

УДК 621.7.044.2

Фролов Е. А.
Носенко О. Г.
Кравченко С. И.
Григоренко С. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ЗАГОТОВКИ ПРИ ОПЕРАЦИЯХ ВЫТЯЖКИ

Понятие качество изделия или машины включает многие показатели. Наибольшее применение в машиностроении получили единичные показатели технологического характера. Любая входящая в изделие деталь как объект производства находится в многократных связях и взаимодействиях с окружающими его деталями при производстве и связана с понятием наследственности. Под этим подразумевают явление переноса свойств обрабатываемой детали от предшествующих операций и переходов к последующим и в дальнейшем сказываемых на качестве всего изделия [1].

В современных условиях к качеству поверхности штампованных изделий предъявляются большие требования. Применение вытяжных матриц из высокопрочных материалов, исключающих схватывание, а также эффективных смазок позволяет получать изделия без рисков и царапин [2]. Поэтому реальным становится вопрос получения штампованных деталей с заданной, согласно технических требований, шероховатостью, отражающей один из основных технических показателей качества готового изделия и влияющей на его эксплуатационные характеристики.

Известно, что шероховатость штампованного листового изделия зависит от исходной шероховатости заготовки и инструмента, свойств смазки и контактного давления [1, 3]. Однако теоретически зависимость формирования шероховатости поверхности детали, получаемой глубокой вытяжкой от перечисленных факторов, мало исследована.

Целью работы является изучение процесса формирования шероховатости поверхности при штамповке вытяжкой.

Глубокая вытяжка, как наиболее трудоемкая операция листовой штамповки, характерна тем, что в процессе деформации контактные давления по образующей детали и давление от жесткого пуансона при штамповке распределяются неравномерно. Причем наибольшее давление по величине – это давление на вытяжной кромке матрицы, поэтому расчет выполняем по данному давлению [4].

В процессе вытяжки со смазкой, создающей граничное трение, начальная шероховатость изменяется в результате снятия микровыступов на поверхности заготовки и затекания деформируемого металла в микровпадины на матрице. В зависимости от геометрической формы микронеровностей оба эти процесса описываются соответствующими формулами. Анализ этих процессов проведен для неровностей треугольной формы.

Сопrotивление смятию σ_n треугольного микровыступа на заготовке определяем методом линии скольжения [4]. До величины смятия, при которой пластическая зона не достигла основания выступа:

$$\sigma_n = \sigma_s (1 + \theta + P_{жс} / \sigma_s), \quad (1)$$

где θ – угол поворота линии скольжения;

$P_{жс}$ – давление в смазке, замкнутой в пространстве между микровыступами на заготовке.

Определим его по формуле:

$$P_{жс} = E_{жс} \cdot \varepsilon_{жс}, \quad (2)$$

где $E_{жс}$ – объемный модуль упругости смазки;

$\varepsilon_{жс}$ – объемная деформация жидкой смазки:

$$\varepsilon_{жс} = 2h/H_0,$$

где $h = H_0 - H_1$ – высота смятия микровыступа (рис. 1);

H_0 и H_1 – начальная и текущая высота микровыступа.

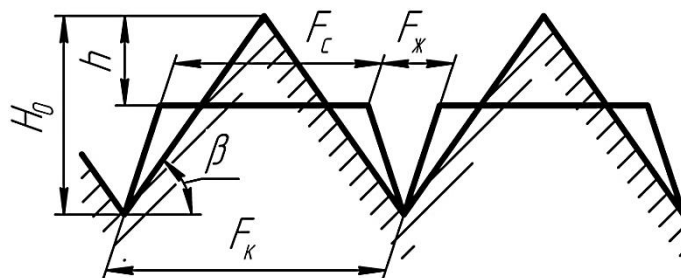


Рис. 1. Схема смятия микровыступа

Упрочнение металла в пластической зоне в процессе смятия микровыступа в среднем:

$$\sigma_s = c\varepsilon_i^n, \quad (3)$$

где c и n – константы деформируемого металла;

ε_i – интенсивность деформации в пластической зоне микровыступа.

Среднее значение интенсивности деформации $\varepsilon_{i\text{ср}}$, для пластической зоны выступа определим согласно методике описанной в работе [5].

Учитывая, что в процессе вытяжки площади заготовки и детали не изменяются, можно принять (рис. 1):

$$P_n F_k = \sigma_s F_c + P_{жс} E_{жс}, \quad (4)$$

где P_n – давление на вытяжном ребре матрицы;

$F_k, F_c, F_{жс}$ – соответственно фактические площади: контакта, смятия выступа и занимаемая смазкой.

