

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2026-54-14-16>

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ТОЛЩИНЫ ДНА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОПЕРАЦИИ ОБРАТНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ НА ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ПРЕССЕ

Вяткин А.А., Вяткин А.Г.

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
Москва, Россия*

Ключевые слова: гидравлический пресс, обратное выдавливание, поковка, заготовки-стаканы, точность толщины дна, полный факторный эксперимент.

Аннотация. В статье проведено исследование влияния механических свойств заготовок, трения и геометрических параметров стаканов на точность толщины дна при обратном выдавливании на гидравлическом прессе. Методом полного факторного эксперимента 2^4 получена регрессионная модель. Показано, что толщина дна является управляющим параметром, снижающим влияние неконтролируемых факторов.

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE BOTTOM THICKNESS ACCURACY DURING THE BACK EXTRUSION OPERATION ON A HYDRAULIC PRESS

Vyatkin A.A., Vyatkin A.G.

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: hydraulic press, back extrusion, forging, cup-shaped blanks, bottom thickness accuracy, full factorial experiment.

Abstract. The article presents a study of the influence of blank mechanical properties, friction, and cup geometry on the bottom thickness accuracy during back extrusion on a hydraulic press. A regression model was obtained using the full factorial experiment method (2^4). It is shown that the bottom thickness acts as a control parameter that reduces the impact of uncontrollable factors.

При обратном выдавливании стаканов на гидравлических прессах точность толщины дна (Δh) определяется рядом факторов: разбросом механических характеристик заготовок ($\Delta\sigma_s$ или ΔHB), изменениями коэффициента трения ($\Delta\mu$), а также геометрическими параметрами изделия – толщиной дна (h) и толщиной стенки (S), которая выражается через отношение диаметров матрицы и пуансона (D/d). [1].

Параметры (D/d) и h относятся к заданным, тогда как $\Delta\sigma_s$ и $\Delta\mu$ носят случайный неконтролируемый характер. [2] В связи с этим при планировании многофакторного эксперимента в качестве переменных, определяющих точность толщины дна стакана, были выбраны четыре фактора: ΔHB , $\Delta\mu$, h и D/d .

Заготовки изготавливали из сплава АД1, твёрдость которого варьировали на двух уровнях: $HB = 240$ МПа (нагартованное состояние) и $HB = 180$ МПа (отожжённое состояние). Условия трения задавали качественно: без смазки ($\mu = 0,3$) и со смазкой ($\mu = 0,1$); в качестве смазочного состава применяли

технический вазелин с добавлением пылевидного графита. Наружный диаметр выдавливаемых стаканов $D = 25$ мм, внутренний диаметр принимал два значения: $d = 18$ мм ($D/d = 1,38$) и $d = 21,5$ мм ($D/d = 1,15$), варьировалась толщина стенки 3,5 мм и 1,75 мм. Высота стаканов $H \approx 30$ мм. Толщину дна задавали в долях глубины очага пластической деформации: $h = 1,0h_0(+1)$ и $h = 0,5h_0(-1)$.

Статистическая обработка данных полного факторного эксперимента 2^4 позволила получить адекватную регрессионную модель [3]

$$\bar{y}(\delta h) = 34,36 - 14,63\Delta HB - 13,26\Delta\mu + 8,4h + 3,82\frac{D}{d} - 3,81\Delta HB \cdot h + -3,17\Delta HB \cdot \Delta\mu \cdot h - 6,1\Delta\mu \cdot \frac{D}{d} + 3,88\Delta HB \cdot \Delta\mu \cdot h \cdot \frac{D}{d}. \quad (1)$$

