

УДК 621.791.42

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ З'ЄДНАННЯ МЕТОДОМ ЗВАРЮВАННЯ ТИСКОМ МАТЕРІАЛУ З ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

Гараненко Т.Р., Кліско А.В., Гордієнко В.О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація. Титан і його сплави зварюванням тиском з'єднуються досить міцно. При проведенні зварювання тиском пред'являються підвищені вимоги до чистоти поверхонь, що з'єднуються, рівномірності розподілу тиску і температури. У даній роботі проведено дослідження регулювання температури зварювання тиском, навколишнього середовища, вплив мікроструктури контактних поверхонь на освіту з'єднання.

Ключові слова: титан, зварювання тиском, чистота поверхні.

Зварювання тиском - зварювання із застосуванням тиску, що здійснюється за рахунок пластичної деформації зварювальних частин при температурі нижче температури плавлення. З'єднання матеріалу здійснюється за рахунок взаємної дифузії атомів в тонких поверхневих шарах контактуючих частин при відносно тривалому впливі підвищеної температури і незначній пластичній деформації [1, 2].

Методика розрахунку параметрів дифузійного зварювання титану ґрунтується на утворенні фізичного контакту в результаті згладжування мікронерівностей. Критерієм опору матеріалу пластичної деформації при зварюванні тиском може служити швидкість повзучості [3]. Для підвищення швидкості повзучості необхідно підвищувати тиск, або температуру, або зменшувати структуру матеріалу до нанозерен.

Метою роботи є отримання з'єднання тиском деталей з титанових листів та визначення параметрів дифузійного зварювання для отримання компонентів авіаційних лопаток.

Для зварювання тиском була спроектована та виготовлена установка (рис. 1.), яка складається з верхньої 1 та нижньої 2 плит, притискачів 3,4 з жаростійкого матеріалу на нікелевій основі ЖСБК-ВИ та болтів з хромонікелевої сталі Х18Н9Т. Використання матеріалів з різним коефіцієнтом розширення забезпечує високу якість з'єднання, постійний тиск і ефективну герметизацію з'єднання.

Пакет для зварювання тиском (рис. 2.) складається з трьох титанових заготовок ОТ4-0 товщиною 0,5мм, ВТ6 товщиною 1мм та 1,1мм, шириною 8мм, довжиною 75мм, площа зони з'єднання 80мм². На поверхні притискачів 3,4 наноситься антидифузійне покриття. Пакет із трьох заготовок фіксується між плитами притискачів 3,4 (рис. 3.). Сила тиску титанового пакету регулюється затяжкою болтів.

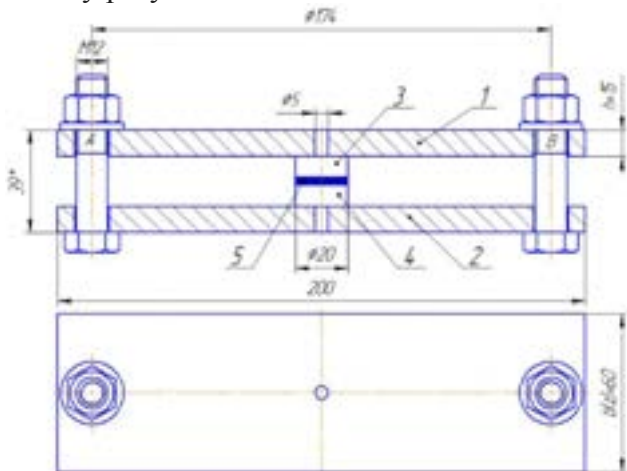


Рис.1 - Установка для зварювання тиском: 1. – плита верхня; 2. – плита нижня; 3,4 – притискачі; 5 – пакет.

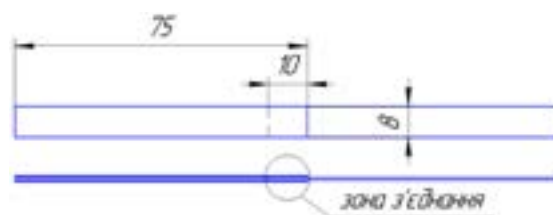


Рис. 2 - Пакет для зварювання тиском



Рис. 3 - Фото установки для зварювання тиском

Титан відноситься до тугоплавких металів, з високою температурою плавлення, хімічно активний в рідинному та в твердому стані при підвищених температурах з атмосферними газами. В результаті поглинання газів титаном при високих температурах, зварювання під тиском проводиться в вакуумі або в інертному середовищі.

В ході експерименту досліджувались наступні параметри: температура, тиск, навколишнє середовище. Температуру міняли в діапазоні 550°C – 850°C для сплаву ОТ4-0, 900 – 920°C для сплаву ВТ6. Час витримки під тиском для всіх зразків був однаковий – 40 хв. Установку витягували з печі і охолоджували на повітрі. Для сплаву ОТ4-0 при температурі 750° , 850° змінювали середовище зварювання під тиском: з аргоном та без аргону.

В результаті експерименту було отримано 18 зразків (14 – зі сплаву ОТ4-0, 4 – зі сплаву ВТ6). Були проведені механічні випробування отриманих зразків та дослідження макро- та мікроструктури.

Як видно з результатів випробувань на розрив (рис. 4.), які були проведені на машині «INSTRON-8862», місце руйнування зразка – по основному матеріалу. Для зразків зі сплаву ОТ4-0 зі збільшенням товщини місця з'єднання фіксується підвищення руйнівного навантаження, для зразків зі сплаву ВТ6 такої залежності не спостерігається.

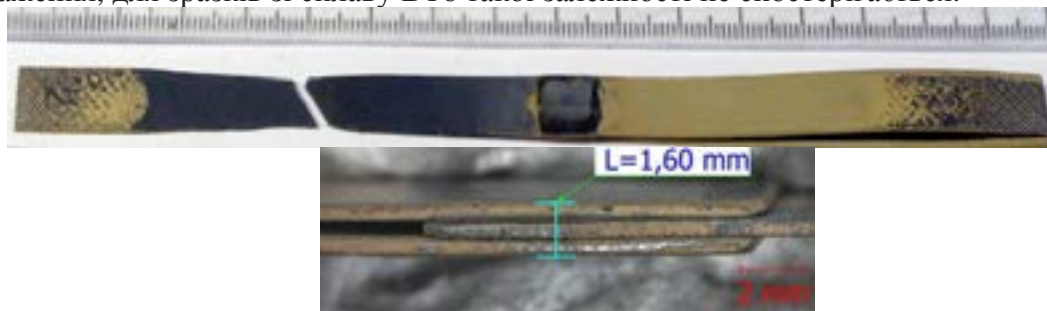


Рис. 4 - Зразок зі сплаву ОТ4-0 при $T = 850^{\circ}\text{C}$

Макроструктура оцінювалась на шліфах, виготовлених в дольовому напрямку зразків за місцем з'єднання пластин. Візуальний огляд шліфів показав, що фон макроструктури зразків матовий, без прояву макрозерна. Слід зазначити, що в макроструктурі зразків зі сплаву ВТ6 та ОТ4-0 (відсутність інертного середовища) в місці з'єднання пластин є лінійні зазори (рис. 5), в інших зразках зі сплаву ОТ4-0 в середній частині місця з'єднання зазори між пластинами практично не проглядаються (рис. 6).

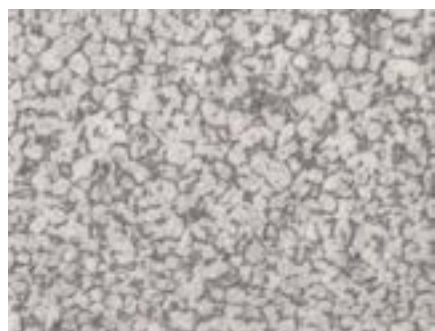


Рис. 5 - Макроструктура зразка зі сплаву ВТ-6 при $T = 920^{\circ}\text{C}$

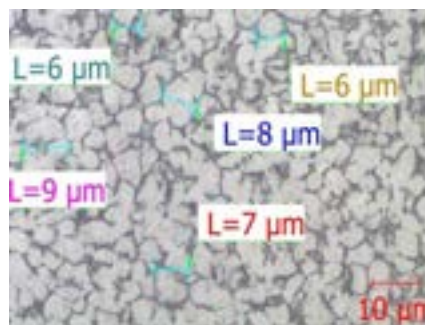


Рис. 6 - Макроструктура зразка зі сплаву ОТ4-0 при $T = 840^{\circ}\text{C}$

Мікроструктура металу пластин в зоні їх з'єднання і у віддаленій від з'єднання частини ідентична і характерна для нормально термообробленого стану сплавів ВТ6 і ОТ4-0, перегріву немає (рис. 7-8). Мікроструктура зразків зі сплаву ВТ6 є α + β -фази глобулярної форми, зразків зі сплаву ОТ4-0 - α -фазу з невеликою кількістю (<5%) β -фази, що характерно для псевдо- α -сплавів.



