

УДК 621.983.07

Орлюк М. В.
Пиманов В. В.
Савченко А. В.

СНИЖЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ГОФРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ МНОГОПЕРЕХОДНОЙ ВЫТЯЖКЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 08X18H10T

На сегодняшний день в производстве изделий, предназначенных для потребления населением, практически исчерпала себя необходимость крупносерийного и массового производства деталей. Так, например, в пищевой промышленности при изготовлении изделий типа кувшинов, стаканов, графинов, питчеров требуется большое разнообразие выпускаемой продукции при небольшой серийности. Конкурентоспособность такой продукции определяется возможностью наладить производство новой продукции в кратчайшие сроки с минимальной себестоимостью.

В единичном и мелкосерийном производстве для получения осесимметричных полуфабрикатов используют обкатку роликом или ротационную вытяжку с использованием универсального или специального давяльного оборудования [1–2]. Однако использование ротационных способов ограничивается необходимостью применения дорогостоящих силовых следящих гидроприводов, электрогидравлических копировальных устройств и систем числового программного управления или привлечением высококвалифицированной рабочей силы при использовании универсального оборудования. С увеличением серийности более эффективной становится традиционная многооперационная вытяжка в штампах [3–5].

Повысить же эффективность технологии получения деталей штамповкой (особенно в серийном производстве) можно только путем оптимизации, т. е. осуществлением формообразования изделия за минимально возможное количество основных и вспомогательных переходов с применением максимально простой штамповой оснастки и универсального прессового оборудования.

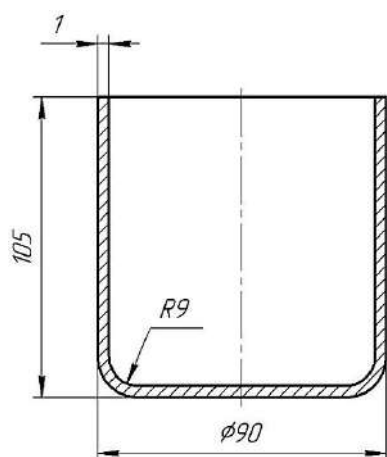


Рис. 1. Эскиз детали

Такой комплекс задач возник при разработке технологии получения осесимметричного стакана (рис. 1) диаметром 90 мм из заготовки диаметром 208 мм толщиной 1 мм из нержавеющей стали 08X18H10T. При вытяжке нержавеющей сталей данного типа, недостатком является необходимость частых промежуточных термообработок (через 1...2 перехода) [5].

Сложность штампов для вытяжки без утонения, применяемых для изготовления изделий вышеуказанной номенклатуры, обычно определяется наличием или отсутствием буферного устройства. Необходимость использования последнего зависит от относительной толщины заготовки и степени деформации при вытяжке и определяется по номограммам или эмпирическим формулам, приведенным в справочной литературе [3–4, 6]. Однако, как показывает практика, при определенных условиях вытяжка без прижима (без использования буферных устройств) возможна и при менее благоприятных условиях процесса [5, 7].

С появлением специализированных программных комплексов для анализа процессов обработки металлов давлением, таких как Deform 3D [8], последние стали неотъемлемой частью процесса разработки технологии, поскольку позволяют путем моделирования корректировать и оптимизировать технологические процессы до изготовления дорогостоящей оснастки.

Цель работы – с применением метода конечных элементов в программном комплексе Deform 3D оценить возможность изготовления необходимой детали по предложенному технологическому процессу и проверить полученные результаты экспериментальным путём.

Формообразование изделия за один переход вытяжки является наиболее предпочтительным, однако ограничивается предельными допустимыми коэффициентами вытяжки. Рекомендуемые коэффициенты вытяжки нержавеющей стали по переходам следующие: $[m_1] = 0,52 \div 0,55$ и $[m_2] = 0,77 \div 0,81$ [3].

