

УДК 621.7

Фролов Я. В.
Зубко Ю. Ю.
Ремез О. А.
Ашкелянец А. В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ ПОЯСКА МАТРИЦЫ НА ТЕЧЕНИЕ АЛЮМИНИЯ В ПРОЦЕССЕ МНРКУП

Развитие отраслей машиностроения в значительной мере обеспечивается разработкой и применением новых конструкционных материалов, обладающих высокими прочностью, износостойкостью, а также специальными механическими свойствами. Создание таких материалов достигается путём легирования или применением особых режимов деформации, которые оказывают решающее влияние на формирование структуры материала [1]. Особое внимание в обработке металлов давлением уделяется ресурсосбережению, для повышения конкурентной способности изделий и снижения его стоимости. Например, для кузнечно-штамповочных цехов автомобилестроения расход металла на 1 т годных деталей составляет 1200-1300 кг. Для уменьшения расхода металла постоянно разрабатываются новые методы обработки металлов давлением [2]. В последние два десятилетия внимание учёных привлекают методы интенсивной пластической деформации, которые обеспечивают равномерную мелкозернистую структуру металла [3]. Такая структура является необходимым условием для достижения необходимого сочетания в изделии прочностных и пластических свойств [4]. На сегодняшний день одним из самых распространённых и развитых методов интенсивной пластической деформации (ИПД) является равноканальное угловое прессование (РКУП). В следствии развития метода РКУП появился новый метод ИПД – неравноканальное угловое прессование (НРКУП). Ключевое отличие НРКУП от РКУП заключается в уменьшении выходного канала относительно входного канала, что обеспечивает более выраженное деление зёрен. [5]. Основным преимуществом описанных выше методов, помимо получения мелкозернистой структуры и высоких механических свойств, заключается в высоком коэффициенте использования металла. Однако у этих методов есть один общий недостаток. С помощью этих методов возможно получение только заготовок простой формы (пруток). Относительно новый метод интенсивной пластической деформации МНРКУП (многониточное неравноканальное прессование), разработанный на кафедре обработки металлов давлением НМетАУ, представляет собой модификацию НРКУП с возможностью изготовления деталей сложной конфигурации, таких как ступица со спицами. При этом геометрия спицы может быть абсолютно разной, от обыкновенной круглой до П-образной. Как и во всех рассмотренных методах суть заключается в продавливании заготовки через матрицу, которая имеет 2 и более выходных канала расположенных под углом 90° к оси прессования. Такая конфигурация матрицы позволяет обеспечить сдвиговые деформации, необходимые для измельчения зерна, а также достаточный гидростатический подпор, необходимый для интенсификации процессов двойникования [6].

Первые исследования процесса МНРКУП показали значительное искривление спиц ступицы при МНРКУП, это подразумевает необходимость дополнительной правки спиц с нагревом или без него, что негативно отражается на микроструктуре и механических свойствах изделия. Для решения этой проблемы было решено установить влияние геометрии пояса матрицы на течение алюминия. Полученные результаты позволят уменьшить кривизну спиц ступицы и повысить качество готового изделия.

Для проведения исследования было выбрано математическое моделирование на базе программы QForm V8. QForm V8 хорошо себя зарекомендовал при проведении расчётов влияния геометрии инструмента на течение металла, а также показал хорошие результаты сходимости при сопоставлении с проведёнными экспериментами. Создание исходной сетки

заготовки и инструмента для расчёта математической модели проводилось в встроенном в программу QForm V8 редакторе QShare, возможности которого позволяют определить инструмент и заготовку на этапе построения сетки. Пример готовой сетки представлен на рис. 1.