а) зб. 500

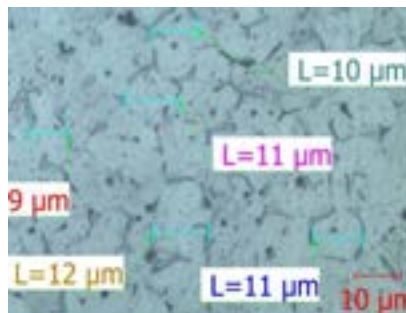


б) зб. 1000

Рис. 7 - Мікроструктура зразка зі сплаву ВТ6 при $T = 920^{\circ}C$



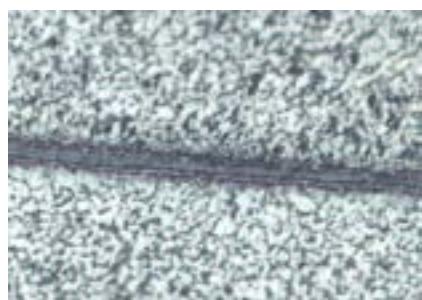
а) зб. 500



б) зб. 1000

Рис. 8 - Мікроструктура зразка зі сплаву ОТ4-0 при $T = 840^{\circ}C$

У всіх зразках як зі сплаву ВТ6, так і сплаву ОТ4-0 в місці з'єднання пластин виявлені переривчасті несучільності - зазори, заповнені окалиною, по контуру яких спостерігається окислений (альфірований) шар, також виявлений на решті поверхні пласти (рис. 9-10.). На зразках зі сплаву ВТ6 альфірований шар супроводжується розтріскуванням.



а) зб. 500

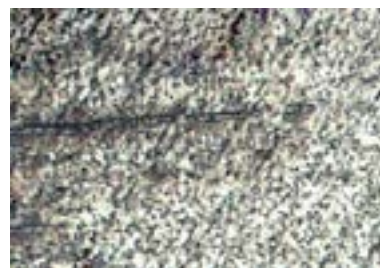


б) зб. 1000

Рис. 9 - Мікроструктура зразка зі сплаву ВТ6 при $T = 920^{\circ}C$



а) зб. 500



б) зб. 1000

Рис. 10. Мікроструктура зразка зі сплаву ОТ4-0 при $T = 840^{\circ}C$

Висновки. Процес розвитку фізичного контакту залежить від ряду факторів: стан контактуючих поверхонь, властивостей матеріалу, температури та тиску. Дифузійне з'єднання для більш ретельного обміну атомів вимагає ефективної герметизації, контролю

температури, тиску і часу витримки. В макроструктурі зразків зі сплаву ВТ6 в місці з'єднання пластин є лінійні зазори по контуру яких спостерігається окислення, в інших зразках зі сплаву ОТ4-0 в середній частині зони з'єднання зазори між пластинами не виявлені. Мікроструктура металу пластин в зоні їх з'єднання і у віддаленій від з'єднання частини ідентична і характерна для нормально термообробленого стану сплавів ВТ6 і ОТ4-0, ознак перегріву немає.

Список літератури:

1. ГОСТ 2601-84. Сварка металлов. Термины и определения основных понятий. – Введ. 01.07.85. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 54 с.
 2. Бачин В.А. Теория, технология и оборудования диффузионной сварки / В.А. Бачин. – М.: Машиностроение, 1991. – 352 с.
 3. Шоршоров М.Х. Расчеты режимов сварки давлением / М.Х. Шоршоров, Э.С. Каракозов. – Л.: ЛДНТП, 1969. – 31 с.
-

UDC 531

TO THE QUESTION OF THE MECHANICS OF THE PROCESSES OF WORKING OF MATERIALS BY PRESSURE IN THE STATIONARY DEFORMATION ZONES

Dobrov I.V., Semichev A.V., Morozenko O.P., Koptilyy O.V.

National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine

***Abstract.** A mechanical model of the deformation zone is developed in the form of colored magnetized metal balls moving in a geometrically similar model of monolithic drawing that provides visualization of local plastic deformations depending on the technological parameters of the drawing process. This model allows broadening our understanding about the mechanics of the process of plastic deformation. It is determined that in any type of working metals by pressure during the stable process of deformation of the stock in the stationary deformation zone «fresh layers of the stock material» come out from the inside of the deformation zone to the contact surface of the tool and stock thereby causing uneven wear of the outer surface of the finished product at constant values of the contact pressure, the coefficient of external friction and the relative sliding speed respectively to the instrument.*

***Key words:** plastic deformation, stock, monolithic drawing, drawing speed, deformation speed, mechanical model.*

Development and improvement of methods of calculation and analysis of working metals by pressure (WMP) determines further improvement the mathematical models [1,2] describing the processes of deformation of the material by the mathematical formulas including formal methods of solution of the received equations and other various deformation models of materials [1-4].

Objective. Develop and explore the mechanical model of local deformations of the stock during drawing in monolithic tool for broadening our understanding about the mechanics of the process of WMP in stationary deformation zone ¹ based on the modern evolution models² of plastic material deformation.

Research. The nature of the movement of the particles of the material of the stock *l* in the monolithic tool *2* is presented in [5] in the form of Fig. 1, *a* (the upper not darkened half of Fig. 1, *a*). It shows the change in shape and linear dimensions of cells and lines of a square coordinate grid, plotted on the symmetry plane of the drawn profile [5]. The lower darkened half of Fig. 1, *a* shows the change

¹ THE DEFORMATION ZONE WITH THE DIMENSIONS WHICH DOES NOT CHANGE DURING DEFORMATION OF THE STOCK (DRAWING, PRESSING, ROLLING, ETC.).

² The evolutionary model allows us to view the process in development. [1].

in the trajectories of the centers of mass (*c.m.*) of the unit cells of the coordinate grid before entering the tool ($a_0b_0c_0d_0$), inside the tool ($abcd$) and at the exit of the tool ($a_1b_1c_1d_1$). Comparison of the upper and lower halves in the Fig. 1, *a* shows that the nature of the movement of the particles of the stock material in the deformation zone (the upper half of Fig. 1, *a*) can, in the first approximation, show the nature of the displacement of the centers of masses of these particles (the lower half of Fig. 1, *a*). Thus, the process of plastic deformation of the elementary volume of the stock material (unit thickness) in the section of the deformation zone can be represented as the displacement of a non-deformable point of the center of mass of the elementary volume and the plastic deformation of the material of this elementary volume with respect to the position of its center of mass [6,7]. In its turn, the change in the trajectory of non-deformable centers of mass of elementary volumes in the deformation zones can be filmed using the digital camera (Fig. 1, *b-d*) if the deformation zone is represented geometrically by a similar model of the cross section of the deformation zone 2 inside of which colored magnetized metal balls 1 and 1' are located. The diameters (d_b) are much smaller than the output cross section of the deformation zone of the model ($d_b \ll h_1$) [8]. Fig. 1, *b* shows the position of the vertical section of the stock material in the form of darkened balls 1' at the entrance to the model of the deformation zone 2.

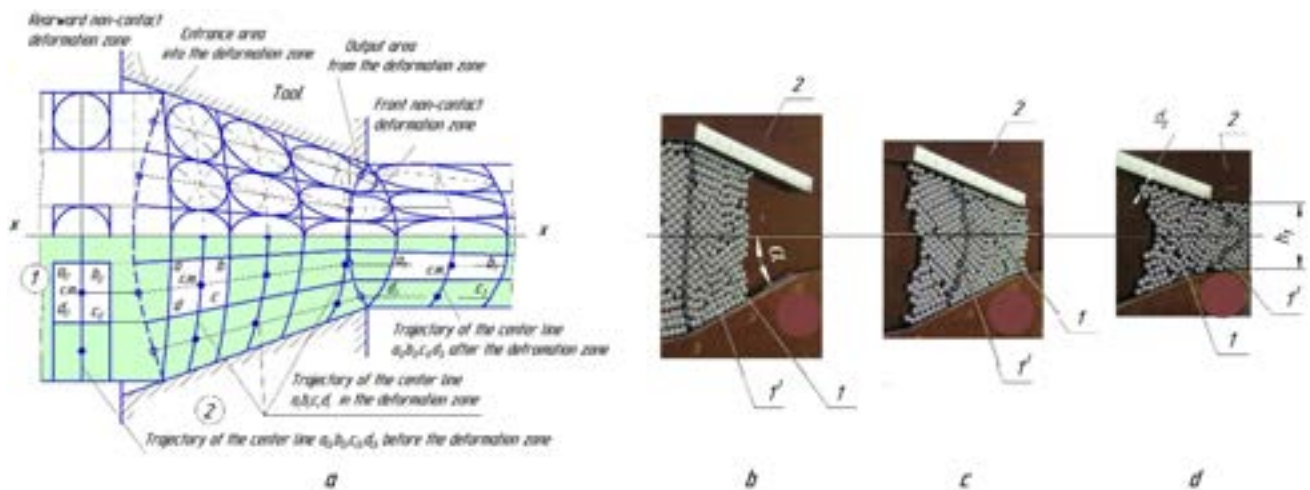


Fig. 1.

