

к.т.н. Коваленко В. М.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)

## АНАЛИЗ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ШТАМПОВКЕ ПОКОВОК С КОМБИНИРОВАННЫМ НАГРУЖЕНИЕМ

Приведены результаты теоретических исследований, выполнен анализ напряженно-деформированного состояния заготовки на поверхности контакта металла и силовых параметров при штамповке с кручением.

**Ключевые слова:** штамповка, усилие, напряжение, комбинированное нагружение, заготовка.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Повышение эффективности процессов ОМД, в частности штамповки и осадки, может быть достигнуто за счет применения активных сил трения, что приводит к снижению усилий деформирования и повышение эксплуатационных характеристик материала поковки. В основе этого метода лежит сообщение инструменту дополнительных движений, позволяющих осуществить заданные изменения траектории деформации и кинематических условий на границе инструмента с заготовкой [1-3]. В процессах, характеризующихся осесимметричной деформацией, такое движение обеспечивается вращением инструмента вокруг оси симметрии.

Горячая объемная штамповка – операция, наиболее часто встречающихся в практике ОМД, кроме того, она является составной частью многих других технологических процессов ОМД. Поэтому данные об особенностях и закономерностях этого процесса представляют теоретический и практический интерес.

**Постановка задачи.** Задачей данной работы является определение параметров  $P$  и  $\sigma_i$  при деформировании методом комбинированного нагружения (штамповка с кручением), а также анализ напряженно-деформированного состояния заготовки на поверхности контакта металла с инструментом.

**Изложение материала и его результаты.** При деформации методом комбинированного нагружения увеличиваем только

осевую  $\sigma_z$  и тангенциальную  $\tau$  составляющие компоненты в общем уравнении Губера-Мизеса-Генки [4], которые преобразовываем к виду:

$$\sigma_{кр}^i = \sqrt{\sigma_z^2 + 3 \cdot \tau^2}, \quad (1)$$

где  $\sigma_z$  – среднее осевое напряжение;  
 $\sigma_z = P/F$ ,  $F$  – площадь под верхним ручьем штампа.

Величину  $\tau$  для упругого тела определяем по уравнению:

$$\tau = \frac{16 \cdot M_{тр.обр.}}{\pi \cdot d^3}, \quad (2)$$

где  $M_{тр.обр.}$  – момент на верхней плите штампа, обусловленный трением торца образца.

Момент  $M_{тр.обр.}$  определяем по зависимости:

$$M_{тр.обр.} = M^{кр} - P^{кр} \cdot \frac{M}{P}. \quad (3)$$

Коэффициент трения винтовой пары определяем по формуле:

$$\mu_B = \frac{1}{r_B} \cdot \left( \frac{M}{P} - \frac{h_B}{2 \cdot \pi} \right), \quad (4)$$

где  $r_B$  – радиус винта;

$h_B$  – шаг резьбы винта.

Для определения среднего касательного напряжения  $\tau_0$ , действующего на поверхности контакта металл-инструмент, полагаем, что оно постоянно и не зависит от

радиуса вращающегося штампа. В этом случае:

$$\tau_{\theta} = \frac{12 \cdot M_{\text{тр.обр.}}}{\pi \cdot d^3}. \quad (5)$$

Из уравнения (3) и (4) следует, что средний коэффициент трения, обусловленный сдвиговой деформацией от кручения, равен:

$$\mu_{\theta}' = \frac{\tau}{\sigma_z^{\text{кр}}} = \frac{3}{d} \cdot \left( \frac{M^{\text{кр}}}{P^{\text{кр}}} - \frac{M}{P} \right). \quad (6)$$

Полагая, что касательное напряжение сдвига на поверхности образца под верхним штампом  $\tau < \sigma/2$ , можно вычислить значения радиальных касательных напряжений на поверхности контакта:

$$\tau_p = \sqrt{\tau^2 - \tau_{\theta}^2}, \quad (7)$$

а также оценить угол  $\alpha$  поворота вектора результирующего касательного напряжения  $\tau$  при штамповке с комбинированным нагружением.

При вращении верхней плиты приконтактные слои заготовки, плотно сцепленные с торцом ручья штампа, в том числе и за счет оптимально подобранного рельефа, сдвигаются при постоянном значении  $\tau \cong \sigma/2$ , не зависящем от нормального напряжения  $\sigma_z^{\text{кр}}$ . Это, кстати, обуславливает низкие, «кажущиеся» значения среднего коэффициента трения  $\mu_{\sigma}'$ . Результирующий вектор сдвиговых напряжений  $\tau$  и, соответственно, вектор деформаций, поворачиваются от радиального направления, характерного для обычного процесса штамповки, на достаточно большой угол  $\alpha$ , определяемый из соотношения  $\text{tg} \alpha = \tau_{\theta} / \tau_p$ . Касательное напряжение  $\tau_p$  по мере перемещения штампа уменьшается по сравнению с  $\tau = \sigma/2$  в среднем в 2 раза. Это приводит к сглаживанию эпюры нормальных напряжений  $\sigma_z^{\text{кр}}$  и уменьшению ее абсолютных значений, то есть равноценно действию смазочного материала.