В нашем случае общий коэффициент вытяжки при получении детали $m_1 = \frac{d_{\text{дет}}}{d_0} = \frac{90}{208} = 0,43 < [m_1] = 0,52 \div 0,55$, то есть однопереходная вытяжка изделия невозможна. Приняв коэффициент вытяжки на первом переходе $m_1 = 0,54$, получаем диаметр полуфабриката после первой вытяжки $d_1 = d_0 \cdot m_1 = 208 \cdot 0,54 = 112$ мм. Тогда $m_2 = \frac{d_{\text{дет}}}{d_1} = \frac{90}{112} = 0,8$, что находится в пределах допустимого $[m_2] = 0,77 \div 0,81$. То есть вытяжка возможна за два перехода.

Для проверки необходимости использования прижима заготовки в разных источниках предлагают несколько рекомендаций, однако основными определяющими факторами при этом является степень деформации при вытяжке и относительная толщина заготовки. Согласно данным источника [3] наличие прижима на первом переходе вытяжки определяется из условия: $d_0 - d_1 > 22 \cdot S$. В нашем случае неравенство имеет вид: $208 - 112 = 96 > 22$, что говорит о необходимости применения буферного устройства. Определение необходимости прижима по номограмме, приведенной в литературе [6] показало, что при относительной толщине $\frac{100 \cdot S}{d_0} = 0,48$ минимальный коэффициент вытяжки без использования прижима $[m_1] = 0,87$. При меньших коэффициентах, а в нашем случае $m_1 = 0,54$, необходимо использование прижима.

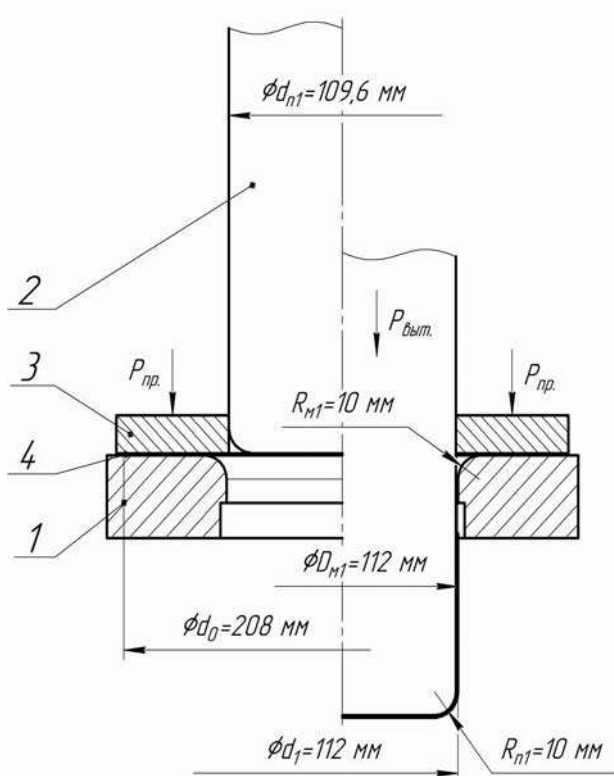
В свою очередь рекомендации по необходимости использования прижима на последующих операциях вытяжки сильно разнятся. Так согласно справочным данным [3] наличие прижима для второго и последующих переходов вытяжки определяется из условия: $\frac{100 \cdot S}{d_1} < 1,25$. В нашем случае неравенство имеет вид: $\frac{100 \cdot S}{d_1} = \frac{100 \cdot 1}{112} = 0,89 < 1,25$, что говорит о необходимости применения буферного устройства. В справочной литературе [5] необходимость применения буферного устройства рекомендуется определять в зависимости от предельного коэффициента вытяжки и относительной толщины заготовки. При относительной толщине $\frac{100 \cdot S}{d_1} = 0,89$, рекомендуемый предельный коэффициент вытяжки без прижима должен быть менее 1,25. В нашем случае $K_{\text{п}} = \frac{d_1}{d_{\text{дет}}} = \frac{112}{90} = 1,25$. Можно сделать вывод, что вытяжку необходимо проводить с прижимом заготовки. Определение необходимости прижима по номограмме, приведенной в литературе [6] показало, что при относительной толщине $\frac{100 \cdot S}{d_1} = 0,89$ минимальный коэффициент вытяжки без использования прижима $[m_2] = 0,78$. В нашем случае коэффициент вытяжки на втором переходе $m_2 = 0,8$, а, значит, существует возможность осуществления вытяжки на втором переходе без использования прижима.

