

Митичкина Н.Г., Бут А.Ю.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ОДНОПЕРЕХОДНОЙ ШТАМПОВКИ ТРОЙНИКОВ

Mitichkina N.G., But A.J.

MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINATION OF POWER PARAMETERS FOR UNJUNCTION STAMPING OF TEE PIECES

Предложена математическая модель, позволяющая определить энергосиловые параметры процесса однопереходной штамповки тройников. Рабочие усилия рассчитываются отдельно для составляющих этапов процесса – вытяжки отвода на стенке трубной заготовки, пробивки его дна и спрямления пробитого контура в стенку ответвления готовой детали. Приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие адекватность предложенной модели и возможность её применения при проектировании указанного технологического процесса.

***Ключевые слова:** тройник, штамповка, эластичная среда, напряжение течения, усилие, давление.*

Введение

Тройники трубопроводных систем – детали, широко используемые в различных отраслях промышленности и народного хозяйства. Наиболее универсальными и надёжными являются цельноштампованные тройники.

Ранее в работах [1–5] предложен новый способ изготовления цельноштампованных тройников, позволяющий получать готовое изделие за один технологический переход. Для практического применения этого способа необходим полный расчёт технологического процесса, частью которого является правильный выбор оборудования.

Цель

Целью работы является разработка адекватной математической модели для определения энергосиловых параметров процесса однопереходной штамповки тройников.

Математическая модель

На рис. 1 показан схема способа изготовления цельноштампованных тройников. Поскольку процесс однопереходной штамповки тройников включает три характерных этапа – вытяжку отвода, пробивку его дна и спрямление пробитого контура [1–5], определение его энергосиловых параметров целесообразно производить последовательно для каждого из этих этапов.

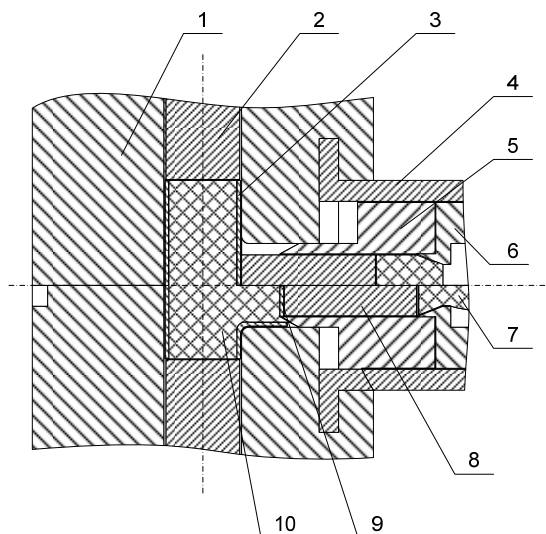


Рис. 1. Принципиальная схема нового способа однопереходной штамповки тройников: 1 – разъемная матрица; 2 – нажимной пуансон; 3 – заготовка; 4 – контейнер; 5 – пробивной элемент; 6 – фильера; 7 – эластичный буж; 8 – подпор; 9 – отход; 10 – эластичный пуансон

Так как поверхность торцевого пуансона контактирует с заготовкой и эластичным наполнителем, рассматриваем передаваемое им усилие, необходимое для вытяжки P_6 , как сумму двух составляющих

$$P_6 = P_3 + P_{эл}, \quad (1)$$

где P_3 – усилие, передаваемое на торец заготовки;

$P_{эл}$ – усилие, передаваемое на торец эластичного формирующего пуансона.

Каждое из них, в свою очередь, состоит из ряда элементарных усилий.

Усилие на торец заготовки

$$P_3 = P_\sigma + P_\mu, \quad (2)$$

где P_σ – усилие осевой осадки заготовки, возникающее вследствие её сопротивления пластическому деформированию;

P_μ – усилие, необходимое для преодоления сил трения между заготовкой и матрицей.

Усилия, входящие в состав формулы (2), могут быть найдены из следующих соотношений.

Для определения усилия осевой осадки трубной заготовки наиболее удобна формула, предложенная для аналогичного случая в работе [6]

$$P_\sigma = \left(q_{вн} + \beta \sigma_s \left(1 + \frac{s}{2D} \right) \right) \pi (D + s_0), \quad (3)$$

где $q_{вн}$ – фактическое давление внутри заготовки с учётом потерь на трение и деформирование эластичного пуансона;

β – коэффициент Лоде;

σ_s – напряжение течения металла заготовки;

s_0 и s – соответственно начальная и текущая толщина стенки трубной заготовки;

D – наружный диаметр магистрали тройника.

