

И. М. ШИМАНОВИЧ, канд. техн. наук,
О. А. ШИМАНОВИЧ (БНТУ)

АНАЛИЗ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РОТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКЕ С УТОНЕНИЕМ ШАРИКОВЫМИ МАТРИЦАМИ ПЛАНЕТАРНОГО ТИПА

Ротационная вытяжка представляет собой пластическое формоизменение материала заготовки, находящейся на вращающейся оправке, при значительном обжатии стенки заготовки деформируемыми элементами (шариками или роликами) и ее удлинении в продольном направлении. Течение металла относительно направления продольной подачи деформирующего инструмента определяет способ ротационной вытяжки – прямой или обратный.

При прямом способе обработки происходит принудительное утонение стенки заготовки и ее удлинение в направлении продольного перемещения деформирующих тел качения. При обратном способе материал заготовки, утоняясь, движется в противоположном направлении относительно перемещения деформирующего инструмента.

Совершенствование ротационной вытяжки и создание специального оснащения и оборудования позволяет с успехом использовать этот процесс при разной серийности производства, что наиболее ценно в случае постоянно меняющейся номенклатуры изделий. Последнее особенно важно при организации гибких производственных процессов и производств.

Наиболее существенным преимуществом ротационной вытяжки перед другими традиционными способами обработки тонкостенных трубчатых заготовок является возможность достижения высокой точности геометрических размеров получаемых оболочек. Вместе с тем обеспечивается значительная экономия материала в результате использования более простых по форме и способу изготовления заготовок, а также получение высоких механических свойств готовой детали за счет упрочняющего эффекта при холодном пластическом деформировании полуфабриката.

В процессе ротационной вытяжки с утонением в матрицах планетарного типа, оснащенных деформирующими шарами, последние

обычно приводятся в движение от обрабатываемой заготовки, причем движение это является сложным. Его составляющие – относительное вращение вокруг собственного центра и переносное вращательное движение этого центра вокруг оси заготовки.

Таким образом, в процессе ротационной вытяжки вектор результирующего усилия, передаваемого отдельным деформирующим элементом (шаром), ориентирован в пространстве произвольным образом. Для его определения требуется знание осевой, радиальной и тангенциальной составляющих, которые зависят от большого числа переменных параметров, а также способа осуществления процесса (прямого или обратного). Сложность определения полного усилия ротационной вытяжки обуславливается еще и тем, что необходимо знать площадь пятна контакта деформирующего шара с заготовкой.

Поверхность контакта деформирующего элемента с обрабатываемой заготовкой при ротационной вытяжке шариковыми матрицами планетарного типа представляет собой часть эллипсоида [1]. Его проекция на плоскость, перпендикулярную вектору результирующего усилия, может быть принята за площадку контакта. При этом учитываются величины подачи инструмента, упругой и пластической деформации, однако не принимаются во внимание влияние сил трения и микрогеометрии поверхности заготовки. Последнее справедливо при допущении, что абсолютно жесткие микронеровности, расположенные с постоянной плотностью на контурной поверхности шара, в процессе контактирования полностью внедряются в пластически деформируемый металл [2]. Кроме того, внеконтактная деформация в виде волны металла впереди давящего элемента позволяет не принимать во внимание исходную шероховатость обрабатываемой поверхности [3, 4].

Учитывая принятые допущения, определим площадь пятна контакта деформирующего шара с заготовкой при ротационной вытяжке (рис. 1). Площадка контакта $PMNP_2P_1$ ограничивается дугами разных эллипсов. Линия P_1PM – дуга эллипса, являющаяся линией выхода из контакта деформирующего шара и обрабатываемой заготовки (с учетом упругой деформации). Линия MN – линия выхода из контакта шара с поверхностью эллипсоида. Дуги эллипсов P_1P_2 и P_2N ограничивают контактную площадку за линией центра шарика.