Исходя из номограммы для определения необходимости прижима [6], вероятность образования гофр можно уменьшить, увеличив коэффициент вытяжки на втором переходе. Однако, приняв его равным $[m_2] = 0,85$, получим $d_1 = \frac{d_{\text{дет}}}{m_2} = \frac{90}{0,85} = 106$ мм. Тогда $m_1 = \frac{d_1}{d_0} = \frac{106}{208} = 0,51 < [m_1] = 0,52 \div 0,55$, что может привести к добавлению дополнительного перехода вытяжки и промежуточной термообработки полуфабриката. Поэтому в нашем случае, учитывая все вышеизложенное, единственным вариантом оптимизации технологии изготовления будет сохранение общего числа переходов в количестве двух и получение детали на последнем переходе без применения прижима полуфабриката.

Практикой установлено, что снизить вероятность образования гофр можно за счет использования более сложной по конструкции матрицы с конусно-тороидальной формой рабочей поверхности. В отличие от матрицы с традиционной формой рабочей части, данная форма позволяет создать более благоприятные условия деформирования при малых углах матрицы из-за уменьшения значения напряжений, возникающих на участке изгиба заготовки [5, 7].

Приняв коэффициенты вытяжки, равные $m_1 = 0,54$ и $m_2 = 0,8$ для первого и второго переходов соответственно, проверим возможность получения детали путём численного моделирования процесса в программном комплексе Deform 3D [8].

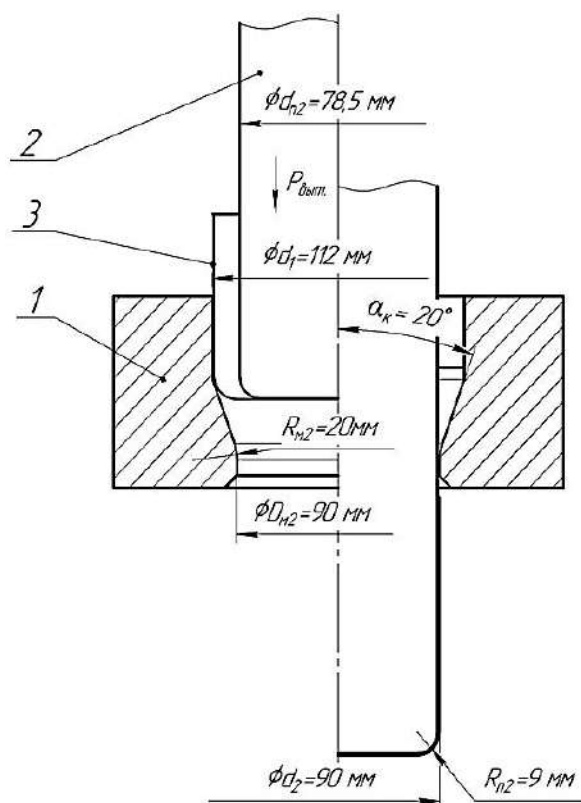
Расчетные схемы реальных процессов вытяжки приведены на рис. 2, 3. Первый переход вытяжки производился в матрице с традиционной тороидальной формой рабочей поверхности и с использованием прижима заготовки, второй – в матрице с конусно-тороидальной формой рабочей поверхности без прижима заготовки.



а

Рис. 2. Расчетная схема первой вытяжки:

1 – матрица; 2 – пуансон; 3 – прижим;
4 – заготовка



б

Рис. 3. Расчетная схема второй

вытяжки:

1 – матрица; 2 – пуансон; 3 – заготовка

В качестве материала заготовки была использована сталь AISI 304 – аналог стали 08X18H10T. Модель материала – пластическая. Для оценки возможности прогнозирования гофрообразования в процессе вытяжки в Deform 3D был смоделирован процесс первой вытяжки заготовки без применения прижима 3 (см. рис. 2).