Для преодоления сил трения между заготовкой и матрицей к осевому пуансону должно быть приложено усилие P_μ , определяемое [7]

$$P_\mu = \mu_{зм} \pi D \left(q_{вн} + \frac{\beta \sigma_s}{D - 2s} s \right) \left(\frac{L - D'}{2} \right), \quad (4)$$

где $\mu_{зм}$ – коэффициент трения между заготовкой и матрицей;

L – текущая длина заготовки;

D' – наружный диаметр ответвления тройника.

Усилие, необходимое для преодоления сил противодействия со стороны эластичного формирующего пуансона при его сжатии $P_{эн}$, фактически, представляет собой необходимое для формообразования тройника внутреннее давление эластичного наполнителя q , с учётом компенсации всех противодействующих сил, спроецированное на поверхность контакта формирующего и торцевого пуансонов [6, 7]

$$P_{эн} = q \cdot F_{опори} = q \cdot \frac{\pi D_{эн}^2}{4}, \quad (5)$$

где $D_{эн}$ – наружный диаметр эластичного формующего пуансона, который для данного случая равен внутреннему диаметру заготовки на торце $D_{вн,т}$.

В момент начала разделения (резания) металла при пробивке дна отвода критическая сила $P_{кр}$, приложенная к пробивному элементу, должна преодолеть сумму всех сил, действующих в его плоскости (по нормали к плоскости металла заготовки) [5, 8]:

$$P_{пр} = P_{кр} = P_{рез} + P_{сж} + T_1 + T_2', \quad (6)$$

где $P_{рез}$ – сила разделения (резания);

$P_{сж}$ – сила смятия при внедрении пробивного элемента, действующая со стороны материала заготовки;

T_1 – сила трения, возникающая на вертикальной грани пробивного элемента в результате действия силы обжатия $P_{обж}$;

T_2' – вертикальная проекция силы трения T_2 на фаске пробивного элемента.

Силу $P_{рез}$ можно определить как произведение площади рабочей кромки пробивного элемента, находящейся в контакте с металлом $F_{кр}$, на разрушающее контактное напряжение σ_p , в качестве которого может быть принят предел прочности данного материала при сжатии

$$P_{рез} = F_{кр} \sigma_p. \quad (7)$$

Значение $F_{кр}$ определяется как произведение толщины режущей кромки пробивного элемента δ на периметр (длину) последнего l

$$F_{кр} = \delta l. \quad (8)$$

Силу смятия при внедрении $P_{сж}$, действующую со стороны материала заготовки, можно определить по формуле

$$P_{сж} = \frac{A}{h^n} \operatorname{tg} \alpha h_{сж}^{n+2} + \frac{\sigma'_s \operatorname{tg} \alpha h_{сж}^2}{2}, \quad (9)$$

где α – угол заточки пробивного элемента;

A, n – константы данного материала заготовки;

h – толщина дна отвода в области внедрения пробивного элемента;

$h_{сж}$ – глубина внедрения пробивного элемента;

σ'_s – напряжение течения материала с учётом упрочнения после этапа вытяжки.

Сила бокового обжатия инструмента определяется как

$$P_{обж} = \sigma'_s h_{сж} + \frac{Av^n h_{сж}^{n+1}}{h^n (n+1)}, \quad (10)$$

где ν – коэффициент Пуассона.

Сила трения T_1 , возникающая на вертикальной грани пробивного элемента в результате действия силы $P_{обж}$, определяется

$$T_1 = P_{обж} \mu_{нз}, \quad (11)$$

где $\mu_{нз}$ – коэффициент трения пробивного элемента о заготовку.

Вертикальная проекция силы T_2 будет равна

$$T'_2 = \mu_{нз} \left(P_{сж} \frac{1}{2} \sin 2\alpha + P_{обж} \cos^2 \alpha \right). \quad (12)$$

Усилие спрямления, которое должно быть приложено к спрямляемому участку заготовки, можно определить по формуле

$$P_{cn} = q_{cn} \cdot F_{cn}, \quad (13)$$

где q_{cn} – давление эластичной среды, необходимое для деформации кромки отверстия заданных размеров;

F_{cn} – площадь спрямляемого участка, которая определяется выражением

$$F_{cn} = \frac{\pi}{4} (2\pi d_n r_\delta + 8r_\delta^2), \quad (14)$$

где d_n – диаметр плоского участка дна отвода, равный диаметру подпора;

r_δ – радиус у дна отвода.

