УДК 621.7.06
05.07.02 - Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов

Хейн Вин Зо
«МАТИ» - Российский государственный
технологический университет им. К.Э.Циолковского
к.т.н., (докторант) кафедры Технология
Производства Летательных Аппаратов «ТПЛА»
Россия, Москва
E-Mail: taryar4ever@gmail.com

Математическое моделирование процесса ротационного обжима концевого участка трубы

Аннотация: Начало работ по новому перспективному соисканию локальной деформации при ротационом обжиме труб для производства летательных аппаратов (самолеты, вертолеты, ракеты и др.), которые состоит из нескольких тысяч различных металлических деталей, большую часть которых (до 70%) получают методами листовой штамповки [1].

Широкое применение листовой штамповки в авиа- и ракетостроении объясняется целым рядом ее преимуществ: малая трудоемкость изготовления, большая производительность и малая себестоимость деталей, сравнительно небольшие потери материала заготовки, высокий коэффициент использования материала, благоприятные условия для механизации и автоматизации процессов, высокое качество получаемых деталей (высокие точностные параметры, малая шероховатость поверхностей и др.).

В зависимости от функционального назначения детали, применяемого материала, габаритов и программы выпуска используются различные методы ее изготовления. Это процессы раздачи и обжима труб, вытяжка, формовка и гибка листового материала и др. Для осесимметричных деталей типа обтекатель, переходник, сильфон, компенсатор и других деталей гидрогазовых систем летательных аппаратов в последнее время все чаще применяются методы локального деформирования, в том числе методы ротационного формообразования, которые в сравнении с традиционными методами листовой штамповки обладают рядом достоинств: снижением деформирующего усилия, простотой технологической оснастки, большими возможностями формоизменения и другими. В связи с применением высокопрочных и малопластичных материалов, эти традиционные технологии не позволяют получить качественные детали, а также имеют низкую экономическую эффективность. Поэтому исследования ротационного обжима в этом направлении являются **актуальными.**

Работа связана с совершенствованием методов расчета напряженно-деформированного состояния в операциях штамповки при изготовлении деталей летательных аппаратов, основы которых были заложены российскими и зарубежными учеными.

Ключевые слова: Математическое моделирование; ротационный обжим для производства концевого участка труб.

Идентификационный номер статьи в журнале 62TVN613

Hein Win Zaw
MATI – Russian State Technological University
named after K.E. Tsiolkovsky»
Russia, Moscow
E-Mail: taryar4ever@gmail.com

Mathematical modeling of the rotary crimping of the tube end portion

Abstract: Starting of this work, on a new perspective from seeking of local deformation at a rotary crimp of tubes for the production of aircraft (airplanes, helicopters, missiles, etc.), which consists of several thousands of different metal parts, most of which (70%) are prepared by methods stamping.

Widespread use of stamping in aviation and rocket due to a number of its advantages: low labor intensity, high capacity and low cost of components, relatively little loss of the work-piece material, high material utilization, favorable conditions for the mechanization and automation of processes, high quality of parts (high accuracy settings, low surface roughness, etc.).

Depending on the functional parts of the material used, the size and release program uses various methods of manufacture. This distribution processes and crimping pipes, hood, forming and bending of sheet material, etc. For axisymmetric parts such fairing adapter, bellows compensator and other details hydro-gas systems of aircraft in recent years have increasingly used methods of local deformation, including rotary methods of forming, which in comparison with conventional methods of stamping possess a number of advantages: reduction of the deforming force, simple tooling, forming great potential and others. In connection with the application of high-and low-plasticity materials, these traditional technologies do not provide quality parts, and also have low economic efficiency.

Therefore, studies of rotational crimp in this direction are relevant.
This paper is concerned with the improvement of methods of stress-strain state in stamping operations in the manufacture of aircraft parts, whose foundations were laid by Russian and foreign scientists.

Keywords: Mathematical modeling; reducing the diameter of the pipe by rotation for the production of the ends of pipes.