Результаты моделирования вытяжки первого перехода без применения прижима заготовки (рис. 4) подтверждают необходимость применения прижима заготовки на первом переходе, поскольку из-за тангенциальных напряжений сжатия при её вытяжке происходит потеря устойчивости фланца заготовки. Полученные результаты согласуются с приведенными выше расчётами и с результатами, полученными ранее при моделировании процессов вытяжки осесимметричных деталей [9].

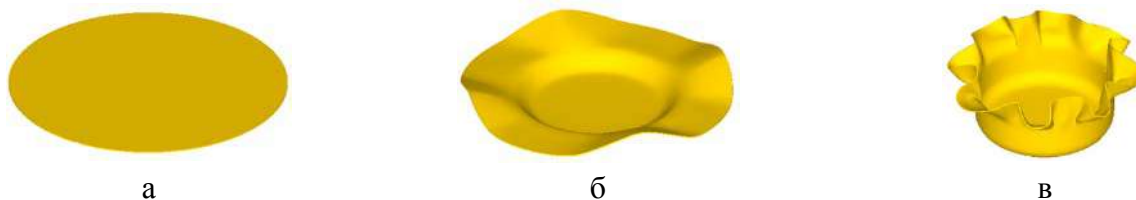


Рис. 4. Заготовка на разных этапах первой вытяжки без применения прижима заготовки: а – исходная заготовка; б – начало образования гофр; в – затягивание гофр в рабочую зону матрицы

Результаты моделирования первого перехода вытяжки представлены на рис. 5–7.

Процесс формоизменения заготовки на разных этапах первого перехода вытяжки с применением прижима приведено на рис. 5. Результаты моделирования показали, что применение прижима позволяет получить полуфабрикат без значительного гофрообразования и отрыва донной части заготовки.

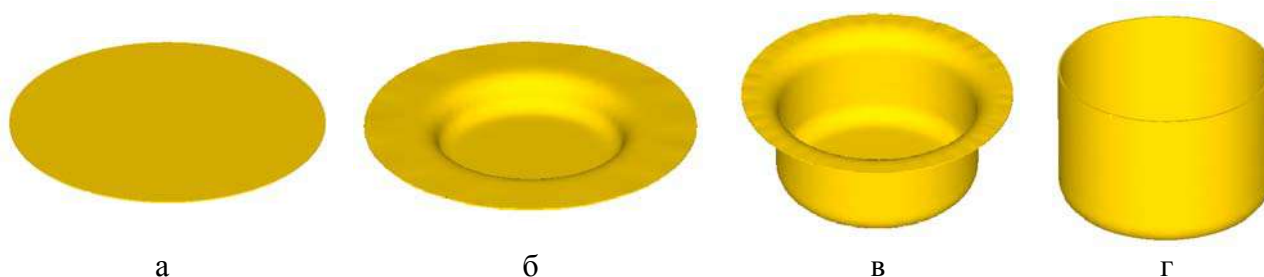


Рис. 5. Заготовка на разных этапах первого перехода вытяжки с применением прижима фланца:

а – исходная заготовка; б – начало вытяжки; в – конец вытяжки; г – готовая деталь

Распределение интенсивности напряжений σ_i при максимальном усилии процесса приведено на рис. 6, а. Максимальные значения достигают 950 МПа на радиусном переходе в рабочую зону матрицы и 750 МПа в месте радиусного перехода стенки заготовки в донную часть. Как видно из рис. 6, б, максимальные значения интенсивности деформаций ε_i наблюдаются по краю стенки полуфабриката и достигает 0,9. При этом максимальные значения критерия разрушения K_p (рис. 6, в) достигают значений 0,3 и находятся в пределах допустимого значения данного параметра $[K_p] = 0.6$ для операций вытяжки без утонения стенки [10–11].