Согласно [9], давление q_{cn} можно рассматривать состоящим из двух компонентов

$$q_{cn} = q_p + q_\delta, \quad (15)$$

где q_p – давление, необходимое для разгибания спрямляемого участка заготовки;

q_d – давление, необходимое для осуществления тангенциальных деформаций растяжения спрямляемого участка в его плоскости.

Подставляя значения q_p и q_d в формулу (15) и используя выражение из [10], получим

$$q_{cn} = \frac{\sigma_e s_2^2}{2(h_{cn} - R_p - s_2)^2} + \frac{\sigma_e s_2}{2R'} , \quad (16)$$

где σ_e – предел прочности материала заготовки;

h_{cn} – высота части ответвления, получаемой спрямлением;

s_2 – толщина заготовки на кромке отверстия после пробивки, перед началом процесса спрямления;

R_p – радиус кривизны изгибаемого участка;

R' – радиус полости ответвления матрицы (наружный радиус ответвления тройника).

Таким образом, полное усилие процесса однопереходной штамповки тройников по способу [1] определяется как сумма усилий составляющих этапов

$$P = P_e + P_{np} + P_{cn} . \quad (17)$$

Результаты исследований

Для проверки адекватности предложенной модели проведена серия экспериментов по получению тройников способом однопереходной штамповки [1] из трубных заготовок из алюминиевого сплава АМг1 с параметрами $D = 20$ мм, $s = 1$ мм, $L_0 = 50$ мм. Среднее полное усилие процесса по результатам восьми опытов составило 71,88 кН.

На основании предложенной модели была составлена программа и проведены расчёты данного процесса в среде MathCAD. Расчёты показали, что значения усилия формообразования тройника, полученные по предложенной методике, превышают экспериментальные значения усилий не более чем на 10 %.

Таким образом, модель может считаться адекватной и пригодной для практического использования при проектировании технологического процесса однопереходной штамповки тройников по способу [1].

Выводы

Разработана математическая модель для определения энергосиловых параметров процесса однопереходной штамповки тройников. Модель является адекватной и может быть использована при проектирова-

нии технологического процесса изготовления цельноштампованных тройников по способу [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Спосіб виготовлення порожнистих деталей з відгалуженнями і пристрій для його здійснення. Патент на винахід 96687, Україна, МПК В21С 37/29(2006.01), В21D 26/02(2006.01). Заявлений 26.07.2010. Опублікований 25.11.2011.
2. Бут А.Ю., Митичкина Н.Г. Совершенствование процесса формообразования элементов трубопроводов // Проблемы недропользования: Сборник научных трудов. Часть I / Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб, 272 с. (Международный форум-конкурс молодых учёных 21-23 апреля 2010 г). – с. 247 – 249.
3. Митичкина Н. Г., Бут А. Ю. Совершенствование процесса формообразования элементов трубопроводов // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – Алчевск 2010. вып. № 30. – с. 194 – 201.
4. Митичкина Н. Г., Бут А. Ю. Экспериментальные исследования процесса получения отверстий под оформление ответвлений труб // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Новые решения в современных технологиях». – Харьков 2011. – вып. №45. – с. 158 – 163.
5. Митичкина Н. Г., Бут А. Ю. Математическая модель процесса пробивки отвода в условиях однопереходной штамповки тройников // Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов. – Краматорск 2013. – вып. № 1 (34). – с. 114–119.
6. Эрбейгель С. А. Исследование, разработка и внедрение процессов формообразования унифицированных элементов трубопроводных систем летательных аппаратов эластичной средой на универсальных гидропрессах. Диссертация на соискание учёной степени кандидат технических наук. Харьков, 1986.
7. Гидропластическая обработка металлов / К.Н. Богоявленский, В.А. Вагин, А.Н. Кобышев и др.; Пер. с болгарского К.Н. Петкова и Д.И. Чалева; Под общ. ред. К.Н. Богоявленского и А.И. Рябинина. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отд.-ние; София: Техника, 1988. – 256 с.
8. Резник Н. Е. Теория резания и основы расчета режущих аппаратов / Н. Е. Резник. – М. : Машиностроение, 1975. – 311 с.
9. Исаченков Е.И. Штамповка резиной и жидкостью / Е.И. Исаченков. – М.: Машиностроение, 1967, 367 с.
10. Смагина О.П. Разработка и расчет процессов отбортовки отверстий и упрочнения деталей эластичной средой // Студенческая наука аэрокосмическому комплексу – сборник трудов студентов и аспирантов факультета летательных аппаратов. – СГАУ. – Самара 2001. – вып. № 4.

