

УДК 621.7.044

Аргат Р. Г.
Драгобецкий В. В.
Пузырь Р. Г.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ В ОПЕРАЦИЯХ ВЫТЯЖКИ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК

В операциях обработки металлов давлением напряжения трения играют как положительную, так и отрицательную роль [1, 2]. Теоретические и экспериментальные исследования показывают, что напряжения трения между контактируемыми поверхностями можно регулировать в широких пределах, достигая при этом существенного изменения напряженного состояния и распределения деформаций в объеме заготовки [3].

Целью работы является теоретическое определение коэффициента трения, обеспечивающего получение качественных деталей. Для технологов большой практический интерес представляет вопрос определения и создания необходимых напряжений контактного взаимодействия, величина которых определяется из конкретных технологических задач, решаемых посредством подбора условий и параметров внешнего трения между заготовкой и инструментом. Такими задачами могут быть:

- а) обеспечение жесткого защемления фланца заготовки;
- б) достижение подачи материала фланца заготовки на заданную величину;
- в) предотвращение или существенное снижение потери устойчивости заготовки.

Рассмотрим конкретные технологические процессы.

1. Вытяжка деталей сложной формы.

При штамповке деталей, имеющих форму сложных оболочек, применяемых в автомобилестроении схема вытяжки, оказывается более сложной, чем при вытяжке изделий, имеющих форму поверхностей вращения [4]. В указанных случаях площадь заготовки, находящаяся под прижимным кольцом штампа, мала по сравнению с площадью остальной ее части. При этом пластическая деформация распространяется по всей площади заготовки. Рабочие части пуансона, матрицы и прижимного кольца образованы сложными криволинейными поверхностями. Теоретический анализ процесса вытяжки деталей сложной формы представляет собой более трудную задачу, чем исследование процессов вытяжки цилиндрических стаканов или призматических коробок. Как показывает опыт и результаты теоретических исследований, при вытяжке деталей сложной формы возникают явления, которые не наблюдаются при простой вытяжке. В частности, к таким явлениям относятся потеря устойчивости двухосного растяжения и повышенное использование пластичности листового металла в растянутых частях заготовки.

Применяя к анализу напряжений, возникающих в деталях сложной формы, методы внутренней геометрии поверхностей, получаем естественное обобщение теории линий скольжения на случай пространственных форм. Вместо плоских линий скольжения появляются пространственные линии скольжения, а вместо прямых – геодезические линии поверхности, углом поворота линий является геодезический поворот пространственной линии скольжения. Так как единичные векторы касательных всех кривых, проходящих через одну точку поверхности, лежат в одной плоскости, которая является касательной ко всем этим кривым, можно использовать локальные свойства плоского напряженного состояния для изучения напряженного состояния в деталях сложной формы [5].

Выберем правую ортогональную систему криволинейных координат u и v , и рассмотрим равновесие элемента заготовки или криволинейного перехода, подверженного двухосному растяжению (рис. 1). Будем считать, что силы трения распределены по толщине заготовки. Это допустимо вследствие малой толщины листового металла.

Проектируя силы, приложенные к элементу, на направление нормали получим:

$$pdudv = 2\sigma_u \frac{d\alpha}{2} wdv + 2\sigma_v wdu \frac{d\beta}{2} = \sigma_u w \frac{du}{R_u} dv + \sigma_v w \frac{dv}{R_v} du,$$

или

$$\frac{p}{w} = \frac{\sigma_u}{R_u} + \frac{\sigma_v}{R_v},$$

где p – удельное давление передаваемое пуансоном на металл;

Полученное уравнение является уравнением Лапласа. Вследствие наличия трения остальные два уравнения равновесия не обращаются в тождество.