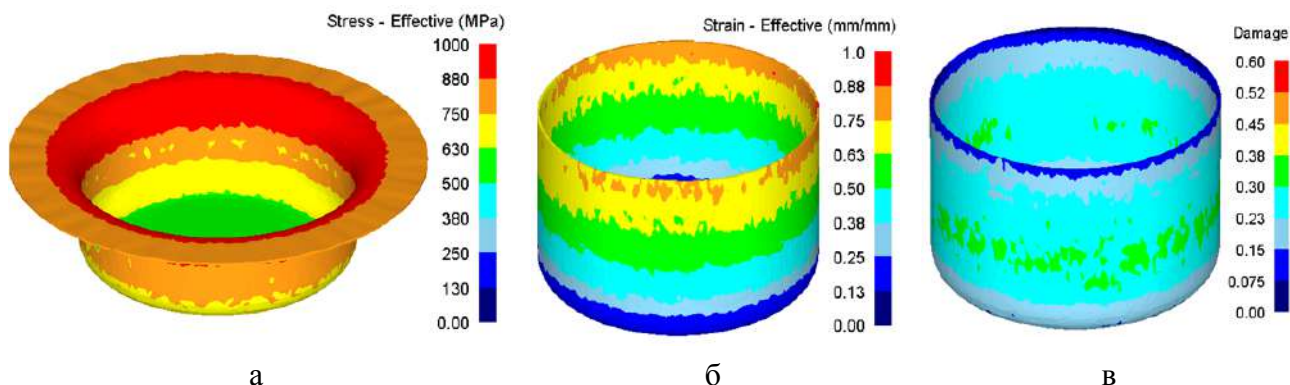


Рис. 6. Напряженно-деформированное состояние в объёме полуфабриката после первой вытяжки:

а – распределение интенсивности напряжений при максимальном усилии процесса σ_i ; б – распределение интенсивности деформаций ε_i ; в – распределение критерия разрушения K_p

На рис. 7 показано зависимость усилия первого перехода вытяжки от перемещения пуансона. Максимальное усилие процесса составило 26,8 тс. Полученные данные необходимы при выборе оборудования для проведения реальных экспериментов.

Результаты численного моделирования второго перехода вытяжки показаны на рис. 8–10. Как видно из рис. 8, при использовании матрицы с конусно-тороидальной формой рабочей поверхности потери устойчивости стенки заготовки не происходит.

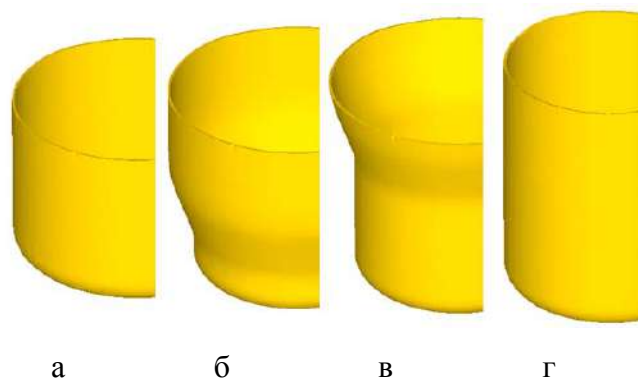
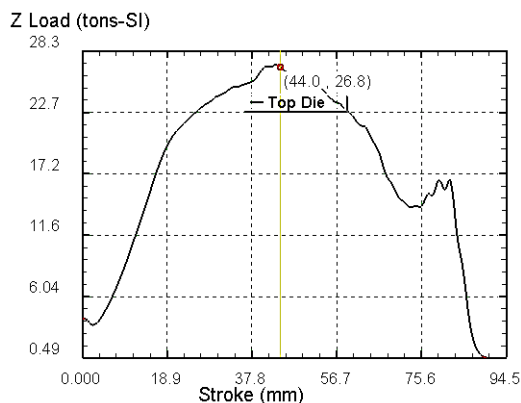


Рис. 8. Заготовка на разных этапах второй

Рис. 7. Зависимости усилия первого перехода вытяжки без применения прижима заготовки:

а — исходная заготовка; б — начало вытяжки; в — конец вытяжки; г — готовая деталь