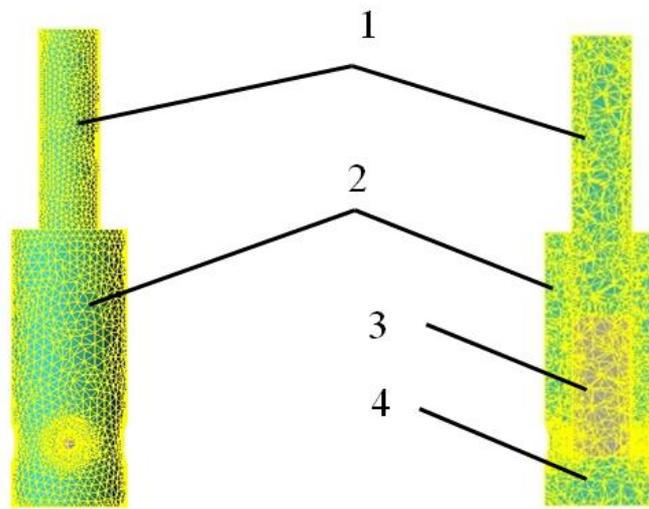


Рис. 1. Начальная сетка готовой модели (1 – пуансон, 2 – контейнер, 3 – заготовка, 4 – подпор)

Задание параметров заготовки, инструмента и окружающей среды. В качестве материала заготовки был выбран алюминий 1100 (аналог АД0), температура деформации 501°C. Материал инструмента сталь 5140 с твёрдостью HRC39. Диаметр входного канала 42 мм, диаметр выходного канала 15мм. Привод пуансона – гидравлический пресс с номинальным усилием 120МН. Коэффициент трения между инструментами и заготовкой 0,8 что соответствует процессу без применения смазки. Температура окружающей среды 11°C. Условие остановки процесса – перемещение пуансона на 70 мм.. Для ускорения процессов расчёта в моделировании использовалась $\frac{1}{4}$ часть (рис. 2), так как инструмент симметричен в 2 плоскостях.

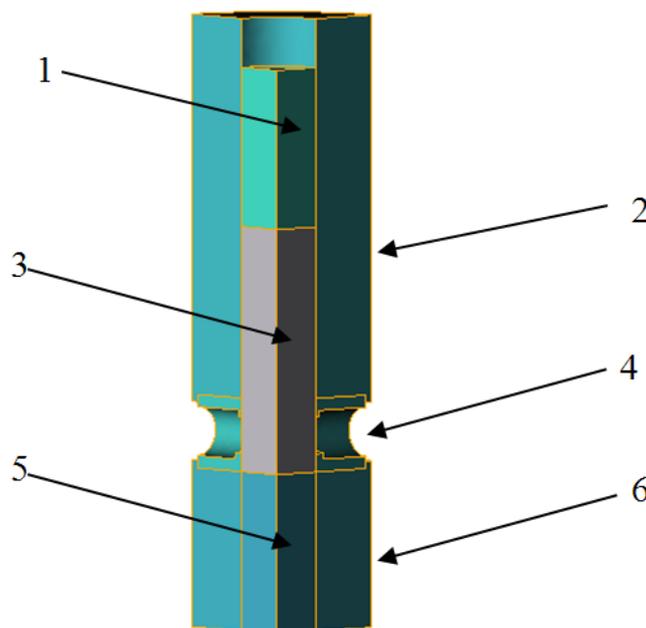


Рис. 2. Вид трёхмерной модели (1 – пуансон, 2 – верхняя часть контейнера, 3 – заготовка, 4 – выходной канал, 5 – контр-пуансон, 6 – нижняя часть контейнера)

Для исследования влияния геометрии пояска матрицы на течение алюминия при МНРКУП использовались 3 варианта пояска с переменной толщиной по сечению, а именно отношение толщины верхней части пояска к нижней равная 2/3 (рис. 3, а), 2/4 (рис. 3, б), 2/6 (рис. 3, в). Так как в эксперименте и в моделировании процесса МНРКУП спицы ступицы изгибались вверх, было решено увеличить силу контактного трения за счёт увеличения площади контакта на границе поясок/инструмент, но не по всему сечению а снизу, для уменьшения искривления спиц готового изделия.