Identification number of article 62TVN613

Работа связана с совершенствованием методов расчета напряженно-деформированного состояния в операциях штамповки при изготовлении деталей летательных аппаратов, основы которых были заложены российскими и зарубежными учеными. В отличие от раскатки процесс ротационного обжима осуществляется иначе (рис. 1) . Заготовка 1 помещается в зазор между оправкой 2 и давильным роликом 3. Под действием усилия Р происходит упругое сжатие стенки заготовки. Обжим заготовки 1 осуществляется путем ее вращения и осевой подачи в профилированный зазор между оправкой 2 и роликом 3, причем вращение и осевое перемещение заготовки осуществляет вращающаяся оправка 2 при отклонении оси вращения заготовки на угол γ от оси вращения оправки (рис. 2).

Таким образом происходит локальное деформирование концевого участка заготовки сначала в нестационарном, а затем в стационарном очаге деформации [1].

Работа, развиваемая внешним моментом М, за исключением потерь на упругое деформирование зоны передачи усилия, полностью идет на формообразование концевого участка трубы. Имеем

$$M\varphi = \iiint_{v} (\sigma_s \varepsilon_i dV,) \qquad (1)$$

где $M\varphi$ - работа внешнего момента.

Из (1) применительно к одному обороту детали получим

$$2\pi M = \sigma_s \varepsilon_i \Delta V, \qquad (2)$$

где $\Delta V = 2\pi R S \Delta h \exp(\varepsilon_m)$ - объем продеформированного металла

(здесь S - толщина заготовки в очаге деформации, причем экспериментально установлено, что $S=S_0=const$; R - текущий радиус кромки заготовки; Δh - подача заготовки в мм на оборот; $\varepsilon_m=\ln(R_0/R)$.

Из (2) имеем (за один оборот детали)

$$M = \sigma_s \varepsilon_i R S \Delta h \exp(\varepsilon_m), \qquad (3)$$

где $\varepsilon_i = 1{,}15\varepsilon_m$, $\sigma_s = \sigma_{то} + \Pi\varepsilon_i$, $R = R_0 - \Delta h \sin\alpha \exp(\varepsilon_m)$.

За второй и последующие обороты детали расчет М осуществляют по выражению (3) и суммируют

$$M_{i=N} = \sum_{i=1}^{N} M_i.$$

Здесь M_i - величины моментов, рассчитанные по выражению (3);

N - количество оборотов детали от i=1 до i=N.

Скорость вращения заготовки (число оборотов в секунду) рассчитывается выражением

$$V_д = \frac{nR_{о пр}}{R_0 60}. \qquad (4)$$

где n - число оборотов оправки в минуту.

Время обработки равно

$$\tau = \frac{i}{V_д}. \quad (5)$$

Перемещение кромки детали в очаге деформации за один оборот составит

$$\Delta l = \Delta h \exp(\varepsilon_m). \quad (6)$$

Угол смещения оси вращения заготовки и оси вращения оправки определяется выражением

$$\gamma = \frac{360\Delta h}{4\pi^2 R_0} \text{ (градусы)}. \quad (7)$$

Из рис. 2 определим площади контакта заготовки с инструментом, получим

$$x = \frac{0{,}5\left(R_0^2 - R^2\right)}{R^{рол} + R}; \quad y = \sqrt{R_0^2 - (R + x)^2}. \quad (8)$$

Площадь проекции контакта в осевом направлении будет примерно равна:

$$F \approx y(R_0 - R). \quad (9)$$

причем площадь проекции всего очага деформации составит

$$F_0 = \pi\left(R_0^2 - R^2\right). \quad (10)$$

Из условия пропорциональности работ (усилий) и площадей контакта получим выражение для расчета осевого усилия P_0, действующего на ролик

$$P_0 = \frac{M_{i=N} F \varphi}{F_0 l \cos\alpha}, \quad (11)$$

где l - величина перемещения кромки детали в очаге деформации; $l = l + \Delta l$; φ - угол поворота детали; $\varphi = 2\pi i$.

