

УДК 621.7.016.2-412:669.715

Скрябин С. А.
Чайка Д. С.**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АППРОКСИМАЦИИ ЗАВИСИМОСТЕЙ
КОЭФФИЦИЕНТОВ УШИРЕНИЯ И ОПЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ВАЛЬЦОВКЕ
ЗАГОТОВОК В КАЛИБРАХ**

Вопрос правильного подхода к определению уширения и опережения – один из основных при расчете калибров. От точности их определения зависят установление размеров калибров, выбор степени деформации, число переходов, энергосиловые параметры, качество поверхности вальцуемой заготовки и др. Рационально выполненная калибровка позволяет проводить вальцовку с минимальным припуском, при этом становится возможной штамповка заготовок после вальцовки без дополнительного нагрева.

При вальцовке заготовок под штамповку наиболее часто применяют следующие системы калибров: круг – овал; круг – овал – квадрат; круг – овал – ромб – квадрат, круг – овал – круг; круг – овал – ромб – круг и др. Знание величины уширения и опережения при вальцовке крайне необходимо, так как от этого зависят их выбор, получение необходимых значений вытяжки и возможность вальцовки в последующем ручье [1].

Наиболее существенные факторы, влияющие на уширение и опережение в процессе вальцовки заготовок в калибрах – обжатие, соотношение геометрических форм калибра и задаваемой заготовки [2]. Изменение этих параметров приводит к существующему перераспределению сил, действующих на металл в зоне деформации, и, как следствие, к изменению значений уширения и опережения. В отличие от вальцовки на гладкой бочке [3], существующая неравномерность деформации по ширине и высоте заготовки, вызванная геометрией фигурных калибров в поперечном сечении, значительно усложняет решение задачи по определению перемещения металла в очаге деформации.

На основании многочисленных экспериментальных данных получены эмпирические формулы для определения уширения и опережения при вальцовке заготовок из алюминиевых сплавов в различных системах калибров. В формулы входят коэффициенты, учитывающие влияние на уширение (Δb) и опережение (S) неравномерности деформации по ширине и высоте заготовки в зависимости от соотношения геометрических форм калибра и деформируемой в нем заготовки, полученные в результате обработки опытных и расчетных данных и представленные в виде графиков зависимостей [1].

Целью данной работы является получение формул по определению этих коэффициентов для различных систем калибров.

Для решения задачи по определению связи между зависимой переменной Y (уширение (Δb) либо опережение (S)) и величиной соотношения геометрических форм калибра и деформируемой в нем заготовки (фактор X) используется метод нелинейного регрессионного анализа. Формулы регрессии были разработаны в виде уже использовавшейся в предыдущих работах [1] нелинейной зависимости:

$$Y = \sqrt{aX^2 - bX + c} - dX + e, \quad (1)$$

где Y – коэффициент, учитывающий влияние на уширение либо опережение неравномерности деформации по ширине и высоте заготовки для различных систем калибров;

X – для системы калибров круг-овал – соотношение геометрических форм калибра и деформируемой в нем заготовки, выражается через отношение радиуса овального калибра к радиусу заготовки: $i = R_k / R_z$;

– для системы калибров овал-ромб – отношение осей овальной и ромбической заготовок: $\psi = a_{ов.з.} \cdot a_{р.з.}$;

– для систем калибров овал-квадрат и овал-круг – отношение осей овальной заготовки $a_{ов}$;

– для систем калибров ромб-квадрат и ромб-круг – отношение осей ромбической заготовки a_p ;

a, b, c, d, e – параметры нелинейной регрессии.

Параметры используемой регрессии вычисляются в программе для статистической обработки данных Statistika 6.0 [4–7] методами нелинейного оценивания (обобщение метода множественной регрессии и дисперсионного анализа). Аппроксимирующие процедуры, оценивают заданный вид зависимости между переменной Y и фактором X путем подбора коэффициентов, минимизирующих сумму квадратов остатков (дисперсию) и способствующих максимальной сходимости функции [8, 9]. Вычисления стандартных ошибок оценок параметров производится с помощью частных производных второго порядка по параметрам, которые приближенно просчитываются с использованием метода конечных разностей. Методы оценивания начинают свою работу с набора начальных значений, которые в дальнейшем последовательно уточняются в каждой итерации. Критерий сходимости показывают момент остановки процесса итерации функции при достижении достаточной точности.