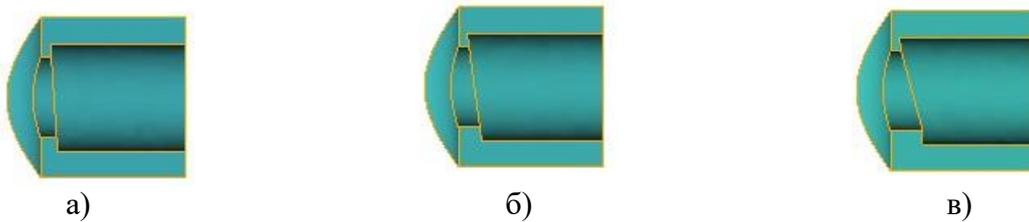


Рис. 3. Геометрия пояска матрицы:

а) – отношение 2/3, б) – отношение 2/4, в) – отношение 2/6

Моделирование проводилось с идентичными эксперименту условиями:

- 1) Температура заготовки 501 °С.
- 2) Температура контейнера, пуансона, контр-пуансона: 370 °С.
- 3) Температура окружающей среды: 11°С.
- 4) Материал заготовки: АД0.

Анализ полученных результатов

После проведения серии моделирований в конечно-элементной среде QForm 3D было получено несколько вариантов готового изделия с различной кривизной спиц (рис. 4).

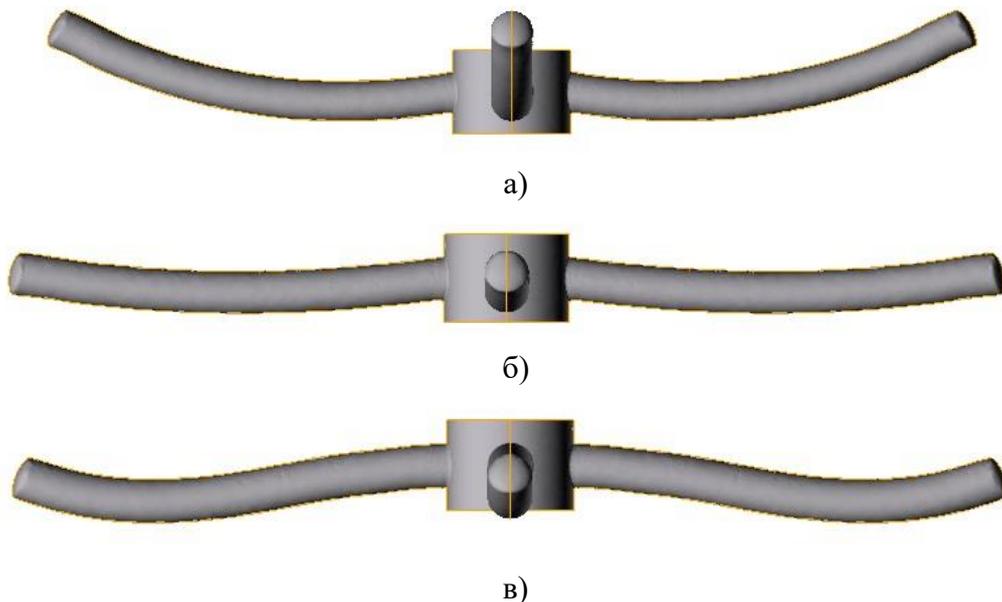


Рис. 4. Детали, полученные при помощи моделирования:

а) – отношение 2/3; б) – отношение 2/4; в) – отношение 2/6

Для определения зависимости влияния геометрии пояска матрицы на течение алюминия при МНРКУП, необходимо было ввести критерий описывающий искривление спиц. Таким критерием было выбрано среднее отклонение спицы от нормали, которое рассчитывается по формуле:

$$O_{\text{ср}} = \frac{l_n + l_{n+1} \dots + l_{ni}}{n_i}, \quad (1)$$

где: l_n – длина отреза от края спицы к нормали X, мм;

n_i – количество отрезков.