Радиальное усилие $P_д$, поддерживающее заготовку, определится выражением

$$P_д = P_0 \cos\alpha. \quad (12)$$

Усилие P_r, развиваемое в зоне упругого сжатия определится по приближенной формуле:

$$P_r = l_0 d_к \sigma_{то}, \quad (13)$$

где $d_к = \sqrt{r_c^2 - h_c^2}$ - длина контакта в зоне упругой деформации.

Здесь $r_c = \frac{R_{опр} + R_{рол}}{2}$, $h_c = r_c - 0{,}002S_0$.

Из условия реализации процесса деформирования следует, что

$$P_0 \le P_r 2f, \quad (14)$$

где f - коэффициент трения между поверхностями заготовки и инструментом.

Момент, возникающий в зоне упругого сжатие, равен

$$M_r = P_r r_c . \quad (15)$$

Таким образом суммарное радиальное усилие, развиваемое роликом составит величину

$$P_\Sigma = P_д + P_r , \quad (16)$$

а суммарный крутящий момент равен

$$M_\Sigma = M_{i=N} + M_r . \quad (17)$$

Мощность на оправке будет равна

$$W = \frac{M_\Sigma \varphi}{\tau} \quad (18)$$

Мощность на двигателе рассчитается по (16) с учетом коэффициента запаса k=1,5-2,0.