On Fig. 1, *c* is shown the change of the position of this layer inside the deformation zone, and on Fig. 1, *d* is shown the position of this layer at the exit from the deformation zone. Photographs (Fig. 1, *b-d*) prove the possibility of using a mechanical "ball model" for studying the kinematics of the deformation zone.

On Fig. 2 fragments of changes in the positions of the points of the outer initial (darkened 1') layer of the stock material before entering the deformation zone (Fig. 2, *a*), in the deformation zone (Fig. 2, *b*) and outside the deformation zone (Fig. 2, *c*). Analysis of the photographs on Fig. 2, *a, b, c* shows that the points of the stock material on the outer surface before entering the deformation zone (the dark balls in Fig. 2 *a*) remain on the outer surface of the stock both in the deformation zone (Fig. 2, *b*) and outside the tool (Fig. 2, *c*). Between them fresh points of the stock material from the inner (deep) layers of the stock (white balls in Fig. 2, *b*) appear inside the deformation zone, which remain on the contact surface of the stock, providing conditions for monotonous deformation of the stock during

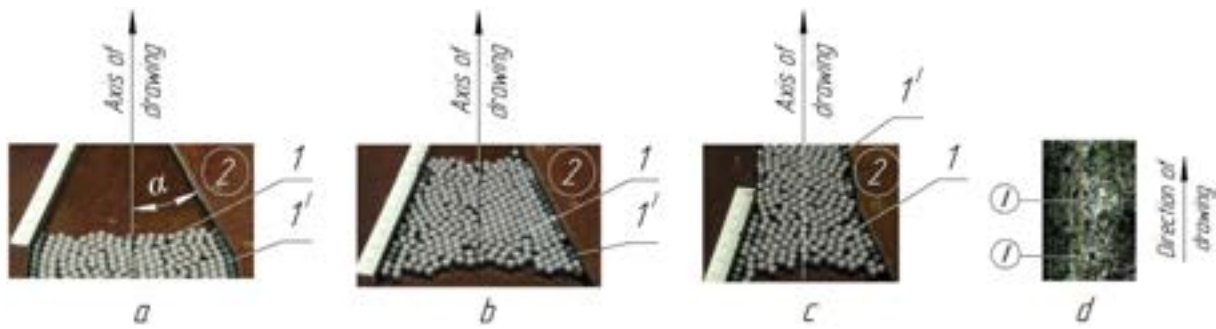


Fig. 2

laminar flow of the stock material [7,8] . This type of relative sliding of the stock material causes uneven wear of the outer surface of the elongated stock. On Fig. 2, *d* is shown a fragment of the outer surface of an elongated wire (x100), on which areas of increased wear alternate [7].

Fig. 3 shows the results of the research of the influence of the drawing conditions (increase of the strength properties of the stock material due to increasing the mutual attraction of magnetized balls) on the formation of breaks and cracks (voids) inside the deformation zone and beyond it according to the scheme (Fig. 3, *a*) of the formation of these voids [5]. On Fig. 3, *a - d, e* are shown photographs of the process of modeling of the cracks forming during drawing. In a continuous stock (Fig. 3, *a*), when it moves within the deformation zone crack appears (Fig. 3, *b*) T_M due to the formation of a "vortex" from a darkened layer of balls. As you move in the deformation zone T_M decreases (heals) up to dimensions

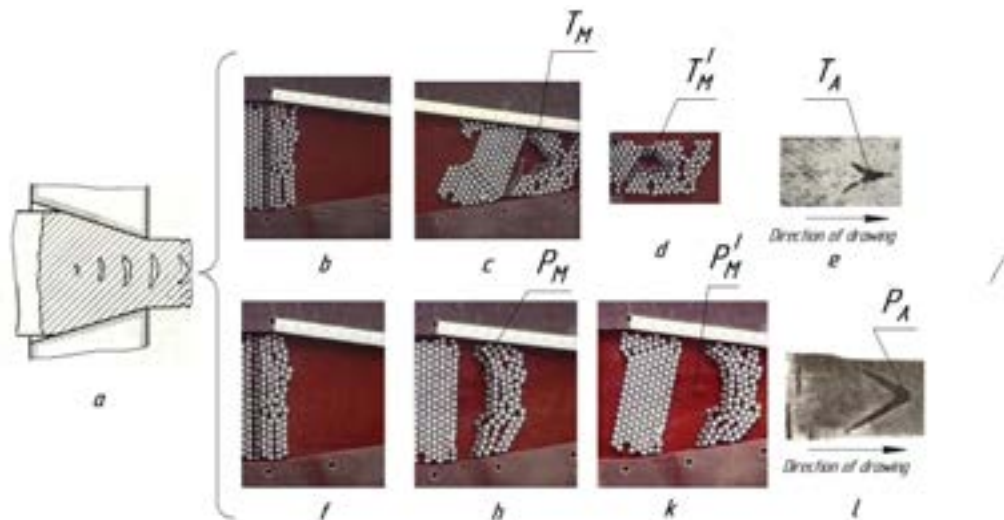


Fig. 3

$T'_M < T_M$ and stays inside the outstretched stock (Fig. 3, *c*). An example of such a crack in a stretched stock is shown in Fig. 3, *e* [5].

On Fig. 3, *f - k, e* are shown photographs of the modeling of the destruction of the stock material associated with a further increase of the mutual attraction of magnetized balls. In the continuous stock (Fig. 3, *f*), at the beginning of the deformation zone (Fig. 3, *h*) the process of destruction begins (P_M), which during movement of the stock inside the deformation zone (Fig. 3, *k*) increases ($P'_M > P_M$) and in the real conditions leads to the destruction of the material of the stock at the exit of the tool (Fig. 3, *l*) [5].

Conclusions

1. Mechanical model of the deformation zone in the form of colored magnetized metal balls moving in a geometrically similar model of monolithic tool provides visualization of local plastic

deformations depending on the technological parameters of the drawing process and allows broadening our understanding about the mechanic of the process of plastic deformation.

2. In any type of WMP during the stable process of deformation of the stock in the stationary deformation zone «fresh layers of the stock material» come out from the inside of the deformation zone to the contact surface of the tool and stock thereby causing uneven wear of the outer surface of the finished product at constant values of the contact pressure, the coefficient of external friction and the relative sliding speed respectively to the instrument.

References:

1. Abashkov V.P. Klassifikatsiya metodov modelirovaniya protsessov obrabotki metallov davleniem [Classification of methods for modeling the processes of working metals by pressure] / V. P. Abashkov, K. N. Solomonov // Izv. vuzov. Chernaya metallurgiya. – 2008. – № 9. – pp. 25–28.
2. Gubkin S. I. Plasticheskaya deformatsiya metallov [Plastic deformation of metals]. T. 1 / S. I. Gubkin – M.: Metallurgizdat, T.1,1961. – 416 p.
3. Reologiya teoriya i praktika [Rheology theory and practice]. Pod redaktsiey F. Zeyrikha. Perevod s angl. Pod redaktsiey. Yu. A. Robotnova i P. A. Rebintera – M., izdat. Inostran. lit. 1962. – 824 p
4. Feynman R. Feynmanovskie lektzii po fizike [Feynman Lectures on Physics]. V 9-ti tomakh. T. 6 / R. Feynman, R. Leyton, M. Sands – M.: Mir, 1967. – 268 p.
5. Perlin I.L. Volochenie provoloki [Wire drawing] / I.L. Perlin, M.Z. Ermanok. – M.: Metallurgiya, 1971. – 448 p.
6. Dobrov I.V. On Kinematics - of Stock Deformation Process during Drawing / I.V. Dobrov // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 206. – pp. 760-770.
7. Dobrov I.V. Issledovanie kinematiki ochaga deformatsii osesimmetrichnoy zagotovki pri osadke ploskimi boykami [Investigation of the kinematics of the deformation zone of an axisymmetric stock during deformation by flat tool] / I.V. Dobrov // Obrabotka materialov davleniem. – 2013. – №4 (37). – pp.8-15.
8. Pat. 118653 Ukraine, MPK G01B11/16. Sposob modelirovaniya kinematiki lokal'noy plasticheskoy deformatsii [Method for modeling the kinematics of local plastic deformation] / Dobrov I.V., Semichev A.V., Get'man I.I. – № u201610915; zayavl. 31.10.2016; opubl. 28.08.2017, Byul. №16. – 3 p.