На основании имеющихся экспериментальных графиков [1] и формулы нелинейной зависимости (1), в программе для статистической обработки данных Statistika 6.0 для различных систем калибров были рассчитаны параметры нелинейной регрессии a, b, c, d, e .

Путем подстановки рассчитанных параметров в формулу (1) формируются формулы для определения коэффициентов, учитывающих влияние на уширение (Δb) и опережение (S) неравномерности деформации по ширине и высоте заготовок из алюминиевых сплавов, вальцуемых в различных системах калибров (табл. 1), графики которых показаны на рис. 1.

Таблица 1

Формулы для определения значений коэффициентов неравномерности уширения (Δb) и опережения (S)

Система калибров	Коэффициенты:
	уширения (Δb)
Круг-овал	$K_{yи}^{ов} = \sqrt{0,102581 \cdot i^2 + 0,515011 \cdot i - 0,611579} - 0,35564 \cdot i + 0,15438$
Овал-ромб	$K_{yи\ p}^{ов} = \sqrt{0,141979 \cdot \psi^2 + 5,06241 \cdot \psi + 16,517} - 0,43311 \cdot \psi - 4,13658$
Овал-квадрат	$K_{yи\ кв}^{ов} = \sqrt{0,177897 \cdot a_{ов}^2 + 0,328872 \cdot a_{ов} - 1,0544} - 0,54391 \cdot a_{ов} + 0,94579$
Ромб-квадрат	$K_{yи\ кв}^p = \sqrt{-0,03401 \cdot a_p^2 + 1,35056 \cdot a_p - 0,047231} - 0,16369 \cdot a_p - 0,98956$
Овал-круг	$K_{yи\ кр}^{ов} = \sqrt{0,170558 \cdot a_{ов}^2 + 0,48013 \cdot a_{ов} - 0,77571} - 0,41876 \cdot a_{ов} + 0,358371$
Ромб-круг	$K_{yи\ кр}^p = \sqrt{31,1531 \cdot a_p^2 - 8,6494 \cdot a_p - 6,28388} - 5,528 \cdot a_p + 1,4091$

Продолжение таблицы 1

	опережения (S)
Круг-овал	$K_{S\text{ ов}}^{\text{ов}} = \sqrt{3,75055 \cdot i^2 - 5,1356 \cdot i + 2,014 - 1,9846 \cdot i + 1,5086}$
Овал-ромб	$K_{S\text{ р}}^{\text{ов}} = \sqrt{3,77744 \cdot \psi^2 - 5,44374 \cdot \psi + 2,54815 - 1,94627 \cdot \psi + 1,39557}$
Овал-квадрат	$K_{S\text{ кв}}^{\text{ов}} = \sqrt{588,262 \cdot a_{\text{ов}}^2 - 1198,7 \cdot a_{\text{ов}} + 612,75 - 24,298 a_{\text{ов}} + 24,868}$
Ромб-квадрат	$K_{S\text{ кв}}^{\text{ов}} = \sqrt{0,661454 \cdot a_{\text{р}}^2 - 1,5659 \cdot a_{\text{р}} + 0,984675 - 0,859305 a_{\text{р}} + 1,11107}$
Овал-круг	$K_{S\text{ кв}}^{\text{ов}} = \sqrt{435,802 \cdot a_{\text{ов}}^2 - 787,2 \cdot a_{\text{ов}} + 359,18 - 20,882 a_{\text{ов}} + 18,852}$
Ромб-круг	$K_{S\text{ кв}}^{\text{р}} = \sqrt{161,491 \cdot a_{\text{р}}^2 - 314,16 \cdot a_{\text{р}} + 153,61 - 12,754 a_{\text{р}} + 12,504}$