С учетом выражений (1) и (2) формула (3) принимает вид:

$$P_n F_k = \sigma_s (1 + \theta) F_c + E_{жс} \frac{2h}{H_0} F_k, \quad (5)$$

Значение F_c площади смятия выступов определим из геометрических соотношений микровыступа в момент пластической деформации [4]:

$$F_c = 2h \frac{1 + \sin \theta}{\cos \theta}. \quad (6)$$

Значение площади F_k вычислим из геометрических соотношений микровыступа до начала пластической деформации (рис. 1):

$$F_k = 2H_0 \operatorname{ctg} \beta, \quad (7)$$

где β – угол наклона боковой грани выступа к геометрической поверхности.

Подставляя значения F_c и F_k в формулу (4), получим:

$$\frac{h}{H_0} = \frac{P_n}{\sigma_s(1+\theta) \frac{1+\sin \theta}{\cos \theta \operatorname{ctg} \beta} + 2E_{жс}}. \quad (8)$$

Таким образом, текущая высота микровыступа:

$$H_1 = H_0 \left[1 - \frac{P_n}{\sigma_s(1+\theta) \frac{1+\sin \theta}{\cos \theta \operatorname{ctg} \beta} + 2E_{жс}} \right]. \quad (9)$$

Уменьшение высоты микровыступа вследствие деформации заготовки можно принять пропорциональным увеличению длины линейной образующей:

$$\frac{l_0}{l} = \frac{H_1}{H_0} = \frac{2}{A \cdot k}, \quad (10)$$

где l_0 – начальная длина линейной образующей;

$$l_0 = \frac{D_{заг} - d_n}{2},$$

где $D_{заг}$ – диаметр заготовки;

d_n – диаметр пуансона;

l – текущая длина линейной образующей или высота вытянутого стакана;

k – коэффициент вытяжки ($k \geq 1$);

$A = D_T / D_{заг}$ – коэффициент, учитывающий положение точки, для которой определяется шероховатость (D_T – текущий диаметр).

Тогда высота микровыступа

$$H_1 = H_0 \left[1 - \frac{P_n}{\sigma_s(1+\theta) \frac{1+\sin \theta}{\cos \theta \operatorname{ctg} \beta} + 2E_{жс}} \right] \left(\frac{2}{A \cdot k + 1} \right). \quad (11)$$

Величину затекания металла в микровпадины на инструменте определяем по уравнению [6]:

$$H_2 = H_u \left[1 - \frac{1}{\exp \left((1 + \mu \cdot \operatorname{tg} \beta) \sigma_s + 2E_{жс} \right)} \right], \quad (12)$$

Давление на вытяжном ребре матрицы при штамповке:

$$P_n = \sigma_p \frac{S_0}{r_M}, \quad (13)$$

где σ_p – растягивающее напряжение;

S_0 – толщина материала;

r_M – радиус матрицы.

Высота неровностей на поверхности изделия после штамповки определяется как сумма высоты микровыступа H и глубины затекания металла в микровпадину на инструменте H_u :

$$H = H_0 \left[1 - \frac{\sigma_p \frac{S_0}{r_M}}{\sigma_s (1 + \theta) \frac{1 + \sin \theta}{\cos \theta \operatorname{ctg} \beta} + 2E_{жс}} \right] \left(\frac{2}{A \cdot k + 1} \right) + H_u \left[1 - \frac{1}{\exp \left((1 + \mu \cdot \operatorname{tg} \beta) \sigma_s + 2E_{жс} \right)} \frac{\sigma_p \frac{S_0}{r_M}}{\sigma_s + 2E_{жс}} \right]. \quad (14)$$

По данной формуле определяются значения шероховатости для любого момента вытяжки. Однако, ввиду сложности определения растягивающих напряжений p и коэффициента A , по ходу процесса вытяжки целесообразно ограничиться определением высоты неровностей H для максимальных значений растягивающих напряжений, величину которых находим по номограмме Шофмана [7]. Тогда формула для определения величины H имеет вид:

$$H = H_0 \left[1 - \frac{\sigma_p \max \frac{S_0}{r_M}}{\sigma_s (1 + \theta) \frac{1 + \sin \theta}{\cos \theta \operatorname{ctg} \beta} + 2E_{жс}} \right] \left(\frac{2}{0,8 \cdot k + 1} \right) + H_u \left[1 - \frac{1}{\exp \left((1 + \mu \cdot \operatorname{tg} \beta) \sigma_s + 2E_{жс} \right)} \frac{\sigma_p \max \frac{S_0}{r_M}}{\sigma_s + 2E_{жс}} \right]. \quad (15)$$

Анализ формулы показывает, что наибольшее влияние на шероховатость штампованного изделия оказывает первая составляющая (93...99%). Влияние второй составляющей (величины затекания материала в инструмент) мало и наиболее ощутимо (6...8%) при исходной шероховатости инструмента, соответствующей 6...7 кл. чистоты.

