

С.Н. Ларин, д.т.н., **Н.А. Самсонов**, аспирант, **В.И. Платонов**, к.т.н.
(Тульский государственный университет, 300012, г. Тула, пр. Ленина, 92)
E-mail: mpf-tula@rambler.ru

Анализ формирования геометрии изделий при вытяжке квадратных заготовок на профильной матрице*

Рассмотрена вытяжка квадратных заготовок в цилиндрическую матрицу. Для обеспечения минимизации эффекта неравномерности торцов заготовок в матрице использовался профильный заходной участок. Выполнено исследование влияния профиля матрицы на геометрию получаемых изделий. Выявлены рациональные геометрические соотношения инструмента, позволяющие добиться меньшей неравномерности геометрии концевой части деталей.

Ключевые слова: вытяжка; формоизменение; анализ; матрица; степень деформаций.

S.N. Larin, Dr. Sc. Tech., **N.A. Samsonov**, Post graduate student, **V.I. Platonov**, Can. Sc. Tech.
(Tula State University, 92, Lenin Avenue, Tula, 300012)

Analysis of product geometry formation at square billet stretching on profile matrix

There is considered square billet stretching in a cylindrical matrix. To ensure minimization of an inequality effect of billet ends in the matrix there was used a leading-in profile area. The investigation of matrix profile impact upon geometry of products manufactured is carried out. The efficient geometrical ratios of a tool allowing the achievement of a lesser inequality in the geometry of parts end area are revealed.

Keywords: stretching; forming; analysis; matrix; deformation degree.

Использование квадратных плоских заготовок под вытяжку цилиндрических изделий позволяет заметно сократить потери металла, возникающие при изготовлении полуфабрикатов из листа или ленты [1 – 4]. Однако после вытяжки изделий из квадратных заготовок возникает значительная неравномерность геометрии их торцевой части, что связано с особенностями перемещения материала по поверхности матрицы [5 – 7].

Определенный интерес представляет минимизация неравномерности геометрии концевой части деталей. Рассмотрен процесс вы-

тяжки квадратных заготовок в цилиндрическую матрицу. Особенностью исследуемого процесса являлась то, что рабочая поверхность матрицы имела профильную геометрию, позволяющую обеспечить управление перемещением угловых элементов заготовок относительно их центральной части. На рис. 1 представлена схема матрицы.

Матрица имеет паз, представляющий собой крестообразное углубление шириной $2R$ и глубиной b . В качестве заготовки использовался квадратный лист шириной 60 мм и толщиной $S = 1,5$ мм. Заготовка изготовлена из углеродистой стали 10. Матрица имеет цилиндрическое отверстие диаметром $D = 40$ мм. Заготовка располагается таким образом, чтобы ее угловые части ложились на выступы матрицы (рис. 2).

* Статья подготовлена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук № МК-2395.2020.8.