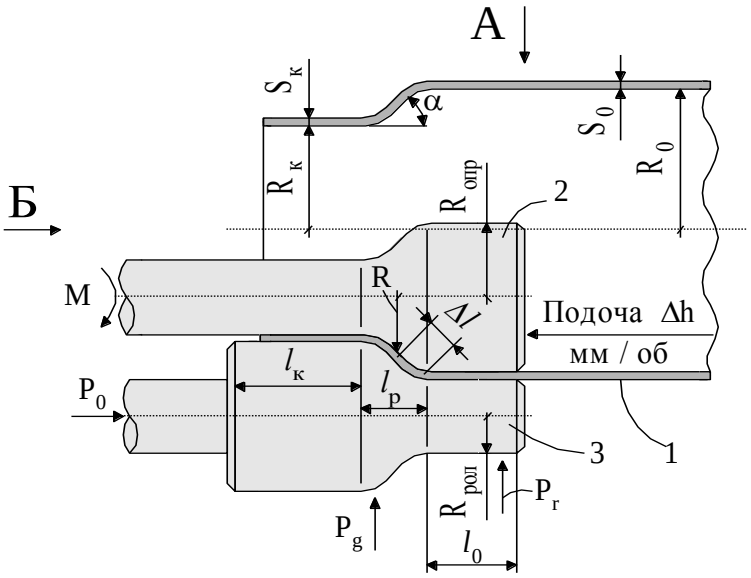

Рис. 1. *Схема ротационного обжима труб: 1 - заготовка; 2 - оправка; 3 - ролик*

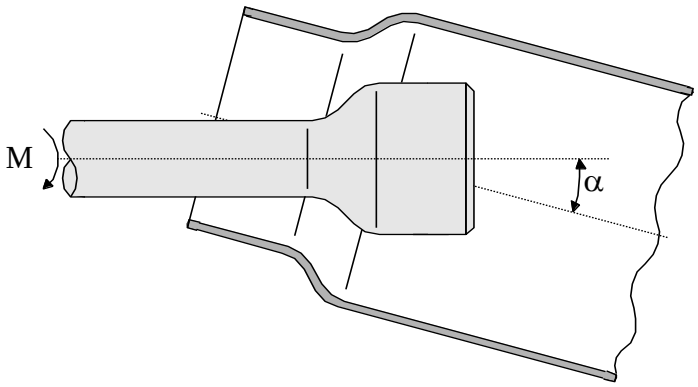

Рис. 2. *Схема ротационного обжима труб. Вид А на рис. 1*

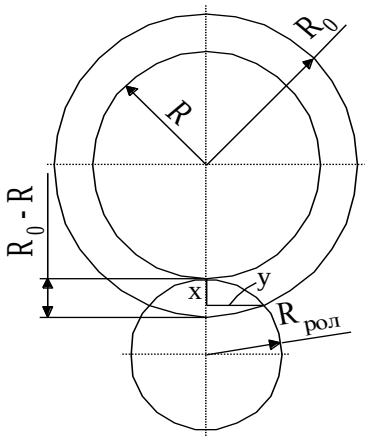

Рис. 3. *К расчету площади контакта заготовки и инструмента. Вид Б на рис. 1*

Вывод

Применение моделирования формообразующих операций позволяет значительно сократить материальные и трудовые затраты при разработке новых технологических процессов, если разработанная модель отражает реальные закономерности процесса деформирования и все расчеты с использованием математической модели процесса полностью автоматизированы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чумадин А.С., Бурштейн Н.М., Архипов В.Н. Ротационно-давильный станок НИКПОС-1. Патент РФ №2093290, 1997.
2. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Изд-во «Наука», 1972, 544 стр.
3. Горбунов М.Н. Технология заготовительно-штамповочных работ в производстве самолетов. – М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.
4. Попов Е.А., Ковалев В.Г., Шубин И.Н. Технология и автоматизация листовой штамповки. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 480 с.
5. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. –Л.: Машиностроение, 1971. -782 с.
6. Гредитор М.А. Давильные работы и ротационное выдавливание. – М.: Машиностроение, 1971. – 239 с.
7. Хейн Вин Зо Экспериментальные исследования процесса раскатки труб // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. № 12, 2007, с. 11-14.
8. Чумадин А.С., Бурштейн Н.М., Архипов В.Н. Способ изменения диаметра концевого участка трубы. Патент РФ №2104112, 1998.
9. Абибов А.Л., Бирюков Н.М., Бойцов В.В. и др. Технология самолетостроения. – М.: Машиностроение, 1970. – 499 с.
10. Листовая штамповка. Расчет технологических параметров. Справочник / В.И. Ершов, О.В. Попов, А.С. Чумадин и др. – М.: Изд-во МАИ, 1999. -516 с.

Рецензент: Гагарина. Л. Г., Заведующая кафедрой “Информатика и программное обеспечение вычислительных систем” Национального исследовательского университета МИЭТ, доктор технических наук, профессор.

REFERENCES

1. Chumadin A.S. Burstein N. M., Arhipov V. N. Rotational and pressing NIKPOS-1 machine. No. 2093290, 1997 patent Russian Federation.
2. Feodosyev V. I., Resistance of materials. M: Publishing house "Science", 1972, 544 p.
3. Gorbunov M.N., Technology of procuring and forming works in production of planes. – M: Mechanical engineering, 1981. – 224 pages.
4. Popov E.A., Kovalev V. G., Shubin I.N. Technology and automation of sheet stamping. – M: MGTU publishing house of AD Bauman, 2003. – 480 pages.
5. Romanovsky V.P., Reference on cold stamping. – L. : Mechanical engineering, 1971. -782 pages.
6. Greditor M. A. Pressing works and rotational expression. – M: Mechanical engineering, 1971. – 239 pages.
7. Hein Win Zaw., The studies of process of expansion of pipes//Forge and forming production. Processing of materials by pressure. No. 12, 2007, page 11-14.
8. Chumadin A.S., Burstein N. M., Arhipov V. N., Way of change of diameter of a trailer site of a pipe. No. 2104112, 1998 patent Russian Federation.
9. Abibov A.L., unsociable persons of H.M., Fighters of B.B., etc. Technology of aircraft construction. – M: Mechanical engineering, 1970. – 499 pages.
10. Sheet stamping. Calculation of technological parameters. Directory / Century. I.Ershov, O.V.Popov, A.S.Chumadin, etc. – M: MAI publishing house, 1999. -516 pages.