REFERENCES

1. Method of manufacturing hollow parts with branches and device for its implementation. Patent 96687, Ukraine, IPC B21C 37/29 (2006.01), B21D 26/02 (2006.01). Claimed 26.07.2010. Posted on 25.11.2011.

2. But A.J., Mitichkina N.G. Improving the process of formation of pipeline elements // Problems of subsoil: Proceedings. Part I / St. Petersburg State Mining Institute (Technical University). St. Petersburg, 272. (International Forum of Young Scientists competition on April 21-23, 2010). - P. 247 – 249.
3. Mitichkina N.G., But A.J. Improving the process of formation of pipeline elements // Proceedings of the Donbass State Technical University. - Alchevsk 2010. MY. Number 30. - P. 194 - 201.
4. Mitichkina N.G., But A.J. Experimental studies of the process of obtaining clearance holes for pipe branches // Bulletin of the National Technical University "KPI". Collection of scientific papers. Special Issue "New solutions in modern technologies." - Kharkov, 2011. - MY. Number 45. - P. 158 - 163.
5. Mitichkina N.G., But A.J. A mathematical model of the process punched tap in uninjunction punching tees // Materials handling pressure. Collection of scientific papers. - Kramators'k 2013. - MY. Number 1 (34). - P. 114 - 119.
6. Erbeygel S.A. Research, development and implementation of processes shaping the unified elements of pipeline systems of aircraft elastic medium on universal GIDROPRESS. Thesis for the degree of candidate of technical sciences. Kharkov, 1986.
7. Hydro-Plastic Metal. K.N. Bohoyavlenskyy, V.A. Vagin, A.N. Kobishev and others; Trans. with the Bulgarian K.N. Petkov and D.I. Chalev; Under the general editorship K.N. Bohoyavlenskyy and A.I. Ryabynyn. - L.: Mechanical Engineering, Leningrad. Dep.-tion; Sofia Technology, 1988. - 256 p.
8. Resnick N.E. Theory of cutting and bases of calculation of cutting machines / N.E. Resnick. - M.: Mechanical Engineering, 1975. - 311 p.
9. Isachenkov E.I. Stamping rubber and liquid / E.I. Isachenkov. - M.: Mechanical Engineering, 1967. - 367 p.
10. Smagina O.P. Development and calculation processes flange holes and hardening of elastic medium // Student Science Aerospace-sky complex - a collection of the works of students and graduate students of aircraft. - Samara State Aerospace University. - Samara 2001. - MY. Number 4.

Митичкіна Н.Г., Бут А.Ю. Математична модель для визначення енергосилових параметрів процесу одноперехідного штампування трійників.

Запропонована математична модель, що дозволяє визначити енергосилові параметри процесу одноперехідного штампування трійників. Робочі сили розраховуються окремо для складових етапів процесу – витягування відводу на стінці трубної заготовки, пробивання його дна та випрямлення пробитого контуру у стінку відгалуження готової деталі. Наведені результати експериментальних досліджень, що підтверджують адекватність запропонованої моделі та можливість її застосування при проектуванні вказаного технологічного процесу.

Ключові слова: трійник, штампування, еластичне середовище, напруження плинності, сила, тиск.

Mitichkina N.G., But A.J. Mathematical model for determination of power parameters for injunction stamping of tee pieces.

The purpose of this work is development an adequate mathematical model for determining the power parameters of the injunction process of punching tees.

A mathematical model which allowing determination of power parameters of the forming process of injunction tees. Operating forces are calculated separately for the constituent phases of the process - drawing on the wall of the discharge tube blank, punching his bottom contour and flatness punched in the wall of a branch of the finished part. The experimental results confirming the adequacy of the proposed model and the possibility of its use in the design of this process.

The values of forces shaping tee obtained by the proposed method, exceed the experimental values of forces for no more than 10%. Thus, the model can be considered adequate and suitable for practical use in the design process injunction punching tees for a new way.

A mathematical model to determine the power parameters of the new process injunction punching tees. This model is appropriate and can be used in the design process for making a single piece of the new method tees.

Keywords: *tee piece, stamping, elastic medium, flow stress, stress, pressure.*

Митичкина Н.Г. – к.т.н., доцент Донбасского государственного технического университета, г. Алчевск, Украина.
e-mail: nmitichkina@yandex.ru

Бут А.Ю. – магистр, старший лаборант Донбасского государственного технического университета, г. Алчевск, Украина.
e-mail: butalexandr@rambler.ru