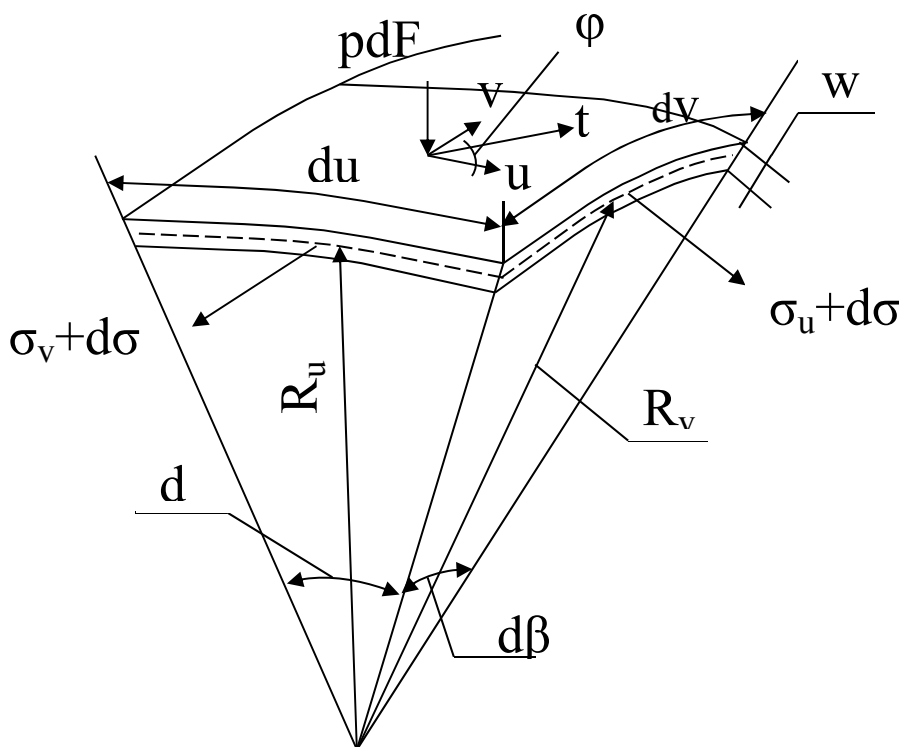


Рис. 1. Равновесие бесконечно малого элемента заготовки

Обозначим через φ угол, который составляет главный вектор сил трения t с осью u . Тогда получим:

$$t = \mu p d f, \quad t_u = t \cos \varphi, \quad t_v = t \sin \varphi,$$

$$\tau_u = \frac{t \cos \varphi}{w dv}, \quad \tau_v = \frac{t \sin \varphi}{w du},$$

где μ – коэффициент трения между металлом заготовки и пуансоном.

Проектируя силы, приложенные к элементу, на направление u , получим выражение:

$$d\sigma_u = \tau_u = \frac{t \cos \varphi}{w dv} = \frac{\mu p du \cdot \cos \varphi}{w}.$$

Откуда

$$\frac{d\sigma_u}{du \cdot \cos \varphi \cdot \mu} = \frac{p}{w} = \frac{\sigma_u}{R_u} + \frac{\sigma_v}{R_v}.$$

При $\sigma_u = \sigma_v$ и $\varphi = \frac{\pi}{4}$ найдем:

$$\frac{d\sigma_u}{\sigma_u} = \sqrt{2} \cdot \mu d\alpha. \tag{1}$$

Потеря устойчивости двухосного напряженного состояния второго вида наступает в момент, соответствующий достижению наибольшей нагрузки на диаграмме растяжения. Условие устойчивости имеет вид [6]:

$$d\sigma_u \cdot \Delta v \cdot \omega + \sigma_u \cdot d(\Delta v) \cdot \omega + \sigma_u \Delta v \cdot d\omega > 0,$$

или

$$\frac{d\sigma_u}{\sigma_u} + \frac{d(\Delta v)}{\Delta v} + \frac{d\omega}{\omega} > 0,$$

или

$$\frac{d\sigma_u}{\sigma_u} + d\varepsilon_v + d\varepsilon_z > 0.$$

Из условия несжимаемости находим окончательно:

$$\frac{d\sigma_u}{\sigma_u} > d\varepsilon_u. \quad (2)$$

Подставляя (1) в (2) будем иметь:

$$\sqrt{2} \cdot \mu d\alpha \geq d\varepsilon_u,$$

интегрируя, получим:

$$\sqrt{2} \cdot \mu(\alpha - \alpha_0) \geq (\varepsilon_u - \varepsilon_{u_0}),$$

где α_0 и ε_{u_0} – угол и деформация в начальной точке, за которую удобно принять центр симметрии или же, если последний отсутствует, одну из точек линии разветвления, остающуюся неподвижной в процессе формоизменения.

Окончательно, коэффициент трения, обеспечивающий штамповку без потери устойчивости, имеет вид:

$$\mu \geq \frac{(\varepsilon_u - \varepsilon_{u_0})}{\sqrt{2}(\alpha - \alpha_0)}. \quad (3)$$

2. Вытяжка с подпором торца заготовки. Радиальные напряжения на фланце заготовки в этом случае имеют вид [5]:

$$\bar{\sigma}_1 = \ln \frac{\bar{R}}{\bar{r}} + \bar{\tau} - \bar{p}_1,$$

где $\bar{\sigma}_1 = \sigma_1 \cdot \beta^{-1} \cdot \sigma_S^{-1}$ – относительные радиальные напряжения;

$\bar{\tau}$ – относительные напряжения трения;

$\bar{R} = \frac{R}{r_0}$ и $\bar{r} = \frac{r}{r_0}$ – относительные наружные радиусы заготовки и радиус, на кото-

ром находится рассматриваемый элемент;

r_0 – внутренний радиус очага деформации;

\bar{p}_1 – давление подпора.