УДК.621.774.8

ОСОБЛИВОСТІ ВИТЯГУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ З ЗАСТОСУВАННЯМ МАТРИЦЬ ТА ПУАНСОНІВ З ПРОФІЛЬОВАНОЮ ПОВЕРХНЕЮ

Сабол С.Ф.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

***Анотація.** Метою роботи є інтенсифікація процесу витягування циліндричних виробів з використанням матриць та пуансонів які мають профільовану поверхню. Для збільшення допустимого коефіцієнту витягування, шляхом зменшення площі контакту між матрицею і заготовкою, застосовують профільовану матрицю, форма поверхні якої складається із послідовно розташованих торових поверхонь.*

***Ключові слова:** витягування, профільовані пуанسونи та матриці*

Мета роботи. Постановка задачі. Метою роботи є інтенсифікація процесу витягування циліндричних виробів з використанням матриць та пуансонів які мають профільовану поверхню. Для збільшення допустимого коефіцієнту витягування, шляхом зменшення площі контакту між матрицею і заготовкою, застосовують профільовану матрицю, форма поверхні якої складається із послідовно розташованих торових поверхонь.

З метою підвищення точності виробів отриманих витягуванням шляхом використання пуансонів спеціального профілю. Спеціальний профіль пуансону являє поверхню аналогічну поверхні профільованої матриці. При цьому створюються такі умови деформування, при

яких розподіл деформацій в радіальному напрямі по висоті стінки заготовки стає рівномірним.

Схема витягування порожнистих виробів в профільованій матриці зображена на рис. 1. На рис.2 показана матриця із профільованою поверхнею. На рис.3 приведена схема витягування пуансоном з профільованою поверхнею. Профільований пуансон зображений на рис. 4. Витягування заготовки (1) виконується пуансоном (2) в профільованій матриці (3) з притиском (4). Для отримання гладкої поверхні заготовки після витягування, необхідно встановити оптимальні величини діаметру d_k і кроку t .

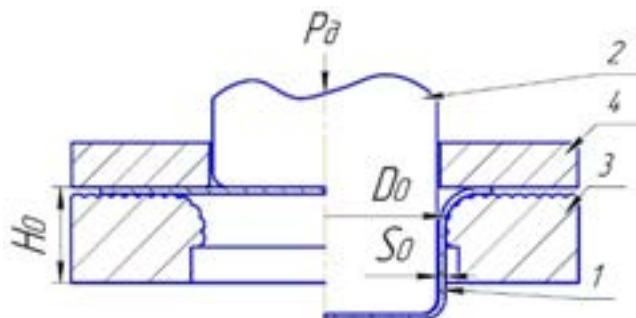


Рис. 1. Схема витягування пустотілого виробу в матриці з профільованою поверхнею

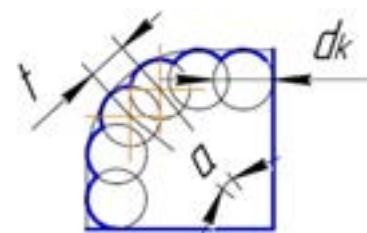


Рис. 2. Матриця з спрофільованою поверхнею

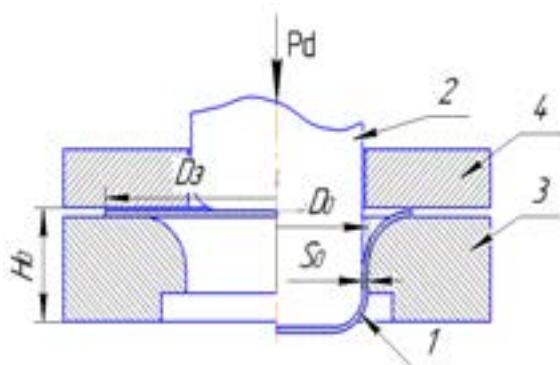


Рис. 3. Схема витягування пустотілого виробу пуансоном зі профільованою поверхнею

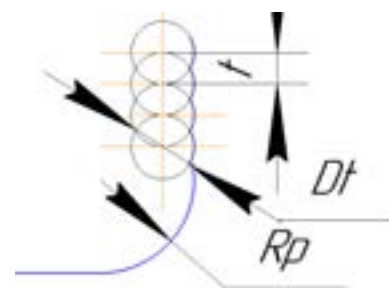


Рис.4. Пуансон зі спрофільованою поверхнею

Визначення вказаних величин було проведено шляхом математичного моделювання за допомогою методу скінченних елементів (МСЕ). Для проведення порівняльного аналізу за допомогою МСЕ процесу витягування в традиційній і спрофільованих матрицях, було розглянуто моделі заготовок з сталі 08кп, діаметром $D_0=100$ мм та товщиною $S_0=1$ мм.

Діаметр d_k і крок t змінювався для встановлення можливості отримання оптимального зусилля витягування та коефіцієнту витягування. Результати порівнювались з витягуванням в традиційному інструменті.

Результати досліджень Визначалося зусилля витягування заготовок з вказаними геометричними параметрами в традиційних процесах та в процесах з застосуванням матриць та пуансонів з профільованою поверхнею. При чому розглядалися профільована поверхня з різними геометричними параметрами (діаметр торової поверхні d_k та крок їх розташування t). Встановлено, що при витягуванні в спрофільованій матриці крок профільованої поверхні $t=2$ мм, при величині $d_k = 3$ мм, забезпечує зменшенню зусилля витягування (з 60 кН до 49 кН). Для профільованого пуансону найбільша точність (рівностінність) виробу досягалась при значеннях кроку $t=1.5$ мм та при $d_k=3$ мм.

Було встановлено, що при традиційній схемі витягування, максимальний коефіцієнт витягування $m_1 = 0.5$, а при застосуванні профільованої матриці з оптимальними величинами діаметру d_k і кроку t максимальний коефіцієнт витягування зменшився до $m_1 = 0.45$.

На рис. 5 показані форми та розміри zdeформованих заготовок отриманих при традиційному витягуванні та при витягуванні пуансоном з профільованою поверхнею.

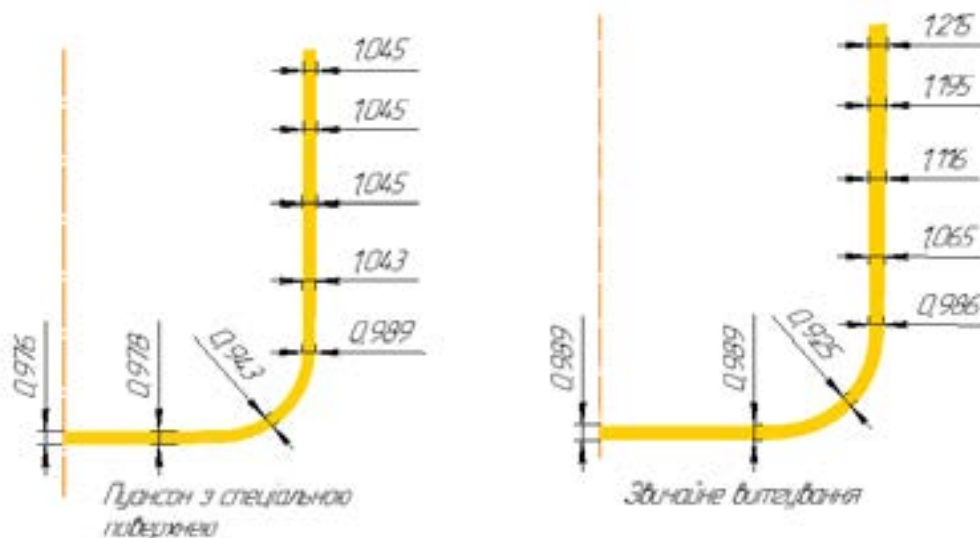


Рис. 5. Форма та розміри zdeформованої заготовки

На рис. 5 показаний характер розподілення товщини заготовки після витягування зі звичайним пуансоном та пуансоном спеціального профілю. Різниця товщин при цьому становила: при звичайних процесах -0,3мм., з профільним пуансоном-0,1 мм.