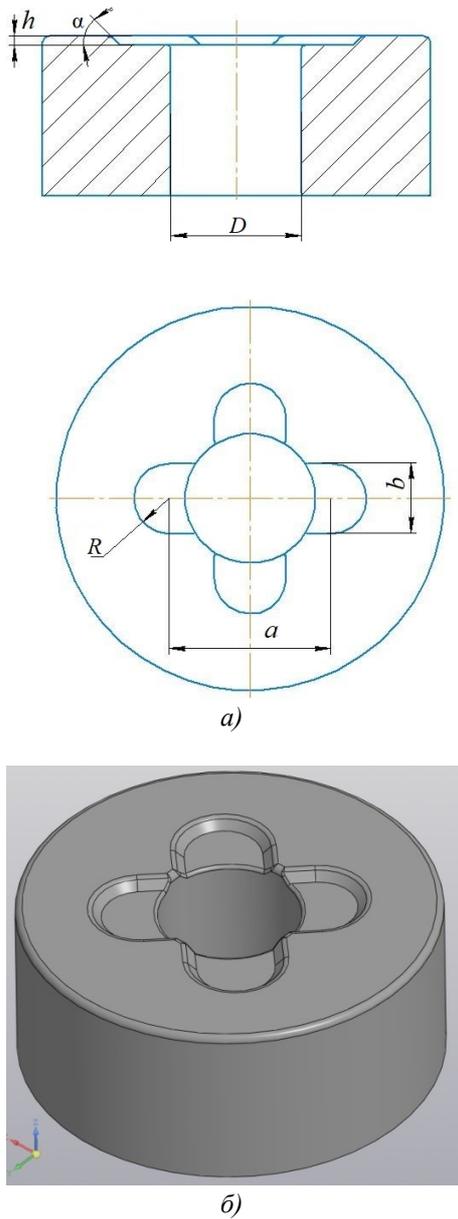


Рис. 1. Матрица для вытяжки:
 а – чертеж; б – 3d модель

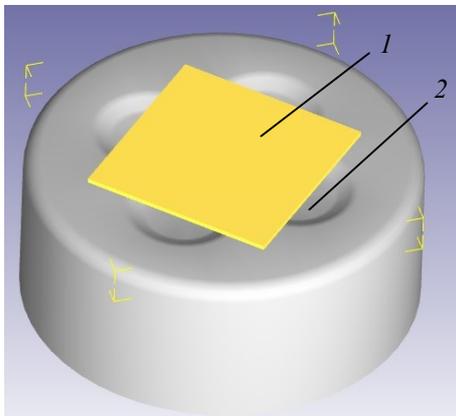


Рис. 2. Схема расположения заготовки относительно матрицы:
 1 – заготовка; 2 – матрица

Для оценки влияния профиля матрицы на геометрию получаемых изделий использовался комплекс 3d моделирования DEFORM.

По результатам моделирования был выполнен ряд расчетов для разных значений ширины выемки и ее глубины. Установлено влияние данных параметров на относительную неравномерность высот выступов и впадин на краевой части заготовки, которые определялись как $\Delta h = h_{\min} / h_{\max}$. Высоты h_{\min} и h_{\max} соответствуют высоте изделия от начала вертикального участка до краевой высоты детали по впадинам и выступам соответственно (рис. 3).

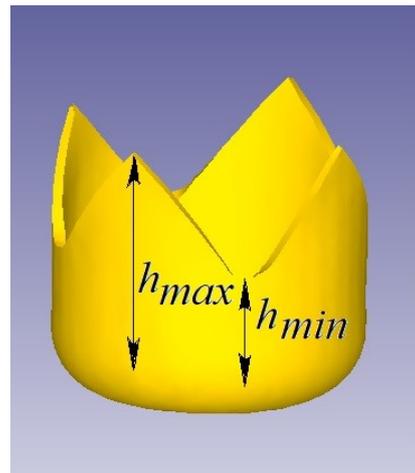


Рис. 3. Модель готового изделия

Установлено влияние относительной глубины $\bar{h} = h/S$ выемки в матрице при ее относительной ширине $\bar{b} = b/D = 0,75$ на относительную неравномерность высот $\Delta h = h_{\min} / h_{\max}$. На рис. 4 представлена зависимость, полученная в ходе анализа результатов, позволяющая выявить влияние относительной глубины на относительную неравномерность высот.

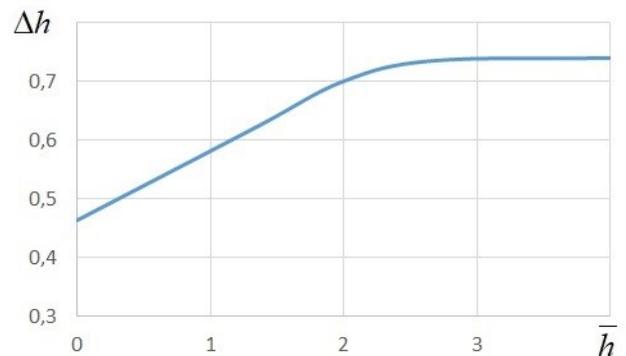


Рис. 4. График зависимости Δh от относительной глубины выемки \bar{h} : ($\bar{b} = 0,75$)

Наибольшая интенсивность уменьшения

неравномерности высот наблюдается в интервале относительной глубины выемки $\bar{h} = 0 \dots 2$ и составляет 35 %. Также продолжается уменьшения неравномерности высоты выступов и впадин, однако интенсивность изменения данной величины не превышает 5 %. Установлено, что реализация вытяжки в матрицах с гладкой, без рельефа, верхней поверхностью относительная неравномерность высоты выступов и впадин составляет $\Delta h = 0,46$ (или 13 мм разница между выступами и впадинами). А при вытяжке в матрицах с рельефной поверхностью величина неравномерности составляет $\Delta h = 0,7$ (или 7 мм разница между выступами и впадинами), что говорит о значительном уменьшении неравномерности геометрии.