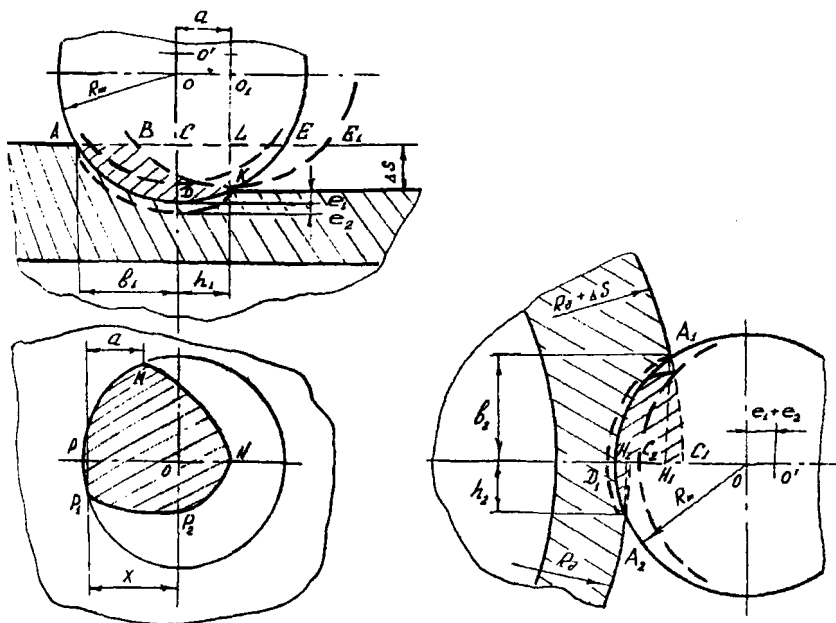


Рис. 1. Схема к определению площади пятна контакта деформирующего шара с заготовкой

Проекция очага деформации на фронтальную плоскость является площадью F_1 фигуры, полученной между двумя окружностями разного радиуса, центры которых смещены в одной плоскости на величину расстояния α между осями следов соседних шаров на цилиндрической поверхности заготовки

$$F_1 = F_{ADE} - 0,5F_{BKE_1} - F_{LKE}. \quad (1)$$

Полученные фигуры ADE и BKE_1 можно приближенно считать сегментами, а LKE – треугольником. Определяя площади этих фигур, будем иметь

$$F_1 = \frac{9\Delta S + 24e_2}{30} \sqrt{2R_{ш}B_1} + \frac{8B_2}{15} \sqrt{2R_{ш}B_1 + \Delta S(\Delta S + 2e_2)} - \\ - \frac{\Delta S}{2} (0,8\sqrt{2\Delta S(R_{ш} + B_3)} - \Delta S^2 + \frac{8}{15}\sqrt{2\Delta S(R_{ш} + B_3)} - \alpha), \quad (2)$$

где $B_1 = \Delta S + e_1 + e_2$; $B_2 = \Delta S + e_2$; $B_3 = e_1 + e_2$; e_1 – местная упругая деформация шарика; e_2 – местная упругая деформация обрабатываемого материала; ΔS – абсолютное обжатие стенки заготовки по толщине.

Площадь проекции очага деформации на горизонтальную плоскость выражается зависимостью [1]

$$F_2 = \frac{1}{3} \left(\frac{b_2}{b_1} \left(2(b_1 + h_1) \sqrt{b_1^2 - (x-a)^2} + (2b_1 - x) \sqrt{b_1^2 - x^2} \right) + \right. \\ \left. + 2h_2(x + h_1) \right), \quad (3)$$

составляющие которой получены при условии, что ΔS достаточно мало.

Подобное допущение (незначительности обжатия) правомочно для случая поверхностно-пластической деформации (ППД), имеющей целью поверхностно-упрочняющую обработку изделий, и не может быть использовано при ротационной вытяжке тонкостенных оболочек.

С учетом сказанного определим составляющие уравнения (3) для рассматриваемого случая ротационной вытяжки:

$$b_1 = \sqrt{2R_{ш}B_1 + \Delta S(\Delta S + 2e_2)}; \quad b_2 = \sqrt{B_1B_4(2R_{ш} + B_1B_4 - 2e_1)}; \\ h_1 = \sqrt{2R_{ш}e_1}; \quad h_2 = \sqrt{B_3B_4(2R_{ш} + B_3B_4 - 2e_1)};$$

где $B_4 = R_d / (R_d + R_{ш})$; $R_{ш}$ – радиус деформирующих шаров; R_d – радиус оболочки после деформации.