Висновок: Таким чином, дослідження показали можливість підвищення точності (рівності) деталей отриманих витягуванням шляхом використання пуансонів спеціального профілю, та можливість інтенсифікації процесів витягування (зменшення зусиль процесу та зменшення допустимого коефіцієнту витягування) шляхом використання профільованих матриць..

Список літератури:

1. Аверкиев Ю. А. Холодная штамповка/ Ю. А. Аверкиев. Издательство Ростовского университета , 1984. - 288 с.
2. Аверкиев Ю. А. Технология холодной штамповки / Ю. А. Аверкиев., А. Ю. Аверкиев. - М: Машиностроение, 1989. - 304 с.
3. Ковка и штамповка: Справочник: В 4 т. Т. 4. Листовая штамповка/ Под ред.. А.Д. Матвеева; Ред. совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. - М.: Машиностроение, 1985-1987. - 544 с.
4. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. 6-е изд., перераб. и доп. / В. П. Романовский . — Ленингр. отд-ние: Машиностроение. 1979. — 520 с.

УДК 621.983

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА МАЛОЛИТРАЖНЫХ БАЛЛОНОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Ткачѳв Р.О., Кухарь В.В.

Государственное высшее учебное заведение «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Украина

***Аннотация.** По результатам проведенных научных исследований разработана и внедрена в производство новая технология изготовления малолиitraжных баллонов высокого давления использующая операцию обжима трубчатых заготовок с предварительным дифференцированным индукционным нагревом очага деформации. Спроектирован двухслойный индуктор и промышленная установка предварительного дифференцированного индукционного нагрева для разработанного технологического процесса. Определены температурные интервалы предварительного индукционного дифференцированного нагрева очага деформации, обеспечивающие нагрев заготовки с последующим формоизменением, без потери устойчивости. Определена скорость деформирования обеспечивающая сохранение заданного перепада температур и получение обжатой трубчатой заготовки в соответствии с требованием к её геометрическим характеристикам. Спроектированы подогревные штампы, для деформации заготовок применяемых в производстве диаметров, позволяющие сохранять необходимый градиент температур при обжиме. Для получения качественного изделия, повышения производительности труда и увеличения стойкости штампа применены разработанные технологические смазки.*

***Ключевые слова:** обжим, индуктор, дифференцированный нагрев, штамп, скорость деформирования, температурный интервал, технологическая смазка*

Мариупольское предприятие ЗАО «Пожзашита» выпускает огнетушители различного назначения с использованием углекислоты, находящейся в баллонах под рабочим давлением 14,7 Мпа. Баллоны, используемые в огнетушителях, имеют емкость 5, 3 и 2 литра.

В соответствии с ГОСТ баллоны емкостью 2 и 3 литра изготавливаются из трубы 108 мм., толщиной стенки не менее 3,4 мм., а емкостью 5 л. из трубы 140 мм., толщиной стенки не менее 4,4 мм. Предел прочности стали не менее 638 Н/мм² (65 кгс/мм²).

Условия рынка заставили отказаться от поставки импортных трубных заготовок. Наиболее рациональным было создание собственного производства из цельнокатаных труб, изготавливаемых на местных заводах. В связи с недоступностью обкатных машин было принято решение: изготавливать 2-х, 3-х, и 5-ти литровые баллоны на имеющихся кривошипных прессах (1,6 МН), используя разработки авторов по исследованию обжима концов труб с предварительным дифференцированным нагревом.

Теоретические [1] и экспериментальные исследования [2], позволили установить оптимальные параметры нагрева и формоизменения трубы с большими степенями деформаций вплоть до закрытия полости трубы. Этими исследованиями определены критерии потери устойчивости в зависимости от условий деформирования и значения относительной толщины заготовки, при которой достигается за один переход максимальная степень деформации, например полное закрытие полости трубы – образование днища баллона. По рекомендациям [3], [4] обжим труб со значительной степенью деформации ($D_0/D_T > 2$) может производиться при относительной толщине $S_0/D_0 = 0,04$; где: S_0 – толщина, D_0 – диаметр трубной заготовки, D_T – диаметр горловины. В нашем случае $S_0 = 4$ мм, $D_0 = 108$ мм, $S_0/D_0 = 0,037$, т.е. относительная толщина S_0/D_0 находится за пределами рекомендуемых значений для обжима с большими степенями деформаций.

В создавшихся условиях можно было использовать способ деформирования с предварительным неравномерным нагревом заготовки [5]. Для этого необходимо тщательно выбрать температурный режим нагрева, определить характер распределения температур по очагу деформаций, подобрать форму обжимаемой части трубы (по ГОСТу она не регламентируется), определить способ нагрева трубы, обеспечивающий заданное неравномерное распределение температур по длине нагретого конца трубы, конструкцию штампа, скорость деформирования, условия трения при штамповке.

При обжиге максимальная степень деформации ограничивается потерей устойчивости в пределах очага деформации или в недеформируемой части заготовки передающей усилие деформирования на инструмент. Анализ напряженного состояния в очаге деформации при обжиге позволил установить картину распределения напряжений. Наибольшие меридиональные напряжения возникают в зоне перехода от деформируемой части заготовки к недеформируемой так как здесь суммируются все напряжения этого рода по очагу деформации. Для того чтобы не произошла потеря устойчивости в виде образования кольцевой складки или выпучивания трубы необходимо повысить сопротивление деформации т.е. не нагревать в этом месте заготовку или греть её в минимальной степени для возможности получения минимальной заданной деформации. При обжиге зона перехода от деформированной части к трубе не должна быть нагрета выше температуры 500-600 °С, при которой величина предела текучести ещё достаточно высока. В зоне наибольших деформаций предел текучести должен быть минимальным и соответствовать значениям при температуре 1000-1200 °С. При температуре 1200 °С даже в процессе скоростного индукционного нагрева образуется слой окалины, неблагоприятно влияющей на стойкость инструмента и внешний вид обжатой части поверхности трубы не подвергающейся в дальнейшем механической обработке. Поэтому для нагрева трубы для обжига горловины оптимальной является температура конца трубы 1000-1050 °С, а для получения днища кромка должна быть нагрета до 1200-1250 °С так как необходимо сваривание кромок под действием напряжений возникающих в стенке трубы при обжиге.

Дифференцированный нагрев трубных заготовок перед деформацией открывает большие возможности, которые недостижимы при деформировании равномерно нагретой или холодной заготовки. Кроме этого дифференцированный нагрев по своей сути является наиболее прогрессивным, что при современных ценах на энергосистемы является немаловажным. Необходимым условием успешного проведения деформации с дифференцированным нагревом является сохранение заданного перепада температур до конца процесса нагрева. Поэтому сам процесс нагрева, перенос заготовки и деформация должны проходить быстро, чтобы в минимальной степени происходил переток тепла из наиболее нагретых зон в наименее нагретые. В современных условиях быстрый заданный неравномерный нагрев может быть достигнут в условиях высокочастотного индукционного нагрева в специальных индукторах.

Вторым важным условием эффективности описываемого процесса деформирования трубы является большая скорость деформирования. Скорость деформирования на универсальных кривошипных прессах (0,2-1 м/с) вполне обеспечивают эти требования. Следует так же отметить, что дифференцированный нагрев необходимо, по возможности, применять при листовой и объемной штамповке и в других видах формоизменения, что приведет к значительной экономии энергоресурсов и снижению стоимости продукции.

Нагрев заготовок при обжиге концов труб производится в высокочастотном индукторе, специально разработанном для данного случая (рис.1). Конструкция индуктора обеспечивает нагрев трубы перед обжимом, при котором на длине около 100 мм реализуется перепад температур 400-500 °С, что необходимо для обжима трубы за один переход с коэффициентов обжима (D_0/D_T) 2 и более. Нагревать нужно быстро, чтобы до деформирования не произошло выравнивание температур, а это сделало бы не возможным интенсивный обжим. Продолжительность нагрева определяется циклом штамповки и составляла в нашем случае 20-25 секунд. При наладке процесса температура нагрева заготовки трубы контролировалась четырьмя термопарами, зачеканенными в стенку трубы на длине нагрева. На нагретой трубе отмечался визуально неравномерное распределение температуры на поверхности (нагрев пятнами). Причины такого нагрева могут быть разные, в том числе, та, что трубы поступают с заводов-поставщиков не отожженные и разностенные по длине окружности в диаметральном сечении. Наши предыдущие исследования показали так же, что неравномерность зазора между индуктором и трубной заготовкой очень сильно влияет на распределение температур, поэтому установлено центрирующее кольцо для точного размещения трубчатой заготовки по оси индуктора. Создана установка для нагрева с вращением трубы скоростью 40-60 оборотов в минуту, которая сняла все вопросы, связанные

с неравномерным нагревом в диаметральной плоскости. Заданная неравномерность нагрева, как предусмотрено технологическим процессом по длине нагретой части трубы, сохранилась.