На рис. рис. 9 показано напряженно-деформированное состояние в объеме полуфабриката после второй вытяжки. Распределение интенсивности напряжений σ_i при максимальном усилии процесса приведено на рис. 9, а. Максимальные значения достигают 980 МПа у свободного края детали и 420 МПа вдоль стенки детали и в месте радиусного перехода стенки заготовки в донную часть. На рис. 9, б приведено распределение интенсивности деформаций ε_i , максимальные значения достигают 0,9. Распределение критерия разрушения K_p показано на рис. 9, в. Максимальные значения достигают значений 0,5 и находятся в пределах допустимого значения данного параметра $[K_p]=0.6$ для операций вытяжки без утонения стенки [10–11].

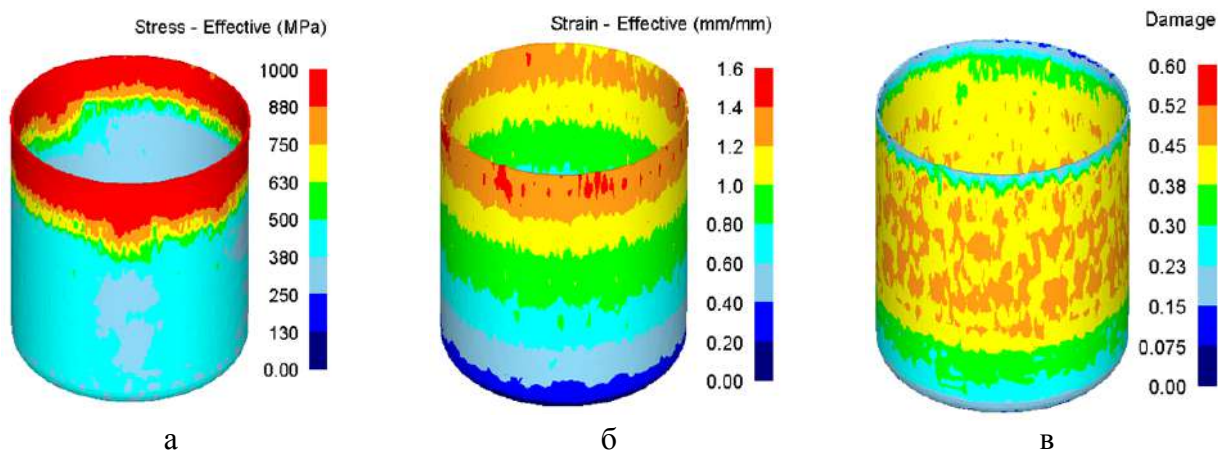


Рис. 9. Напряженно-деформированное состояние в объеме полуфабриката после второй вытяжки:

а — распределение интенсивности напряжений при максимальном усилии процесса σ_i ; б — распределение интенсивности деформаций ε_i ; в — распределение критерия разрушения K_p

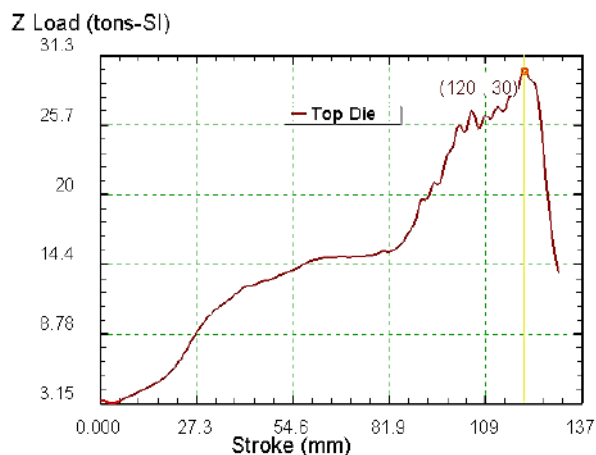


Рис. 10. Зависимости усилия второго перехода вытяжки от перемещения пуансона

На рис. 10 показана зависимость усилия второго перехода вытяжки от перемещения пуансона. Максимальное усилие достигает значений 30 тс в конце процесса вытяжки.