Проекция очага деформации на профильную плоскость может быть аппроксимирована рядом полусегментов

$$F_3 = F_{A_1 H_1 D_1} + F_{A_1 H_1 C_1} + F_{A_2 D_1 H_2} + F_{A_2 H_2 C_2}, \quad (4)$$

или с учетом входящих в выражение (4) величин

$$F_3 = \left\{ \begin{aligned} & \frac{2}{15} ((A_1 - e_1) \sqrt{A_1} (3\sqrt{2R_{\text{ш}}} + 2\sqrt{2R_{\text{ш}} + A_1 - 2e_1})) + \\ & + ((1 - B_4) B_1 (3\sqrt{2R_{\text{ш}} A_1} + \\ & + 2\sqrt{2\Delta S B_4 (R_{\text{ш}} + (B_4 - 2) B_3) + 2B_3 (R_{\text{ш}} + \Delta S)})) + \\ & + ((A_2 - e_1) \sqrt{A_2} (3\sqrt{2R_{\text{ш}}} + \\ & + 2\sqrt{2R_{\text{ш}} + A_2 - 2e_1})) + ((1 - B_4) B_3 (3\sqrt{2R_{\text{ш}} A_2} + \\ & + 2\sqrt{2R_{\text{ш}} A_2 + (1 - B_3)^2})), \end{aligned} \right. \quad (5)$$

где $A_1 = B_1 B_4$, $A_2 = B_3 B_4$.

Поскольку составляющие выражения по определению площади пятна контакта зависят от целого ряда параметров процесса ротационной вытяжки, можно сделать вывод о том, что площадь контактной поверхности представляет собой функцию

$$F = f(S_0, \Delta S, R_{\text{ш}}, f, m, e_1, e_2),$$

где S_0 – толщины стенки заготовки до деформации; f – величина осевой подачи материала заготовки на один оборот оправки; m – число деформирующих шаров.

С учетом полученных зависимостей по определению площади пятна контакта можно прогнозировать основные технологические параметры процесса ротационной вытяжки. Ранее авторами было показано, что как количественная оценка усилия ротационной вытяжки, так и качество получаемого изделия связано с определением площади контакта деформирующего элемента с обрабатываемой заготовкой [4–8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Папшев, Д. Д. О площадке контакта при обкатывании наружных цилиндрических поверхностей шариком и роликом / Д. Д. Папшев // Известия вузов. Машиностроение. – 1966. – № 1. – С. 45–48.
2. Голембиевский, А. И. Методика определения поверхности контакта обрабатываемой детали и деформирующего элемента при обкатывании / А. И. Голембиевский // Известия АН БССР, сер. физ.-техн. наук. – 1972. – № 1. – С. 58–62.
3. Коновалов, Е. Г. Чистовая и упрочняющая ротационная обработка поверхностей / Е. Г. Коновалов, В. А. Сидоренко. – Мн.: Вышэйш. шк., 1968. – 364 с.
4. Внеконтактная деформация при ротационной вытяжке шариковыми матрицами / Й. Бача [и др.] // SO-MAT-TECH 2005, 13 International Scientific Conference, Tрнава, 20–21 October 2005. – P. 18–22.
5. Добровольский, И. Г. Определение силовых параметров процесса ротационной вытяжки тонкостенных оболочек / И. Г. Добровольский, А. В. Степаненко, И. М. Шиманович // Известия АН БССР, сер. физ.-техн. наук. – 1983. – № 4. – С. 3–8.
6. Добровольский, И. Г. Энергосиловые характеристики процесса ротационной вытяжки / И. Г. Добровольский, А. В. Степаненко, И. М. Шиманович // Высокопроизводительные металлосберегающие процессы обработки металлов: тезисы докл. республ. конф. – Кишинев, 1984. – С. 151–152.
7. Шиманович, И. М. Энергосиловые параметры процесса ротационной вытяжки / И. М. Шиманович // Прочность, пластичность и новые процессы получения и обработки материалов: тезисы докл. XIV конф. молодых ученых АН БССР. – Минск, 1985. – С. 12.
8. Добровольский, И. Г. Шероховатость поверхности при ротационной вытяжке / И. Г. Добровольский, А. В. Степаненко, И. М. Шиманович // Металлургия. – 1985. – Вып. 19. – С. 6–8.