера СФР-2М; 10 – кольцевой пояс; 11 – переходник; 12 – индуктор

Измерительный стенд работает следующим образом.

Кольцевой образец 4, выполненный из штампуемого материала и разрезанный вдоль оси, надевается на цилиндрический контрообразец 5, изготовленный из материала инструмента (штампа). Давление q между образцами создается с помощью эластичного пуансона 2 при приложении к нему нагрузки Q через пуансон 6 и нажимное кольцо 3 и определяется по формуле [3]:

$$q = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot (d_{\text{э.н.}}^2 - d_{\text{э.в.}}^2)},$$

где $d_{\text{э.н.}}$ и $d_{\text{э.в.}}$ – соответственно наружный и внутренний диаметр эластичного пуансона.

Параметры образца:

- материал: латунь Л63, алюминиевый сплав АМцМ, сталь 10;
- толщина: $S = 0,5$ мм;
- внутренний диаметр: $d = 16$ мм.

Параметры контрообразца:

- материал: инструментальная сталь У8А;
- твердость: 58 HRC;
- шероховатость: 0,63 мкм;
- диаметр: $d = 16$ мм.

Усилие Q создается ручным винтовым прессом и контролируется динамометром.

Импульсное нагружение осуществляется с помощью магнитоимпульсной установки (МИУ) 8 и индуктора 12. Импульсное магнитное поле, создаваемое индуктором, действует на переходник 11 (материал – сплав Д16Т), который перемещает контрообразец 5 относительно кольцевого образца 4.

Перемещение контрообразца фиксируется по кольцевому пояску 10 фотокамерой 9 сверхскоростного фоторегистратора СФР–2М.

Если за промежуток времени Δt поясок переместится из положения А в положение Б инерционного участка (рис. 1), то исходя из закона сохранения количества движения, будем иметь:

$$m \cdot (v_A - v_B) = F_{\text{тр}} \cdot \Delta t + G \cdot \Delta t,$$

закон сохранения энергии дает соотношение в виде:

$$m \cdot \frac{v_A^2 - v_B^2}{2} = F_{\text{тр}} \cdot (l_B - l_A) + G \cdot (l_B - l_A),$$

где l_A и l_B – величина перемещения пояска от исходного положения до точек А и Б; v_A и v_B – скорости движения контрообразца в данных точках; m и G – соответственно масса и вес движущихся тел.

Сила трения $F_{\text{тр}}$ определяется из соотношения:

$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot q \cdot \pi \cdot d \cdot h_{\text{э}},$$

где μ – коэффициент трения; d – диаметр контробразца; h_s – высота эластичного пуансона. Так как все G значительно меньше силы трения, то вторыми членами в правых частях уравнений можно пренебречь. С учетом этого соотношения для определения динамического коэффициента трения будут иметь вид:

$$\mu = \frac{m \cdot (\vartheta_A - \vartheta_B)}{\pi \cdot q \cdot d \cdot h_s \cdot \Delta t},$$

исходя из закона сохранения количества движения, и

$$\mu = \frac{m \cdot (\vartheta_A^2 - \vartheta_B^2)}{2 \cdot \pi \cdot q \cdot d \cdot h_s \cdot (l_B - l_A)},$$

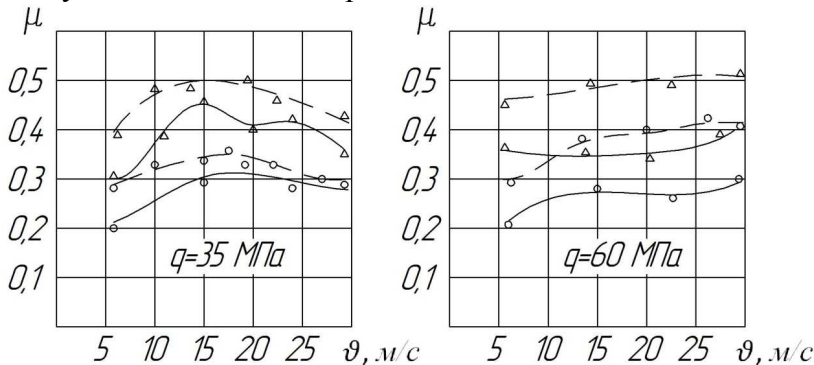
в случае выполнения закона сохранения энергии.

Данные выражения определяют среднее значение коэффициента трения на участке, заключенном между точками А и Б. Если разбить все движение контробразца на несколько участков, то можно получить зависимость коэффициента трения от скорости скольжения контробразца относительно образца, а также от величины контактного давления при постоянной скорости.

Так как при импульсном деформировании скорость и давление в трущихся парах, существенно влияющие на величину коэффициента трения, изменяются в широких пределах (возрастают от нуля до максимального значения, а затем падают до нуля), то очевидно, что коэффициент трения в процессе движения заготовки является переменной величиной.

При исследовании влияния данных параметров на коэффициент трения скорость движения контробразца изменялась от 6 до 30 м/с путем изменения напряжения зарядки батареи конденсаторов МИУ, давление – в пределах 30-70 МПа.

На рисунке 2 в качестве примера приведена зависимость коэффициента трения от скорости относительного движения элементов трущейся пары, имеющая разный характер для различных значений давления. Наличие смазки (ЦИАТИМ-201) дает уменьшение коэффициента трения в среднем на 25-35%, что является существенным для обработки давлением.



○ – сталь, △ – латунь, — – со смазкой, --- – без смазки
Рис. 2. Зависимость коэффициента трения от скорости движения контробразца относительно образца

Так как зависимости коэффициента трения от скорости и давления имеют сложный характер, то при технологических расчетах импульсной штамповки целесообразно использовать средний коэффициент динамического трения, который определялся для всего участка движения контробразца. В исследуемом диапазоне изменения скорости средний коэффициент трения принимает следующие значения: для латуни $\mu = 0,35 \dots 0,40$; для стали $\mu = 0,26 \dots 0,30$; для алюминиевого сплава $\mu = 0,33 \dots 0,37$.

Предложенный экспериментальный измерительный стенд с практической точки зрения позволяет расширить диапазон исследуемых материалов, скорость относительного перемещения трущихся тел и величины давления в трущейся паре применительно к конкретным условиям импульсной листовой штамповки.

Список литературы

1. Голенков В.А., Яковлев С.П., Головин С.А., Яковлев С.С., Кухарь В.Д. Теория обработки металлов давлением. – М.: Машиностроение, 2009. – 442 с.
2. Степанов В.Г., Шавров И.А. Высокоэнергетические импульсные методы обработки металлов. – Л.: Машиностроение, 1975. – 280 с.
3. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с.

References

1. Golenkov V.A, Yakovlev S.P., Golovin S.A., Yakovlev S.S. Theory of metalworking by pressure. – M.: Mechanical Engineering, 2009. – 442 p.
2. Stepanov V.G., Shavrov I.A. High-energy impulsive methods of metal working. – L.: Mechanical Engineering, 1975. – 280 p.
3. Romanovskii V.P. Handbook of cold stamping. – L.: Mechanical Engineering, 1979. – 520 p.

Земцов Михаил Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и дизайна	Zemtsov Mikhail Ivanovich – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of technology and design
Смертин Станислав Александрович – старший преподаватель кафедры технологии машиностроения	Smertin Stanislav Aleksandrovich – senior lecturer of the Department of technology of machine-building
stassmerten@rambler.ru	

Received 27.11.2024