Определение длины отрезка от края спицы к нормали производилось при помощи программного продукта КОМПАС 3D следующим образом. На поперечном сечении детали откладывалась нормаль X , проходящая через геометрический центр выходного канала матрицы, и центральная линия спицы. После чего каждые 14 мм откладывался отрезок от нормали к краю заготовки (рис. 5), при этом значение длины отрезка бралось по модулю, так как спица искривляется в двух направлениях оси Z . Таким образом получается 9 отрезков по всей длине спицы. Каждый отрезок замеряется, после чего подсчитывается O_{cp} .

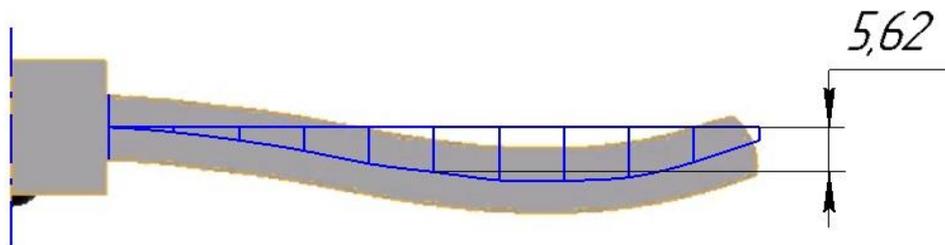


Рис. 5. Пример определения кривизны спицы графическим способом

После анализа всех сечений деталей было установлено что O_{cp} для соотношения толщины пояска 2/3 равняется 4,0 мм, 2/6 – 4,3 мм, 2/4 – 1,29 мм. Таким образом, наиболее эффективным, если оценивать кривизну спиц готового изделия, является поясок с отношением толщины в верхней части к толщине в нижней части 2 к 4. То есть в верхней части поясок в 2 раза толще, чем в нижней. Для визуализации влияния геометрии пояска матрицы был составлен график, представленный на рис. 6.

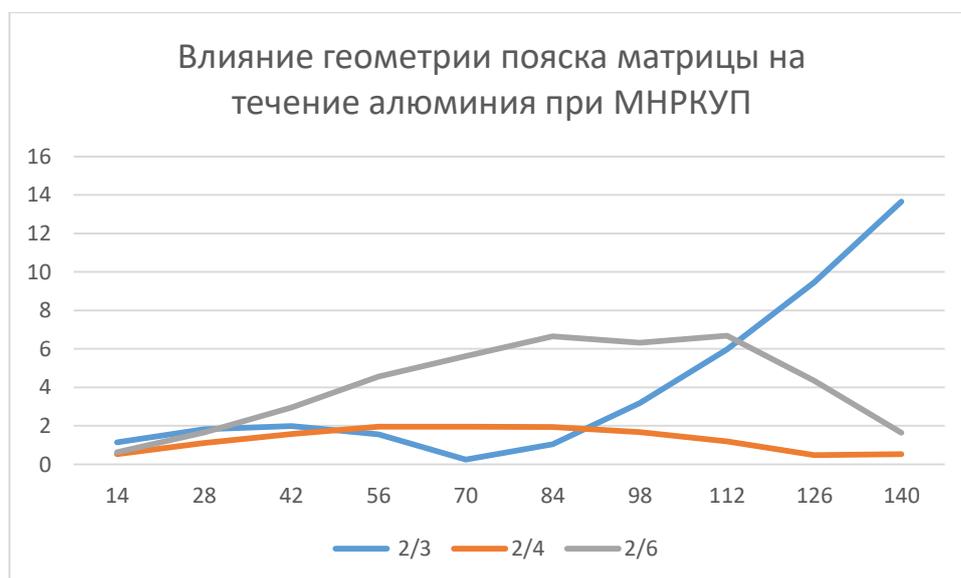


Рис. 6. График зависимости кривизны спицы в зависимости от геометрии пояска матрицы

ВЫВОДЫ

В ходе проведения данной работы было установлено следующее:

Процесс МНРКУП хорошо подходит для производства не ответственных деталей из алюминиевых сплавов.