Для приближенной оценки такого действия рассмотрим очаг деформации под верхней плитой штампа. Он характерен для процесса штамповки, для которого имеет место уравнение:

$$\sigma_z = \sigma \cdot \left( 1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{d}{h} \right), \quad (8)$$

где  $\mu$  - коэффициент трения;

$d, h$  - диаметр и высота образца соответственно.

Если взять расчетное соотношение  $\sigma_z / \sigma_z^{\text{кр}}$ , в котором  $\sigma_z$  определяется по уравнению (8) при  $\mu = 0,5$  (процесс обычной штамповки), а для расчета  $\sigma_z^{\text{кр}}$  (процесс комбинированного нагружения) использовать значения  $\mu = \tau_p / \tau$ , то в среднем для всех значений  $\mu$  оно составит  $\sigma_z / \sigma_z^{\text{кр}} = 1,12$ . Фактически среднее значение  $\sigma_z / \sigma_z^{\text{кр}} = P / P^{\text{кр}}$  составляет примерно 1,18. Неравенство  $1,18 > 1,12$  свидетельствует о том, что «положительное» влияние кручения распространяется на несколько больший очаг деформации, чем тот, что находится непосредственно под верхним ручьем штампа.

Осевое усилие  $P$ , подаваемое на винт, в этом случае равно:

$$P = P_M + P_{\Gamma}, \quad (9)$$

где  $P_M$  - усилие, необходимое для деформации материала заготовки;

$P_{\Gamma}$  - усилие, необходимое для вращения верхней плиты штампа и преодоления момента от  $M_{\text{тр.обр.}}$ .

Усилие  $P_M$ , определяющее величину нормального осевого напряжения  $\sigma_z$ , равно:

$$P_M = P - \frac{M_{\text{тр.обр.}} \cdot (\cos \alpha + \mu \cdot \sin \alpha)}{R_B \cdot (\sin \alpha - \mu_B)}, \quad (10)$$

где  $\alpha$  - угол наклона винтовой линии;

$R_B$  - средний радиус многозаходного винта;

$$\mu = 0.2.$$

**Выводы и направление дальнейших исследований.**

Выполнен анализ напряженно-деформированного состояния заготовки на поверхности контакта металла с инструментом и определены параметры деформирующего усилия  $P$  и напряжений  $\sigma$ ;

при штамповке с комбинированным нагружением. Результаты работы могут быть использованы при совершенствовании режимов штамповки поковок, а также при развитии методом управления пластическим формоизменением при штамповке.

**Библиографический список**

1. Субич В.Н. Объемная штамповка вращающимся инструментом / В.Н. Субич, В.А. Степанов, А.Е. Максименко // Кузнечно-штамповочное производство. - 1995. - №2. - С.19-21.
2. Леванов А.Н. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением / А.Н. Леванов, В.Л. Колмогоров, С.П. Буркин // М.: Металлургия. - 1976. - 476с.
3. Шнейберг А.М. Силовые параметры обратного выдавливания с вращением пуансона / А.М. Шнейберг, М.К. Сергеев, И.Л. Зайцева // Изв. вузов.: Машиностроение. - 1986. - №8. - С. 128-132.
4. Сторожев М.В. Теория обработки металлов давлением / М.В. Сторожев, Е.А. Попов // М.: Машиностроение. - 1977. - 423с.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. Новохатским А. М.*

*Статья поступила в редакцию 24.10.13*

**Коваленко В. М.** (ДонДТУ, м. Алчевск, Україна)

**АНАЛІЗ СИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИ ШТАМПУВАННІ ПОКОВОК З КОМБІНОВАНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ**

*Наведені результати теоретичних досліджень, був виконаний аналіз напружено-деформованого стану заготовки на поверхні контакту металу та силових параметрів у процесі штамповки з крутінням.*

**Ключові слова:** штампування, зусилля, напруження, комбіноване навантаження, заготовка.

**Kovalenko V. M.** (DonSTU, Alchevsk, Ukraine)

**ANALYSIS OF POWER SETTINGS AT STAMPING FORGINGS COMBINED HEATING LOADING**

*The results of theoretical investigations are presented, the fullid analysis tension deformation conditions storage in the surface contact metal and power parameters of stamping of rotation.*

**Key words:** stamping, stress, tension, combined loading, blank.