Из условия осуществления процесса вытяжки ($\bar{\sigma}_1 < 1$) предельный коэффициент трения равен:

$$f_{np} \leq \bar{r} \cdot \bar{\delta} \left(1 - \ln \frac{\bar{R}}{\bar{r}} + \bar{p}_1 \right) \times \left[(0,5 \bar{p}_1 - \ln \bar{R} + 0,5) (\bar{R}^2 - \bar{r}^2) + \bar{R}^2 (\ln \bar{R} - 0,5) - \bar{r}^2 (\ln \bar{r} - 0,5) \right]^{-1}. \quad (4)$$

ВЫВОДЫ

Расчеты, проведенные в различных источниках [7, 8, 9], показали, что при высоких степенях вытяжки ($m > 1,5$) с жестким прижимом необходимо обеспечить очень низкие коэффициенты трения. При относительном наружном радиусе заготовки $\bar{R} = 3$, относительной

толщине заготовки $\bar{\delta} = 0,13$, давлении подпора $\bar{p}_1 = 0,5$ и относительном радиальном напряжении на внутренней границе очага деформации $\bar{\sigma}_1 = 0,4$, коэффициент трения должен быть $f = 0,0015$, а при $\bar{R} = 1,35$ - $f \leq 0,014$. Обеспечить такие значения коэффициента трения возможно при вытяжке с гарантированным зазором в условиях рубежного режима гидродинамического или чисто гидродинамического трения ($f = 0,008 - 0,02$), или же нанесении покрытия на трущиеся поверхности при смазке их минеральным маслом [9] ($f = 0,01 - 0,06$).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грудев А. П. Трение и смазки при обработке металлов давлением. Справ. изд. / А. П. Грудев, Ю. Б. Зильберг, В. Т. Тилик. – М. : Металлургия, 1982. – 321 с.
2. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением. / А. Н. Леванов, В. Л. Колмогоров [и др.] – М. : Металлургия, 1976. – 416 с.
3. Исаченков Е. И. Контактное трение и смазки при обработке металлов давлением. / Е. И. Исаченко. – М. : Машиностроение, 1978. – 208 с.
4. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. / В. П. Романовский. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 520 с.
5. Шофман Л. А. Теория и расчеты процессов холодной штамповки. / Л. А. Шофман. – М. : Машиностроение, 1964. – 375 с.
6. Томленов А. Д. Вопросы обработки металлов давлением. / А. Д. Томленов. – Изв. АН СССР, № 59, 1958. С. 56–62.
7. Пузырь Р. Г. Коэффициент трения при штамповке деталей, имеющих форму сложных оболочек. / Р. Г. Пузырь, В. В. Драгобецкий // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук. : КДПУ, 2004. – Вип. 6 (29), С. 68–69.
8. Пузырь Р. Г. Экспериментальное исследование результатов расчета оптимальных радиусов закругления матрицы с позиции минимума сопротивления трению. / Р. Г. Пузырь, В. В. Драгобецкий, В. Н. Шаповал // Луганск, 2005.
9. Полимеры в узлах трения машин и приборов. Справочник. / Е. В. Зиновьев, А. Л. Левин, М. М. Бородулин, А. В. Чичинадзе. – М. : Машиностроение, 1980. – 208 с.

REFERENCES

1. Grudev A. P. *Trenie i smazki pri obrabotke metallov davleniem. Sprav. izd.* / A. P. Grudev, Ju. B. Zil'berg, V. T. Tilik. – M. : Metallurgija, 1982. – 321 s.
2. *Kontaktное трение в процессah obrabotki metallov davleniem.* / A. N. Levanov, V. L. Kolmogorov [i dr.] – M. : Metallurgija, 1976. – 416 s.
3. *Isachenkov E. I. Kontaktное трение i smazki pri obrabotke metallov davleniem.* / E. I. Isachenko. – M. : Mashinostroenie, 1978. – 208 s.
4. *Romanovskij V. P. Spravochnik po holodnoj shtampovke.* / V. P. Romanovskij. – L. : Mashinostroenie. Leningr. otd-nie, 1979. – 520 s.
5. *Shofman L. A. Teorija i raschety processov holodnoj shtampovki.* / L. A. Shofman. – M. : Mashinostroenie, 1964. – 375 s.
6. *Tomlenov A. D. Voprosy obrabotki metallov davleniem.* / A. D. Tomlenov. – Izv. AN SSSR, № 59, 1958. S. 56–62.
7. *Puzyr' R. G. Kojefficient trenija pri shtampovke detalej, imejushhих formu slozhnyh obolochek.* / R. G. Puzyr', V. V. Dragobeckij // *Visnik Kremenchuc'kogo derzhavnogo politehnichnogo universitetu.* – Kremenchuk. : KDPU, 2004. – Vip. 6 (29), S. 68–69.
8. *Puzyr' R. G. Jeksperimental'noe issledovanie rezul'tatov rascheta optimal'nyh radiusov zakruglenija matricy s pozicii minimuma soprotivlenija treniju.* / R. G. Puzyr', V. V. Dragobeckij, V. N. Shapoval // *Lugansk, 2005.*
9. *Polimery v uzlah trenija mashin i priborov. Spravochnik.* / E. V. Zinov'ev, A. L. Levin, M. M. Borodulin, A. V. Chichinadze. – M. : Mashinostroenie, 1980. – 208 s.

Аргат Р. Г. – ст. преп. КрНУ
 Драгобецкий В. В. – д-р техн. наук, проф. КрНУ
 Пузырь Р. Г. – канд. техн. наук, доц. КрНУ

КрНУ – Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского, г. Кременчуг.

E-mail: vldrag@kdu.edu.ua

Статья поступила в редакцию 22.02.2014 г.