Индукционная установка работает в полуавтоматическом режиме. Введение заготовки в индуктор, ее вращение, продолжительность нагрева, остановка заготовки по окончании нагрева и извлечение её из индуктора производятся автоматически, а подача холодной заготовки к индуктору и перенос нагретой заготовки на стол штампа – вручную. Питание индуктора производится от тиристорного преобразователя частоты ТПЧ-100-2,4 (мощность 100 кВт, частота 2,4 кГц). Температура нагрева при установленном времени нагрева регулируется величиной изменения тока в индукторе.

Основным ограничением при обжиге конца трубы в обычных условиях является потеря устойчивости в очаге деформации или на необжатой части трубы. Во избежание этого при необходимости значительной деформации в обычных условиях обжим, чаще всего, проводят в несколько переходов с промежуточным отжигом или применяют усложненные конструкции штампов, которые позволяют лишь незначительно увеличить деформацию за один переход без потери устойчивости.

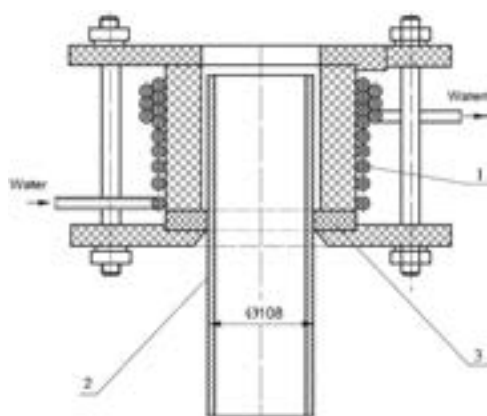


Рис. 1 - Индуктор для предварительного дифференцированного нагрева трубчатой заготовки: 1 - индуктор, 2 - заготовка, 3 - центрирующее кольцо

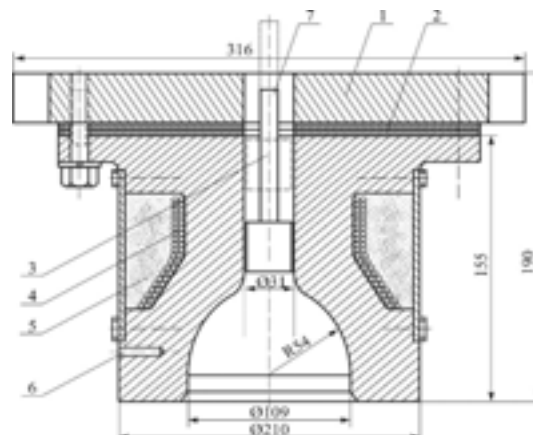


Рис. 2 - Штамп для горловины баллона 2 л:
1 – подштамповая плита; 2 – асбестовая прокладка;
3 – выталкиватель; 4 – нихромовая нагревательная спираль; 5 – асбестовая теплоизоляция;
6 – место для термпары; 7 – выталкиватель

Конструкция нашего штампа (рис.2) и дифференцированный нагрев заготовки позволяет производить обжим до любой заданной степени деформации за один переход, что в несколько раз сокращает расходы на изготовление инструмента, многократный нагрев и другие составляющие технологического цикла.

Важнейшим условием деформирования трубы в таком штампе является сохранение заданной температуры за время обжима. С этой целью штамп нагревается и его температура не должна быть ниже 450-500 °С, а процесс деформирования идти достаточно быстро во избежание чрезмерного остывания кромки деформированной трубы.

Подогрев штампа производится перед штамповкой нихромовыми нагревателями находящимися в штампе, контролируется термпарой и регулируется подаваемым напряжением на нагреватель. В процессе работы, когда температура штампа стабилизируется нагреватели отключаются.

Температура заготовки и штампа являются очень важными факторами влияющими на распределение деформации в зоне формовки горловины и особенно днища баллона. Наиболее благоприятная температура конца трубной заготовки в начале деформации для конструкционных сталей, из которых изготавливаются баллоны, должна быть, 1000-1050 °С, а деформированного участка переходящего в цилиндрическую трубу 600-650 °С, температура штампа 500-550 °С.

Под действием значительных меридиональных напряжений в зонах, примыкающих к обжимаемому концу, создаются благоприятные условия для заполнения полости штампа, где находится горловина с необходимым утолщением стенки или смыкания стенок при формировании днища с дальнейшим свариванием их и закрытием полости.

Для получения качественной горловины баллона, обеспечения большей производительности при эксплуатации штампа не допустим перегрев поверхностного слоя его рабочей части. С этой целью, а так же для снижения расхода электроэнергии и наиболее благоприятного течения металла в горловину производится смазка рабочей поверхности штампа водно-графитовой смазкой ОГВ-75 или ГФП, производимыми на ОАО «Маркограф». Смазка наносится распылением воздухом перед каждой штамповкой. Расход смазки 3-4 грамма на один обжатый конец. Первый штамп был изготовлен из стали 38ХГСА (другой стали не было). Стойкость штампа составила более 15 тыс. изделий. Такая высокая стойкость при горячем деформировании объясняется незначительными нормальными напряжениями на контактной поверхности. Теоретический анализ показывает, что величина этих напряжений зависит от значений меридиональных, тангенциальных напряжений и прямо пропорциональна относительной толщине в месте деформации.

Производство баллонов собственными силами с использованием новой технологии позволило снизить себестоимость продукции и обеспечить выпуск огнетушителей в соответствии с планом.

Список литературы:

1. А.Д. Кирицев, В.К. Икорский. «Обжим толстостенных труб с неравномерным нагревом очага деформаций» Известия ВУЗов. Черная металлургия. –1965, № 3. – с 11-15
2. Е.А. Попов. «Основы теории листовой штамповки». М. Машиностроение. 1968
3. М.Н. Горбунов «Штамповка деталей из трубчатых заготовок». Машгиз. М. 1960
4. А.Д. Кирицев, Б.С. Каргин, Р.О. Ткачев «Исследование и разработка технологического процесса обжима концов труб из сплава Д16». Вестник ПГТУ, Выпуск №2. Мариуполь 1996. с 126-131
5. Е.А. Слухоцкий, С.И. Рыскин «Индукторы для индукционного нагрева» – Л. Энергия. 1974

УДК 621.777.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ПОЛЫХ КОНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Алиев И.С., Самоглядов А.Д.

Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Украина

Аннотация. В работе проведено исследование влияния угла наклона пуансона на процесс выдавливания полой конической детали. При анализе процесса выдавливания установлено, что управляющими параметрами процесса являются углы наклона образующей матрицы и пуансона, положение исходной заготовки в матрице и условия контактного трения μ . Целью данной работы является изучения влияния угла наклона пуансона на процесс выдавливания полой конической детали. В ходе исследования было установлено, что в ходе процесса комбинированного выдавливания наблюдается повышение энергосиловых параметров процесса в зависимости от увеличения угла наклона пуансона. Также было рассмотрено изменение напряжения сечения полой конической детали. На конечной стадии процесса происходит равномерное распределение напряжения по дну и стакану детали.

Ключевые слова: комбинированное выдавливание, полые конические детали, метод конечных элементов, силы деформирования, напряженное состояние

В современных условиях задачами, стоящими перед заготовительным производством, являются ресурсосбережение, повышение эффективности процессов формообразования и качества заготовок для деталей машин. Для производства полых конических изделий из стали, цветных металлов и сплавов в настоящее время используют различные методы

объемной штамповки, которые отличаются как формой исходных заготовок, так и схемой деформирования. Можно выделить три основных способа получения полых конических деталей: прямое выдавливание с раздачей, обратное и комбинированное выдавливание [1,2, 3]. Комбинированное обратно-прямое выдавливание конических стаканов из подготовленных конических заготовок (рис. 1) позволяет получить детали с высокой точностью размеров, и с качественной проработкой структуры за счет сдвиговых деформаций [1, 4]. Применение данного метода может также позволить снизить требуемую силу и работу деформирования. Несмотря на существенные преимущества, исследования данного процесса ограничены и технологические режимы процесса требуют дальнейшего изучения.