Установлено влияние относительной ширины \bar{b} выемки в матрицы на относительную неравномерность высот. На рис. 5 представлена зависимость, полученная в ходе анализа результатов, позволяющая выявить влияние относительной ширины выемки на относительную неравномерность высот.

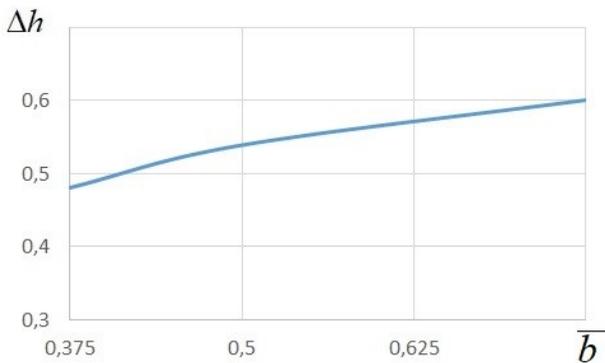


Рис. 5. График зависимости Δh от относительной глубины выемки \bar{b} : ($\bar{h} = 2$)

Установлено, что изменение величины \bar{b} также приводит к изменению относительной неравномерности высот торцевой части детали. Установлено, что увеличение \bar{b} в интервале $0,375 \dots 0,75$ приводит к снижению величины неравномерности высот на 17 %.

В ходе анализа напряженно-деформированного состояния изделий было выявлено, что при превышении определенной величины глубины выемки в деталях происходит разрушение в виде нарушения сплошности материала в области выемок. Выполнено исследование влияния относительной глубины выем-

ки \bar{h} на критерий разрушения. На рис. 6 дан график зависимости критерия разрушения от относительной глубины выемки \bar{h} : ($\bar{b} = 0,75$).

Установлено, что при вытяжке на матрице с гладкой поверхностью величина критерия разрушения не превышает допустимого и равна $\omega = 0,4$. Использование матрицы с профильным пазом приводит к росту критерия разрушения. В интервале $\bar{h} = 0 \dots 2,2$ наблюдается плавный рост ω , составляющий 25 %. Начиная с $\bar{h} = 2,3$ и далее величина критерия разрушения резко увеличивается и достигает критической величины при $b/S = 3$. Выявлено, что относительная величина глубины паза не должна превышать $\bar{h} = 2,0$. Данная величина $\bar{h} = 2,0$ позволяет добиться рациональной геометрии изделий. На рис. 7 представлены схемы к оценке распределения в изделии максимальных нормальных напряжений и критерия разрушения в конечный момент деформации.

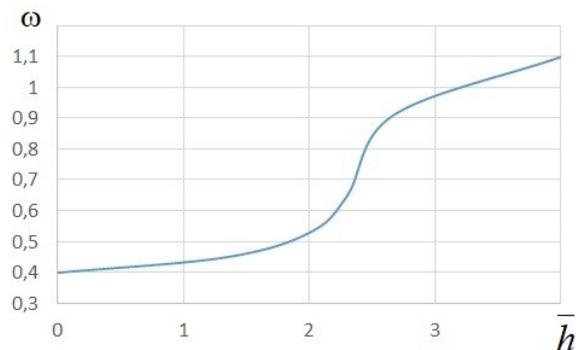
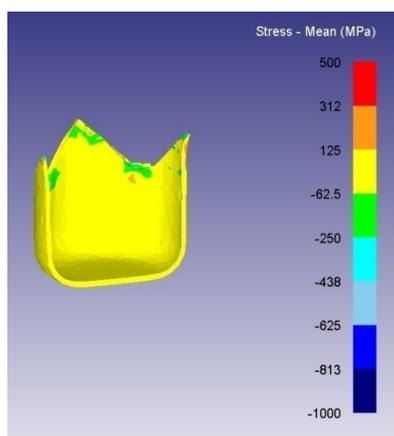


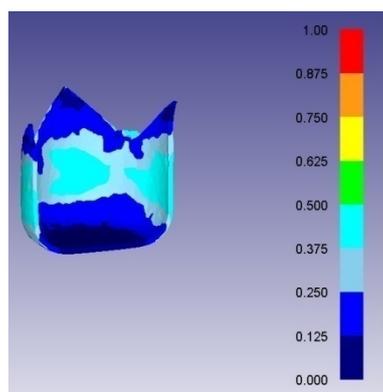
Рис. 6. График зависимости ω от относительной глубины выемки \bar{h} : ($\bar{b} = 0,75$)

Данные схемы позволяют сделать выводы о том, что в рассматриваемом случае не наблюдается достижения пороговой величины критерия разрушения ($\omega = 0,48$), а также превышения растягивающих напряжений в изделии ($\sigma = 280$ МПа).