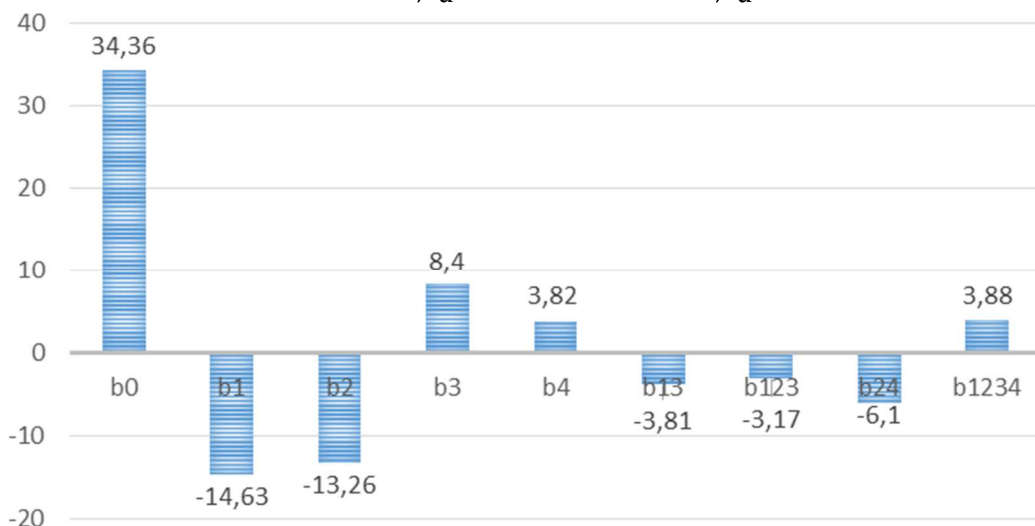


Рис. 1. Регрессионный анализ результатов многофакторного эксперимента, $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_{13}, b_{123}, b_{24}, b_{1234}$ – коэффициенты регрессии

Анализ рисунка 1 и уравнения (1) показал, что среди неконтролируемых факторов доминирующее воздействие на погрешность толщины дна оказывает разброс твёрдости материала (ΔHB).

Среди контролируемых (геометрических) параметров толщина дна h влияет на отклик сильнее, чем толщина стенки, выраженная через D/d : соответствующие коэффициенты регрессии равны 8,4 и 3,82. При этом направление влияния обоих факторов совпадает – при уменьшении толщины дна и стенки погрешность Δh снижается. Поскольку толщина стенки, как правило, фиксирована, управляющим параметром для обеспечения точности дна служит толщина дна. Об этом свидетельствуют как коэффициент при главном эффекте h , так и заметные коэффициенты при взаимодействиях факторов. В частности, коэффициент парного взаимодействия ΔHB и h равен 3,81, что сопоставимо по величине с коэффициентом при D/d . Иначе говоря, при уменьшении толщины дна влияние неконтролируемого фактора ΔHB на итоговую погрешность ослабевает.

Список литературы

1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1971. – 782 с.
2. Вяткин А.Г., Вяткин А.А. Факторы, влияющие на точность осадки при штамповке на гидравлическом прессе // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2012. – №12. – С. 55-59. – DOI: 10.7463/1212.0500313.
3. Абрамова И.В., Шилова З.В. Многофакторный эксперимент как компонент научно-исследовательской работы магистров // Наставничество в математике и в математическом образовании – Труды Международной научно-практической конференции, посвященной 120-летию со дня рождения академика А.Н. Колмогорова – Киров: Вятский государственный университет, 2023 – Т. 1. – С. 62-67.

References

1. Romanovsky V.P. Cold Stamping Handbook – L.: Mechanical Engineering, 1971. – 782с.
2. Vyatkin A.G., Vyatkin A.A. Factors Affecting the Accuracy of Upsetting in Stamping on a Hydraulic Press // Science and Education: scientific publication of the Bauman Moscow State Technical University. 2012, no. 12, pp. 55-59, DOI: 10.7463/1212.0500313.
3. Abramova I.V., Shilova Z.V. Multifactorial Experiment as a Component of Master's Research Work // Mentoring in Mathematics and Mathematical Education – Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 120th Anniversary of Academician A.N. Kolmogorov. – Kirov: Vyatsk State University, 2023. – Vol. 1. – P. 62-67.

Вяткин Андрей Андреевич – старший преподаватель кафедры МК4 «Инженерная графика»	Vyatkin Andrey Andreevich – senior lecturer of the Department of technical drawing MK4
Вяткин Андрей Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры МК1 «Технология машиностроения»	Vyatkin Andrey Gennadievich – candidate of technical sciences, associated professor of the Department of mechanical engineering technologies MK1
a-vyatkin@bmstu.ru	

Received 14.09.2026