Рис. 1 - Схема процесса комбинированного выдавливания полый конической детали (а) и полученный стакан (б)

Моделирование процесса проводилось в программном комплексе DeForm 3D. Материал заготовки алюминиевый сплав АД1 с размерами $D=49,4\text{мм}$, $d=42\text{мм}$, $h=21\text{мм}$ (см. рис.1а). В качестве базовых параметров приняты углы наклона образующей матрицы, $\alpha_m=10^\circ$ и условия контактного трения $\mu=0,08$. В работе рассматривался пуансон с углами наклона $\alpha_n=8^\circ, 10^\circ, 12^\circ$. При анализе процесса выдавливания установлено, что управляющими параметрами процесса являются углы наклона образующей матрицы и пуансона α_m и α_n , соответственно, положение исходной заготовки в матрице (Н) и условия контактного трения, которые задаются при помощи коэффициента трения μ .

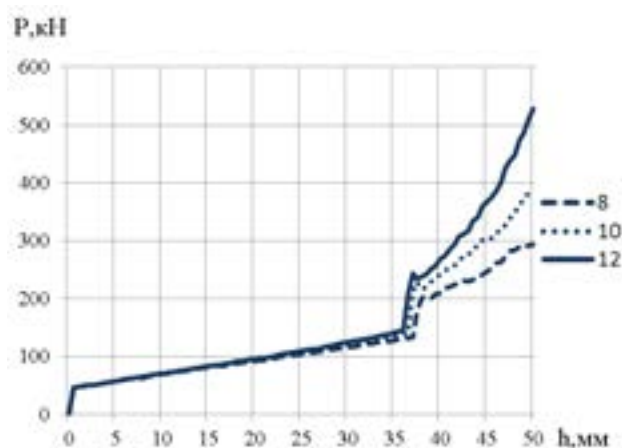


Рис. 2 - Характер изменения силовых параметров при углах наклона пуансона $\alpha_n=8^\circ, 10^\circ, 12^\circ$

На стадии распрессовки и стадии комбинированного выдавливания (рис.2) наблюдается плавное нарастание сил выдавливания при различных углах наклона пуансона. При достижении заготовкой торца противоположного пуансона происходит резкое увеличение сил деформирования за счет перехода к стадии обратного выдавливания. С увеличением угла наклона пуансона (α_n) значительно возрастает усилие, которое составило 293кН при пуансоне с $\alpha_n=8^\circ$, 389кН при $\alpha_n=10^\circ$. Для пуансона с $\alpha_n=12^\circ$ сила деформирования составила 527кН за счет увеличения обжатия заготовки. На основных этапах комбинированного выдавливания происходит снижение сил деформирования в сравнении с обратным выдавливанием [4] за счет появления и воздействия активными силами трения, которые обеспечивают течение металла в зазор между пуансоном и матрицей.

Максимальные значения интенсивности напряжений на начальных стадиях процесса комбинированного выдавливания наблюдаются в углах контакта заготовки с матрицей и пуансоном, распределяясь к дну и стакану формируемой детали (рис.3). Конечная полая коническая деталь имеет равномерное по всему сечению распределение параметров напряженного состояния, обеспечивающее хорошие механические свойства изделий. Максимальное значение интенсивности напряжений составило 159МПа для схемы выдавливания пуансоном с углом наклона 8°. В верхней части полости полученной детали наблюдается утяжина из-за воздействий сил трения и втягивания металла пуансоном в начальной стадии процесса. В целом конические стаканы имеют качественную поверхность и минимальный отклонения формы. Утяжины перед торцом пуансона, возникающие вследствие опережающего течения металла в прямом направлении [4], при моделировании не были обнаружены.

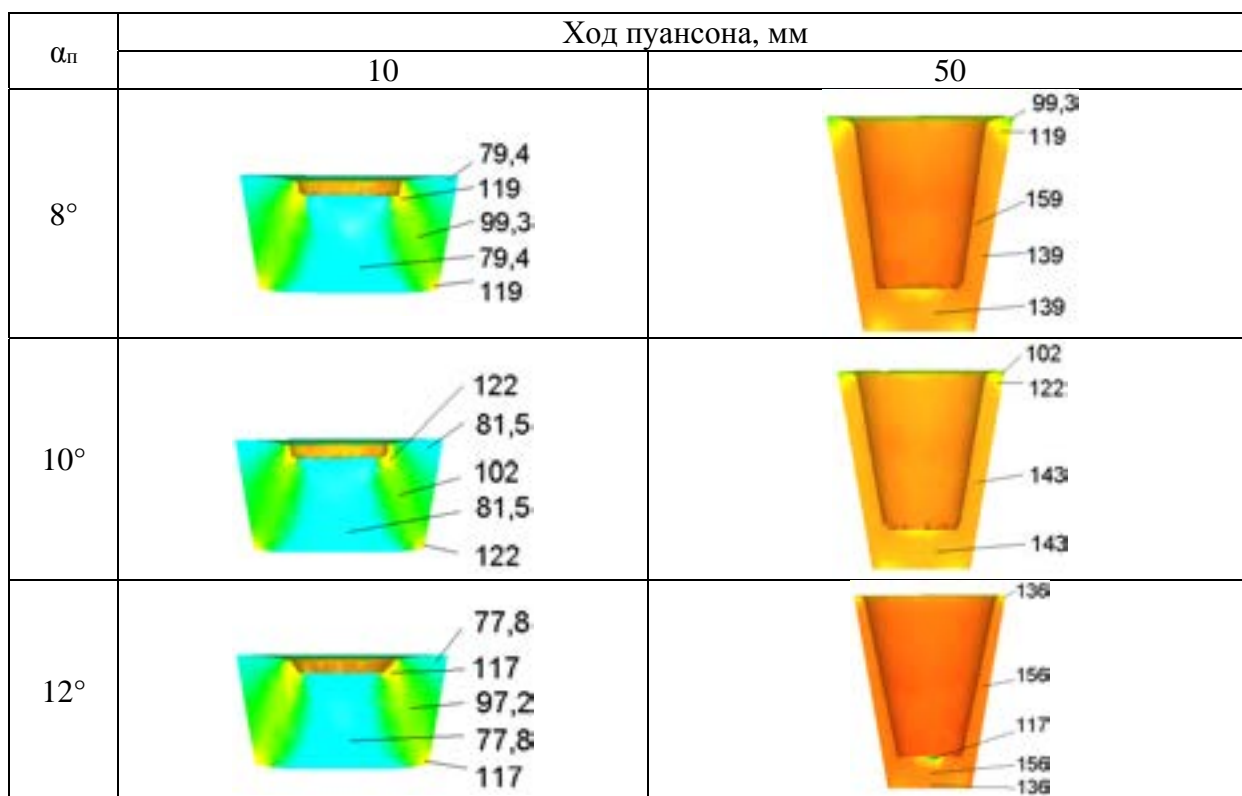


Рис. 3 - Распределение интенсивности напряжений (σ , МПа) в сечении конической детали

Выводы

Проведено КЭ-моделирование процесса выдавливания полой конической детали при помощи программного комплекса DeForm 3D. Установлено, что увеличение значения угла наклона пуансона и матрицы сопровождается повышением энергосиловых параметров процесса выдавливания. Рассмотрено изменение напряженно-деформированного состояния выдавливаемого конического стакана. На конечной стадии процесса наблюдается относительно равномерное распределение показателей напряженного состояния по дну и стенкам конической полой детали.

Список литературы:

1. Алиев И.С. Интенсификация технологических процессов выдавливания полых деталей / И.С. Алиев, В.П. Еремин // Совершенствование процессов и машин обработки давлением : сб-к научн. трудов. – К.: УМК ВО. – 1988. – С. 9-18.
2. Овчинников А. Г. Прямое выдавливание конических стаканов // А. Г. Овчинников, А. В. Хабаров – В кн. Совершенствование процессов объемной штамповки. М: МДНТП, 1980. – С. 103–108.

3. Калюжний В. Л. Порівняльний аналіз прямого і зворотного холодного видавлювання порожнистих виробів із маловуглецевої сталі / В. Л. Калюжний, Є. Ю. Чувільов // Тези доповідей IV Міжнародної конференції «Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості освіти». – Київ : ММІ, 2013. – С. 61–63.
4. Алиев И. С. Анализ энергосиловых параметров при выдавливании полых конических деталей / И. С. Алиев, П. В. Гнездилов // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали тринадцятої Міжнародної науково-технічної конференції. – Краматорськ : ДДМА, 2015. – С. 10–11.