Значения максимальных усилий вытяжки, полученные путём численного моделирования и при проведении реальных экспериментов, практически совпадают. Разница максимальных значений не превышает 10 %.

Для реализации процесса вытяжки была спроектирована и изготовлена соответствующая штамповая оснастка (рис. 11).



а



б

Рис. 11. Штампы для вытяжки деталей:

а – штамп для первого перехода; б – штамп для второго перехода

По результатам моделирования, приведенным на рис. 5, в и рис. 6, а, на фланце заготовки видно незначительное гофрообразование, возникающее из-за недостаточного усилия прижима, что подтвердилось при проведении реальных экспериментов. Незначительные складки можно наблюдать на внутренней стенке полуфабриката (рис. 12). Реальные эксперименты подтвердили результаты, полученные путём численного моделирования, и показали, что реализация второго перехода вытяжки без применения прижима заготовки возможна за счёт применения более благоприятной схемы деформирования, которая обеспечивается

подбором соответствующей степени деформации и геометрией инструмента. Готовая деталь после второй вытяжки показана на рис. 13. Технологическая цепь изготовления детали показана на рис. 14.



Рис. 12. Гофрообразование на внутренней стенке полуфабриката



Рис. 13. Готовая деталь после второй вытяжки: слева – после вытяжки; справа – после подрезки торца



Рис. 14. Технологическая цепь изготовления детали: лева-направо: исходная заготовка, полуфабрикат после первой вытяжки, готовая деталь после подрезки торца

ВЫВОДЫ

В работе проанализирована возможность оптимизации традиционной технологии многопереходной вытяжки с прижимом детали из стали 08X18H10T за счет подбора степеней деформации по переходам и использования матрицы с конусно-тороидальной формой рабочей поверхности. С целью определения возможности вытяжки без прижима проведено численное моделирование процесса в программном комплексе Deform 3D. Результаты моделирования и их практическая реализация подтвердили возможность осуществления второго перехода вытяжки без применения прижима заготовки благодаря созданию более благоприятной схемы деформирования. Это, в свою очередь, позволяет усовершенствовать методику построения технологических процессов вытяжки деталей и расширить область применения вытяжки без прижима на втором и последующих переходах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гредитор М. А. Давильные работы и ротационное выдавливание / М. А. Гредитор. – М. : Машиностроение, 1971. – 239 с.
2. Юдин Л. Г. Ротационная вытяжка цилиндрических оболочек / Л. Г. Юдин, С. П. Яковлев. – М. : Машиностроение, 1984. – 128 с., ил.
3. Справочник конструктора штампов : Листовая штамповка / Под общ. ред. Л. И. Рудмана. – М. : Машиностроение, 1988. – 496 с.

4. Романовский В. П. *Справочник по холодной штамповке* / В. П. Романовский. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 520 с., ил.
5. *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. : ил.
6. РТМ 34-65. *Штампы для холодной листовой штамповки. Расчеты и конструирование*. – М., 1965.
7. Стеблюк В. І. *Витягування вісесиметричних тонкостінних виробів із нержавіючої сталі 04Х18Н9Т* / В. І. Стеблюк, М. В. Орлюк, Д. Б. Шкарлута // *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тематич. зб. наук. пр.* – Краматорськ : ДДМА, 2007. – 2007. – С. 268–270.
8. *Deform-3D – мощная система моделирования технологических процессов [Электронный ресурс]*. – Режим доступа: <http://www.tesis.com.ru/software/deform>.
9. *Комп'ютерне моделювання процесу витягування порожнистих виробів у середовищі «DEFORM-3D»* / Стеблюк В. І., Холявік О. В., Орлюк М. В., Лукасик К. // *Обработка материалов давлением : сборник научных трудов*. – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 2 (23). – С. 24–27.
10. Орлюк М. В. *Определение предельных степеней деформаций при компьютерном моделировании процесса вытяжки* / Стеблюк В. И., Орлюк М. В., Холявик О. В., Сопруненко В. Р. // *Scientific proceedings III international scientific congress “Innovations”*. – Varna, Bulgaria. – 2017. – № 1. – С. 233–236.
11. Орлюк М. В. *Граничні значення критеріїв руйнування при моделюванні процесів витягування в середовищі DEFORM* / М. В. Орлюк // *Обработка материалов давлением : сборник научных трудов*. – Краматорск : ДГМА, 2017. – № 2(45). – С. 22–29.