Результаты теоретического анализа проверены экспериментально. Изменение шероховатости поверхности заготовки изучалось при вытяжке цилиндрических стаканов $d = 50$ мм из стали 10. Толщина металла была 1 мм, коэффициент вытяжки $k = 2$; в качестве смазки в экспериментах применялся 20% водный раствор мыла ($E_{жс} = 21 \cdot 10^3$ кг/см²). Шероховатость исходной заготовки соответствовала 7...9 кл., использовались заготовки с шероховатостью после прокатки, часть заготовок подвергалась шлифованию (для улучшения поверхности) и токарной обработке (для улучшения качества поверхности). Шероховатость инструмента соответствовала 8 кл. чистоты.

Размеры микронеровностей заготовки и вытянутого изделия определяли по профилограммам, записанным с помощью профилометра.

На рис. 2 приведен характер изменения шероховатости по высоте вытянутого стакана. Из графика видно, что высота микровыступов уменьшается к концевой части стакана. Изменения шероховатости околдонной части (точка б), по сравнению с исходной, не наблюдается. Значительное улучшение качества поверхности концевой части изделия (точка 1) объясняется утолщением фланца заготовки к концу процесса вытяжки и его утонением при переходе через закругленную кромку матрицы.

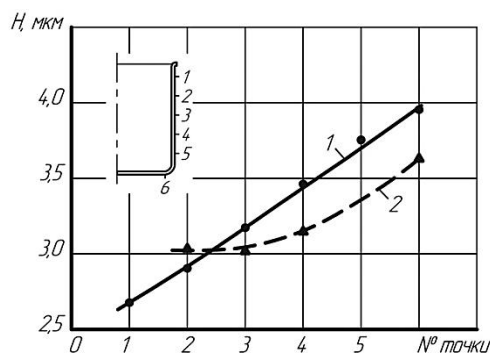


Рис. 2. Характер изменения шероховатости по высоте вытянутого изделия, $H_0 = 4$ мкм

Среднее значение шероховатости по высоте стакана, определенное экспериментально (без учета точек 1 и 6), равно 3,12 мкм, теоретическое по формуле (14) – 3,28 мкм и по формуле (15) – 3,05 мкм. Как видно из этих графических зависимостей, представленных на (рис. 2), результаты теоретического экспериментального исследования удовлетворительно согласуются между собой.

ВЫВОДЫ

Полученные в работе теоретические зависимости могут быть использованы для практического определения шероховатости штампованного изделия при операциях глубокой вытяжки изделий из различных материалов и сплавов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фролов Е. А. Показатели качества современных технологических систем формообразования сложнорельефных деталей [Текст] / Е. А. Фролов // *Технологические системы*. – 2002. – № 3. – С. 29–32.
2. Драгобецкий В. В. Расширение возможностей моделирования процесса сложной вытяжки [Текст] / В. В. Драгобецкий, О. В. Троцко, С. В. Шлык // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр.* – Краматорск : ДГМА, 2012. – № 2 (31). – С. 30–34.
3. Пузырь Р. Г. Минимизация сил трения в условиях упругопластического деформирования [Текст] / Р. Г. Пузырь, В. В. Драгобецкий // *Вестник Кременчугского государственного политехнического университета : сб. науч. тр.* – Кременчуг, 2002. – Вып. 6 (ч. 1). – С. 27–29.
4. Соколовский В. В. Теория пластичности [Текст] / В. В. Соколовский. – М. : Высшая школа, 1969. – 264 с.
5. Покрас И. Б. Определение истинной площади контакта при пластическом деформировании в условиях граничного трения [Текст] / И. Б. Покрас // *Исследование машин и технологии кузнечно-штамповочного производства : сб. науч. тр.* – Челябинск, 1974. – № 143. – С. 35–39.
6. Покрас И. Б. Изменение шероховатости поверхности заготовки при осадке граничной смазкой [Текст] / И. Б. Покрас, Г. П. Угланов // *Исследование машин и технологии обработки металлов давлением : сб. науч. тр.* – Ижевск, 1976. – Вып. 1. – С. 84–87.
7. Шофман Л. А. Теория и расчеты процессов холодной штамповки [Текст] / Л. А. Шофман. – М. : Машиностроение, 1964. – 345 с.

Фролов Е. А. – д-р техн. наук, проф., зав. каф. ПНТУ;
 Носенко О. Г. – аспирант ПНТУ;
 Кравченко С. М. – канд. техн. наук, доц. ПНТУ;
 Григоренко С. А. – нач. бюро ПАО «ПМЗ».

ПНТУ – Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава.

ПАО «ПМЗ» – Публичное акционерное общество «Полтавский машиностроительный завод», г. Полтава.

E-mail: andr_gum@ukr.net