УДК 621.774.25

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ РОЗКАТКИ ФЛАНЦЯ НА СТРИЖНІ

Кліско А.В., Гожій С.П., Власенко Д.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

***Анотація.** Володіючи певними перевагами метод штампування з обкочуванням успішно конкурує з другими методами отримання вісесиметричних заготовок, а іноді і готових деталей. Область впровадження цієї технології все більше розширюється.*

Кафедрою обробки металів тиском КПІ ім. Ігоря Сікорського запропоновано новий технологічний процес штамповки фланцевих виробів на спеціалізованій гідропресові установці, принцип комбінованої дії якої заснований на використанні позитивного ефекту прогресивного методу штампування з обкатуванням та осьової дії традиційного прошивання (зворотного видавлювання).

***Ключові слова:** обробка тиском; штампування обкочуванням; прошивання.*

Відмінною особливістю фланцевих радіаторних деталей для забезпечення сталої тепловіддачі є наявність розвинутого діаметру фланця у порівнянні основою, до 3...4 разів. За існуючої технології деталі основи і фланця виготовляють окремо з наступним збиранням, що негативно впливає на експлуатаційні характеристики.

Для виготовлення фланця радіатора за традиційними технологіями знадобилося б обладнання надто значного зусилля, а тиски, які утворюються між інструментом і фланцевою частиною вимагали застосування спеціальних матеріалів.

Кафедрою механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів КПІ ім. Ігоря Сікорського запропоновано новий технологічний процес штамповки фланцевих виробів на спеціалізованій гідропресові установці, принцип комбінованої дії якої заснований на використанні позитивного ефекту прогресивного методу штампування з обкатуванням та осьової дії традиційного прошивання (зворотного видавлювання).

Володіючи певними достоїнствами метод штампування з обкочуванням успішно конкурує з другими методами отримання вісесиметричних заготовок, а іноді і готових деталей. Область впровадження цієї технології все більше розширюється.

Тим не менш навіть основні параметри процесу вивченні недостатньо повно для застосування в практичній та виробничій практиці.

В зв'язку з проектуванням спеціалізованої установки для комбінованого виготовлення радіаторних фланцевих деталей була сформульована задача розробки методу визначення енерго-силових параметрів штампування з обкочуванням, вирішенню якої присвячена дана робота.

Технологічний процес проходить в два етапи: - зворотне видавлювання; - штампування обкочуванням. В даному випадку процес штампування обкочуванням проходить після зворотного видавлювання без зміни положення заготовки і безпосередньо із зануреним в проміжну заготовку пуансоном. Така тимчасова технологічна конструкція утворена проміжною заготовкою і пуансоном для видавлювання, яку слід розглядати як жорстку. Саме штампування обкочуванням проводиться за умови, що обкочувальний пуансон має кризний

отвір, через який проходить зворотній пуансон, і, який на цій стадії є нерухомим, уявляє собою стрижень для фіксації проміжної заготовки і основою для проведення другого етапу виготовлення деталі з фланцем. В цьому полягає новизна процесу. Визначення енерго-силових параметрів процесу в загальному вигляді описана в [1].

Враховуючи чисто інженерний характер розрахунків при аналізі штампування з обкочуванням, стосовно до визначення енерго-силових параметрів, найбільш підходящим є енергетичний метод.

При цьому вводяться допущення про однорідність пластичного деформування і постійність коефіцієнта тертя на контактній поверхні.

Скориставшись принципом розподілу робіт їх баланс для останнього циклу в установленому режимі має вигляд:

$$A_d = A_{oc} + A_{ob} , \quad (1)$$

де: A_d, A_{oc}, A_{ob} – сумарна робота деформацій, робота сил осаджування деталі і обкочування, відповідно.

Сумарна робота деформацій та робота сил осаджування заготовки визначаються за традиційними методиками [2].

Для визначення останніх двох складових з (1) достатньо визначити співвідношення об'ємів, заготовки зміщених за рахунок осаджування та обкочування. При цьому враховуємо, що циклова степінь деформації незначна в порівнянні з загальною. З деякими наближеннями можна вважати, що об'єм метала, витіснений конічним інструментом, при зануренні в заготовку на величину осьової подачі - h , являється шуканим зміщеним об'ємом від осаджування. А об'єм, що залишився від об'єму кільця товщиною h , внутрішнім та зовнішнім радіусами R_1 та R_2 , за виключенням метала, витісненого конічним інструментом, є шуканим зміщеним об'ємом від обкочування.

Іншими словами співвідношення роботи осаджування до роботи обкочування буде прямопропорційне до відношення відповідних зміщуваних об'ємів або до співвідношення площі контакту між обкочуючим інструментом і заготовкою до вільної площі торця заготовки.

Визначення осьового зусилля становиться можливим, використовуючи знайдені зміщені об'єми осаджування.

Так як в сталому режимі обкатування осьове зусилля за цикл постійне, воно може бути знайдене, як

$$P = \frac{A_{oc}}{h} = \frac{p_{cp} \cdot V_{oc}}{h} , \quad (2)$$

де: p_{cp} – середнє питоме зусилля на контактній поверхні.

Підставивши в даний вираз для значення V_{oc} , отримаємо:

$$P = \frac{4}{9} p_{cp} \sqrt{\frac{2}{tg\varphi}} \left\{ h^{\frac{1}{2}} \left[\left(R_2 + \frac{h}{tg2\varphi} - \frac{h}{3tg\varphi} \right)^{\frac{3}{2}} - \left(R_1 + \frac{h}{tg2\varphi} - \frac{h}{3tg\varphi} \right)^{\frac{3}{2}} + \frac{1}{2h} \left[I_2 \left(R_2 - \frac{h}{3tg\varphi} \right) - I_1 \left(R_1 - \frac{h}{3tg\varphi} \right) \right] \right] \right\} , \quad (3)$$

де: φ – кут нахилу осі обкочуючого інструменту;

I_1, I_2 – довжини дуг на внутрішньому і зовнішньому радіусах осередку обкочування

Крутний момент, що передається конічному обкочуючому інструменту, визначається із співвідношення

$$M_{кр} = \frac{A_{ob}}{2\pi} = \frac{p_{cp}}{2\pi} \cdot V_{ob} \quad (4)$$

Підставивши знайдені значення V_{ob} і V_{oc} отримаємо:

$$M_{кр} = \frac{p_{cp}}{2\pi} \left\{ \pi h (R_2^2 - R_1^2) - \frac{4}{9} p_{cp} \sqrt{\frac{2}{tg\varphi}} \left[h^{\frac{3}{2}} \left(R_2 + \frac{h}{tg2\varphi} - \frac{h}{3tg\varphi} \right)^{\frac{3}{2}} - \left(R_1 + \frac{h}{tg2\varphi} - \frac{h}{3tg\varphi} \right)^{\frac{3}{2}} + \frac{1}{2} \left[I_2 \left(R_2 - \frac{h}{3tg\varphi} \right) - I_1 \left(R_1 - \frac{h}{3tg\varphi} \right) \right] \right] \right\} \quad (5)$$

Ґрунтуючись на вище викладеному, пропонується наступна послідовність розрахунку основних параметрів спеціалізованих установок для штампування з обкатуванням:

1. Задаємося величиною φ в межах $2^0 - 4^0$ відповідно з рекомендаціями [1], [3], [4], які мають і експериментальне підтвердження. Більш коректне визначення φ засновано на ряду технологічних дослідів, направлених на встановлення такого оптимального значення φ , при якому в процесі обкочування не спостерігається бочко- або дуго- подібності.

3. Задаючи значення співвідношення площі контакту між обкочуючим інструментом і заготовкою до площі торця заготовки (λ) задаємося її кінцевим значенням в межах 5-20 та по вже заданих значеннях φ , осьового переміщення, частоти обертання осі обкочуючого інструменту знаходимо значення подачі на один оберт обкочування.

4. Розраховуємо максимальне осьове зусилля по (3) та максимальний крутний момент по (5).

5. Потужність двигуна механізму обкочуючого інструменту вираховується по традиційним методикам. При цьому коефіцієнт корисної дії механізму обкочування розраховується в залежності від конкретної схеми трансмісії.

Список літератури:

1. Пшенишнюк А.С., Кривда Л.Т. Экспериментальное установление величины средних удельных усилий при осадке обкатыванием. // Вестник Киев. политехн. ин-та. Машиностроение. – 1985. - № 22. – С. 77-81.
2. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. – М.: Машиностроение, 1977. – 423с.
3. Samolyk G. Investigation of the Cold Orbital Forging Process of an AlMgSi Alloy Bevel Gear / G. Samolyk // Journal of Materials Processing Technology. – Elsevier, 2013. – № 213. – pp. 1692 – 1702.
4. Гожий С.П., Клиско А.В., Носенко А.И. Интенсификация формообразования конструктивных элементов при штамповке обкатыванием с активными силами трения // Вестник НТУ «ХПИ». – 2011. – №45. – С. 113–119.