Благодаря специфике протекание процесса возможно использование дешёвой литой заготовки для производства деталей типа ступица.

После МНРКУП спицы ступицы обладают высоким качеством поверхности, что уменьшает затраты на механическую обработку.

Конечно-элементная среда программы QForm 3D отлично зарекомендовала себя в моделировании процессов обработки металлов давлением. Модели, созданные на базе этой среды, показывают высокие результаты сходимости с экспериментальными исследованиями.

В ходе проведения серии моделирований и анализа полученных результатов было установлено, что наиболее эффективным, в плане уменьшения искривления спиц ступицы, является поясок матрицы с отношением толщины в верхней части к толщине в нижней части, равной 2/4 мм.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Современные технологии обработки металлов давлением / Е.И. Разуваев, Н.В. Моисеев, Д.В. Капитаненко, М.В. Бубнов // Труды ВИАМ 2015. – №2. – С. 3–5.*
2. *Основы технологических процессов обработки металлов давлением / С. Б. Сидельников, Р. И. Галиев, Д. Ю. Горбунов, Е. С. Лопатина, А. С. Пещанский // ИПК СФУ. – 2008 (95). – С. 5–8.*
3. *Donald R. The Science & Engineering of Materials / Donald R., Pradeep P., Wendelin J. // KL-Engineering. – 2010. – № 944. – С. 35–36.*
4. *Клименко П.Л. Упрочнение стали и цветных металлов при холодной и горячей деформации / П.Л. Клименко // Пороги (187). – С. 15–17.*
5. *Arman Hasani Principles of Nonequal Channel Angular Pressing / Arman Hasani László S. Tóth Benoît Beausir // Journal of Engineering Materials and Technology (132). – P. 9–18.*
6. *Lapovok R. The Role of Back-Pressure in Equal Channel Angular Extrusion / Lapovok R., J. Mater. // Sci. 2005 (389). – P. 341–346.*

REFERENCES

1. *Sovremennyye tehnologii obrabotki metallov davleniem / E.I. Razuvaev, N.V. Moiseev, D.V. Kapitanenko, M.V. Bubnov // Trudy VIAM 2015. – №2. – S. 3–5.*
2. *Osnovy tehnologicheskikh processov obrabotki metallov davleniem / S. B. Sidel'nikov, R. I. Galiev, D. Ju. Gorbunov, E. S. Lopatina, A. S. Peshhanskij // IPK SFU. – 2008 (95). – S. 5–8.*
3. *Donald R. The Science & Engineering of Materials / Donald R., Pradeep P., Wendelin J. // KL-Engineering. – 2010. – № 944. – S. 35–36.*
4. *Klimenko P.L. Uprochnenie stali i cvetnyh metallov pri holodnoj i gorjachej deformacii / P.L. Klimenko // Porogi (187). – S. 15–17.*
5. *Arman Hasani Principles of Nonequal Channel Angular Pressing / Arman Hasani László S. Tóth Benoît Beausir // Journal of Engineering Materials and Technology (132). – P. 9–18.*
6. *Lapovok R. The Role of Back-Pressure in Equal Channel Angular Extrusion / Lapovok R., J. Mater. // Sci. 2005 (389). – P. 341–346.*

Фролов Я. В. – д-р техн. наук, проф. зав. каф. ОМД НМетАУ
Зубко Ю. Ю. – аспирант каф. ОМД НМетАУ
Ремез О. А. – канд. техн. наук, доц., зав. лаб. каф. ОМД НМетАУ
Ашкелянец А. В. – канд. техн. наук, доц. каф. ОМД НМетАУ

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр.

E-mail: yurazubko1993@gmail.com

Статья поступила в редакцию 09.03.2017 г.