REFERENCES

1. Greditor M. A. *Davil'nye raboty i rotacionnoe vydavlivanie* / M. A. Greditor. – М. : Mashinostroenie, 1971. – 239 s.
2. Judin L. G. *Rotacionnaja vytjazhka cilindricheskikh oboloček* / L. G. Judin, S. P. Jakovlev. – М. : Mashinostroenie, 1984. – 128 s., il.
3. *Spravochnik konstruktora shtampov : Listovaja shtampovka* / Pod obshh. red. L. I. Rudmana. – М. : Mashinostroenie, 1988. – 496 s.
4. Romanovskij V. P. *Spravochnik po holodnoj shtampovke* / V. P. Romanovskij. – 6-e izd., pererab. i dop. – L. : Mashinostroenie. Leningr. otd-ie, 1979. – 520 s., il.
5. *Kovka i shtampovka : Spravochnik. V 4 t. T. 4. Listovaja shtampovka* / Pod red. A. D. Matveeva ; red. совет : E. I. Semenov (pred.) i dr. – М. : – Mashinostroenie, 1985–1987. – 544 s. : il.
6. РТМ 34-65. *Shtampy dlja holodnoj listovoj shtampovki. Raschety i konstruirovanie*. – М., 1965.
7. Stebljuk V. I. *Vytjaguvannja visesymetrychnyh tonkostinnyh vyrobiv iz nerzhavijuchoi' stali 04H18N9T* / V. I. Stebljuk, M. V. Orljuk, D. B. Shkarluta // *Udoskonalennja procesiv i obladnannja obrobky tyskom v metalurgii' i mashynobuduванні : tematyč. zб. nauk. pr.* – Kramators'k : DDMA, 2007. – 2007. – S. 268–270.
8. *Deform-3D – moshhnaja sistema modelirovanija tehnologicheskikh processov [Jelektronnyj resurs]*. – Rezhim dostupa: <http://www.tesis.com.ru/software/deform>.
9. *Komp'juterne modeljuvannja processu vytjaguvannja porozhnystyh vyrobiv u seredovyshhi «DEFORM-3D»* / Stebljuk V. I., Holjavik O. V., Orljuk M. V., Lukasyk K. // *Obrabotka materyalov davlenym : sbornyk nauchnyh trudov*. – Kramatorsk : DGMA, 2010. – № 2 (23). – S. 24–27.
10. Orljuk M. V. *Opređenje predeľnyh stepenej deformacij pri komp'juternom modelirovanii procesa vytjazhki* / Stebljuk V. I., Orljuk M. V., Holjavik O. V., Soprunenko V. R. // *Scientific proceedings III international scientific congress “Innovations”*. – Varna, Vulgaria. – 2017. – № 1. – S. 233–236.
11. Orljuk M. V. *Granychni znachennja kryterii'v rujnuvannja pry modeljuvanni procesiv vytjaguvannja v seredovyshhi DEFORM* / M. V. Orljuk // *Obrabotka materyalov davlenyem : sbornyk nauchnyh trudov*. – Kramatorsk : DGMA, 2017. – № 2(45). – S. 22–29.

Орлюк М. В. – канд. техн. наук, доц. НТУУ «КПИ им. И. Сикорского»;
minorkpi@ukr.net

Пиманов В. В. – канд. техн. наук, ассистент НТУУ «КПИ им. И. Сикорского»;
pimanov@ukr.net

Савченко А. В. – аспирант НТУУ «КПИ им. И. Сикорского».
SavchenkoArtem1994@gmail.com

НТУУ «КПИ им. И. Сикорского» – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев.

Статья поступила в редакцию 15.03.2019 г.