Установлено, что использование матриц с профильной заходной частью позволяет добиться заметного уменьшения неравномерности геометрии торцевой части изделий, получаемых вытяжкой квадратных заготовок. Выявлено, что рациональным будет использование матриц с профильными пазами, перпендикулярно расположенными друг относительно друга и пересекающимися в центре, шириной $b = 0,75$ и глубиной $\bar{h} = 2,0$.



а)



б)

Рис. 7. Схемы к оценке величин напряжений (а) и критерия разрушения (б) в изделии

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трегубов, В.И. Ротационная вытяжка с утонением стенки цилиндрических деталей из труб на специализированном оборудовании.— Тула: Изд-во ТулГУ, 2002. – 148 с.
2. Ковка и штамповка: Справочник. В 4 т. Т.4. Листовая штамповка / Под общ. ред. С.С. Яковлева; ред. совет: Е.И. Семёнов (пред.) и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2010. – 732 с.
3. Яковлев, С.С. (мл), Коротков, В.А. Моделирование интенсивной пластической деформации при вытяжке с утонением // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып.5. — Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. – С. 31 – 37.
4. Яковлев, С.С., Трегубов, В.И., Нечепуренко, Ю.Г. Глубокая вытяжка анизотропного упрочняющегося материала // Заготовительные производства в машиностроении. — 2005. – № 4. – С. 38 – 44.

5. Mousavia, A., Kunzeb, T., Rochb, T., Lasagnib, A., Brosius, A. Deep drawing process without lubrication – an adapted tool for a stable, economic and environmentally friendly process // Procedia Engineering. Volume 207. – 2017. – Pages 48 – 53.

6. Jennifer Tennera, Kolja Andreasa, Adrian Radiusa, Marion Merklein. Numerical and experimental investigation of dry deep drawing of aluminum alloys with conventional and coated tool surfaces // Procedia Engineering. Volume 207. – 2017. – Pages 2245 – 2250

7. Трегубов, В.И., Ларин, С.Н., Пасынков, А.А., Нуждин, Г.А. Оценка влияния геометрии инструмента на силовые параметры совмещенного процесса вытяжки и отбортовки // Заготовительные производства в машиностроении. — 2019. – №4. – С. 165 – 167.

REFERENCES

1. Tregubov, V.I. Rotation Stretching with Thinning Cylindrical Pipe Parts on Special Equipment. Tula State University, Tula, 2002. – pp. 148.
2. Forging and Stamping: Referenced Book. In 4 Vol. Vol.4. Sheet stamping. Under the general editorship of S.S. Yakovlev: Editorial Board: E.I. Semyonov (Chair) et al. – the 2-d edition revised and supplemented. – М.: Mechanical Engineering, 2010. – pp. 732.
3. Yakovlev, S.S. (Jr.), Korotkov, V.A. Modeling of intensive plastic deformation at stretching with thinning // Proceedings of Tula State University. Engineering Sciences. Issue 5. Tula: TulaSU Publishers, 2015. – pp. 31-37.
4. Yakovlev, S.S., Tregubov, V.I., Nечepurenko, Yu.G. Deep Drawing of anisotropic strengthening material // Pre-productions. 2005. – No.4. – pp. 38 – 44.
5. Mousavia, A., Kunzeb, T., Rochb, T., Lasagnib, A., Brosius, A. Deep drawing process without lubrication – an adapted tool for a stable, economic and environmentally friendly process // Procedia Engineering. Volume 207. – 2017. – Pages 48 – 53.
6. Jennifer Tennera, Kolja Andreasa, Adrian Radiusa, Marion Merklein Numerical and experimental investigation of dry deep drawing of aluminum alloys with conventional and coated tool surfaces // Procedia Engineering. Volume 207. – 2017. – Pages 2245 – 2250
7. Tregubov, V.I. Larin, S.N., Pasyнков, A.A., Nuzhdin, G.A. Assessments of tool geometry impact upon force parameters of concurrent processes of stretching and flanging. // Pre-productions in Mechanical Engineering. 2019. – No.4. – pp. 165 – 167.

Рецензент д.т.н.
Виктор Алексеевич Дёмин