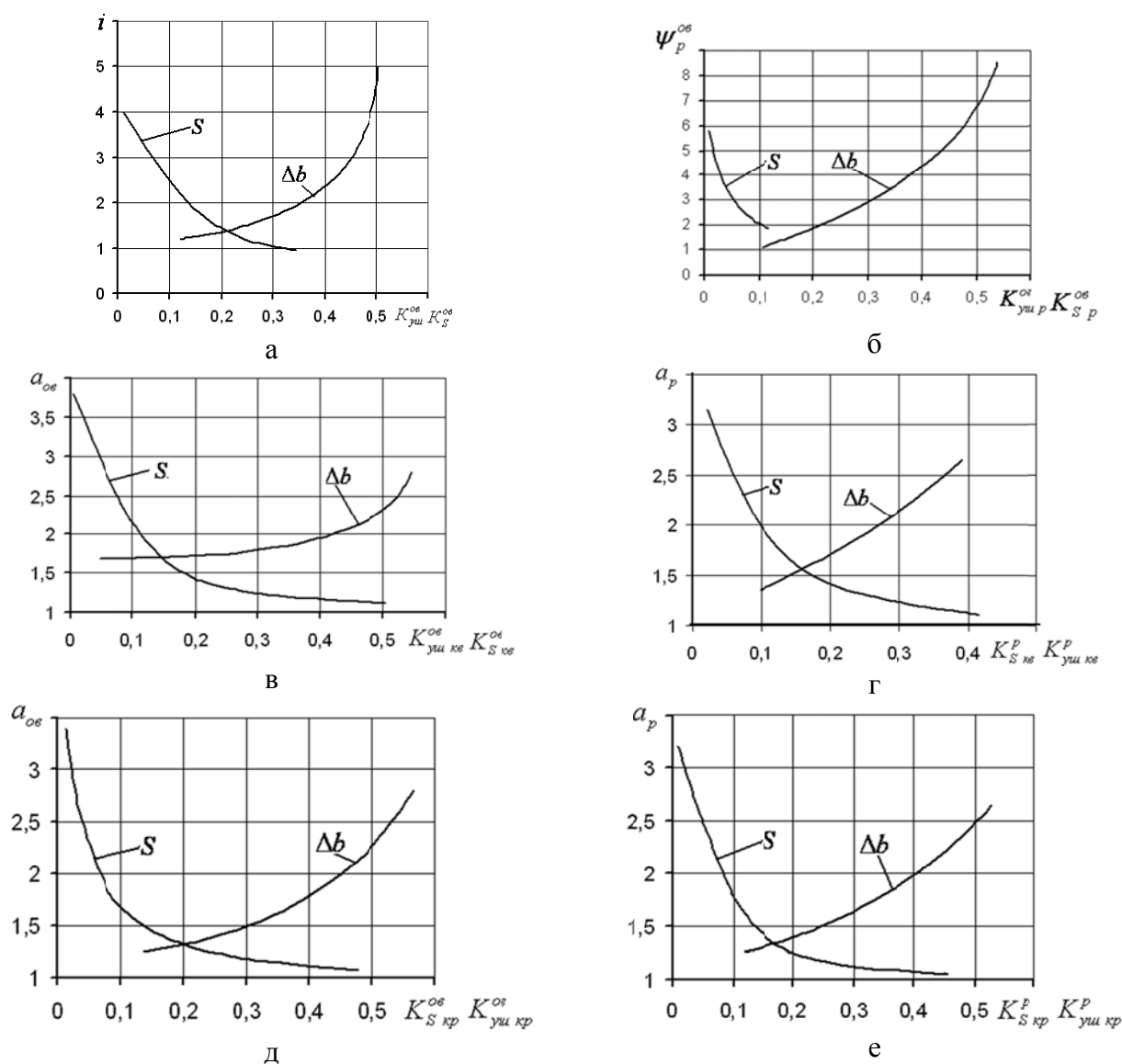


Рис. 1. Полученные методом нелинейной аппроксимации зависимости коэффициентов, учитывающих влияние на уширение (Δb) и опережение (S) неравномерности деформации по ширине и высоте заготовки от соотношения геометрических форм калибра и деформируемой в нем заготовки при вальцовке алюминиевых сплавов в системе калибров:

а – круг-овал; б – овал-ромб; в – овал-квадрат; г – ромб-квадрат; д – овал-круг; е – ромб-круг

Графики, построенные по полученным зависимостям (рис. 1), показали полное совпадение с графиками экспериментальных данных зависимостей коэффициентов, учитывающих влияние неравномерности деформации по ширине и высоте заготовки от соотношения геометрических форм калибра и деформируемой в нем заготовки [1], что говорит о возможности их применения.

ВЫВОДЫ

На основании многочисленных экспериментов и расчетов коэффициентов, учитывающих влияние неравномерности деформации по ширине и высоте вальцуемой заготовки в различных системах калибров, получены графики для их определения.

Возможности пакета для статистической обработки данных Statistika 6.0 позволяют на основании имеющихся точек экспериментальных графиков и формулы нелинейной зависимости получить параметры нелинейной регрессии. Пользуясь этими данными, получаем зависимость коэффициентов, учитывающих влияние неравномерности деформации по ширине и высоте заготовки от соотношения геометрических форм калибра и деформируемой в нем заготовки.

Формулы нелинейной зависимости для различных систем калибров были проверены на соответствие графикам зависимостей коэффициентов, учитывающих влияние неравномерности деформации по ширине и высоте заготовки от соотношения геометрических форм калибра и деформируемой в нем заготовки с помощью пакета для статистической обработки данных Statistika 6.0.

Графики, построенные по полученным зависимостям, показали полное совпадение с графиками экспериментальных данных, что подтверждает возможность их применения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скрябин С. А. *Технология горячего деформирования заготовок из алюминиевых сплавов на ковочных вальцах* / С. А. Скрябин. – Винница : А. Власюк, 2007. – 284 с.
2. Скрябин С. А. *Изготовление поковок из алюминиевых сплавов горячим деформированием* / С. А. Скрябин. – Киев : КВЦ, 2004. – 346 с. : ил.
3. Скрябин С. А. *Влияние внеконтактных зон на уширение при вальцовке цилиндрических заготовок в гладких валках [Электронный ресурс]* / С. А. Скрябин, В. Л. Калюжный, Д. С. Чайка // *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії* : зб. наук. праць. – 2008. – № 3Е (14). – С. 147–155. – Режим доступу: <http://archive.nbuv.gov.ua/e-journals/VDDMA/2008-3e14/pdf/24.pdf>.
4. Вуколов Э. А. *Основы статистического анализа : Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTIKA и EXCEL : учебное пособие* / Э. А. Вуколов. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : ФОРУМ, 2008. – 464 с.
5. Буреева Н. Н. *Многомерный статистический анализ с использованием ППП «STATISTIKA» : Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Применение программных средств в научных исследованиях и преподавании математики и механики»* / Н. Н. Буреева. – Нижний Новгород, 2007. – 112 с.
6. Боровиков В. *STATISTIKA. Искусство анализа данных на компьютере : Для профессионалов* / В. Боровиков. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2003. – 688 с. : ил.
7. Халафян А. А. *STATISTICA 6. Статистический анализ данных* / А. А. Халафян. – Бином-Пресс : 2007. – 512 с.
8. *STATISTIKA. Официальное руководство. Том 1, 3. Copyright © StatSoft, 1995.*
9. Дрейпер Н. *Прикладной регрессионный анализ. Книги 1, 2* : пер. с англ. / Н. Дрейпер, Г. Смит. – М. : Финансы и статистика, 1986, 1987. – 366 с., 351 с.

Скрябин С. А. – д-р техн. наук, проф. ВНАУ;

Чайка Д. С. – аспирант ВНАУ.

ВНАУ – Винницкий национальный аграрный университет, г. Винница.

E-mail: scriabin_sa@mail.ru; chaika_ds@mail.ru