

УДК 539.372

Автоматизация процесса подбора оптимального профиля ребристых бойков

Соколов Дмитрий Алексеевич,

*Студент 2 курса магистратуры,
кафедра «Технологии обработки давлением»**Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана**Научный руководитель: О.А. Белокуров,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки давлением»***Тезисы работы**

В работах [1, 2] по исследованию неравномерности деформации при штамповке диска из жаропрочного никелевого сплава ЭП742-ИД при помощи моделирования в QForm 2D/3D, выявлено, что неравномерность распределения пластической деформации в поковке диска формируется на этапе осадки заготовки и наследуется в поковку. Таким образом, необходимо получить более равномерное распределение деформации при осадке заготовки. Действующий технологический процесс штамповки поковки диска состоит из пяти осадок и двух переходов окончательной штамповки. Было рассмотрено влияние профиля бойка и разной формы прокладок на равномерность распределения деформации в поковке при осадке заготовки. Ключевым способом для рассмотрения выбраны ребристые бойки (рис. 1), геометрия профиля которых была подобрана эмпирически, и после каждого моделирования редактировалась вручную до достижения удовлетворительного результата.

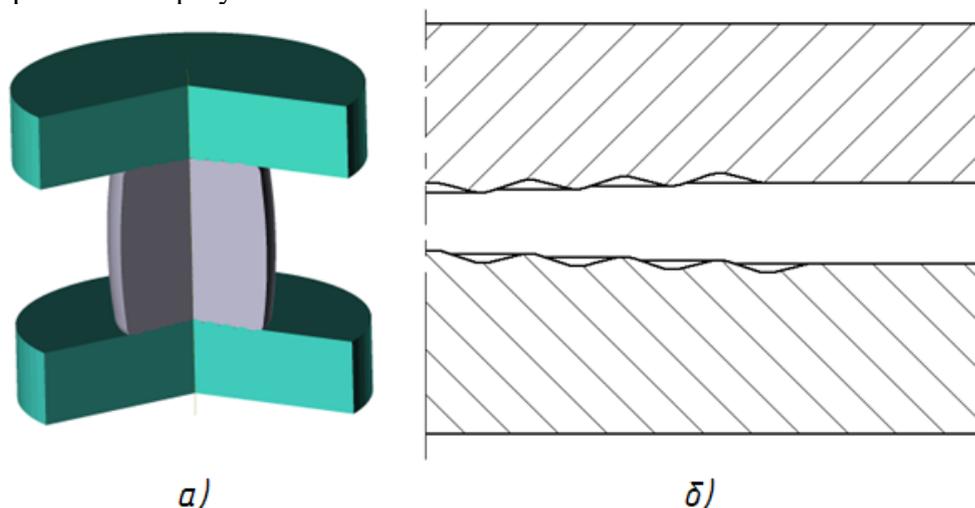


Рис. 1. Ребристые бойки: а) – моделирование осадки, б) – сечение профиля бойков.

В данной работе изложена методика по автоматизации и оптимизации процесса подбора данной геометрии ребристых бойков с целью получения равномерной деформации путем создания регрессионной модели процесса. Моделирование проводилось также в QForm [3], для редактирования геометрии применялся КОМПАС 3D v21 [4]. Также использовались API этих программ. Скрипты писались на языке Python [4], а в качестве IDE использовался PyCharm 2023.1.1 [5]. Для обработки результатов использовался Mathcad 15 и STATISTICA 10.

Вся методика разбивается на 8 последовательных этапов, представленных в виде блок-схемы алгоритма на рис. 2, а, однако в данной работе описываются первые пять из них вплоть до создания регрессионной модели эксперимента (рис. 2, б).

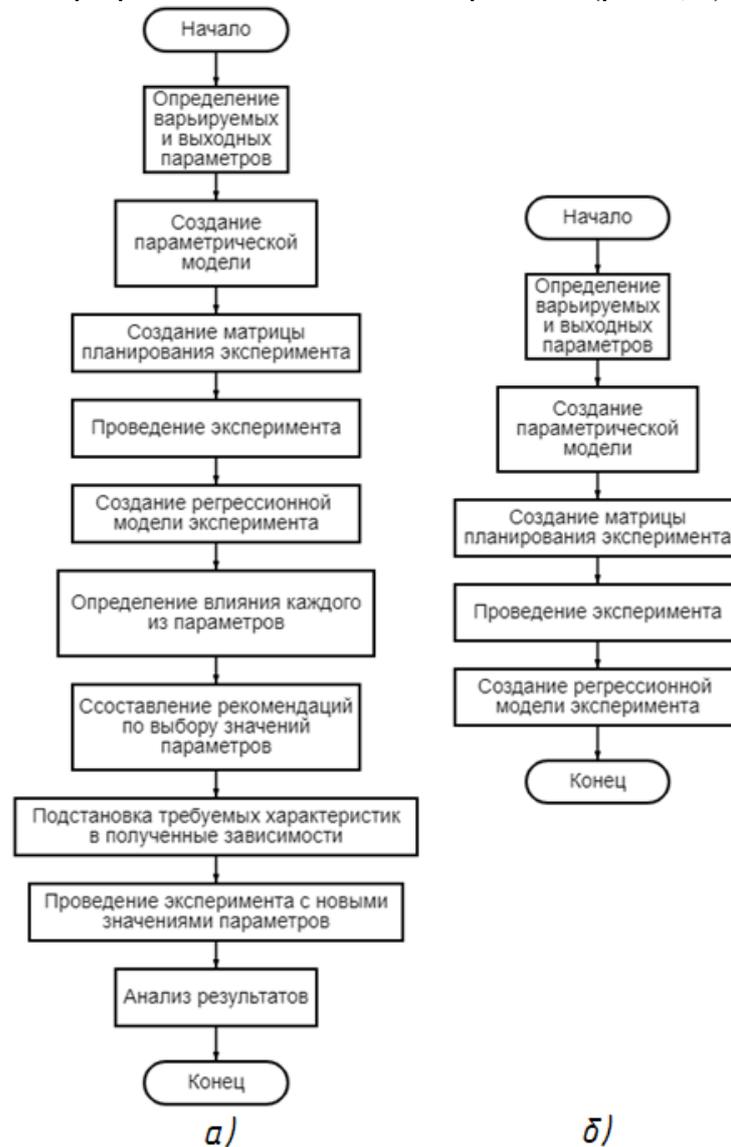


Рис. 2. Алгоритм методики подбора геометрии: а) – полный алгоритм методики, б) – сокращенный алгоритм методики, описанный в работе.

Определены основные варьируемые параметры модели инструмента (рис. 3) и выходные параметры моделирования.

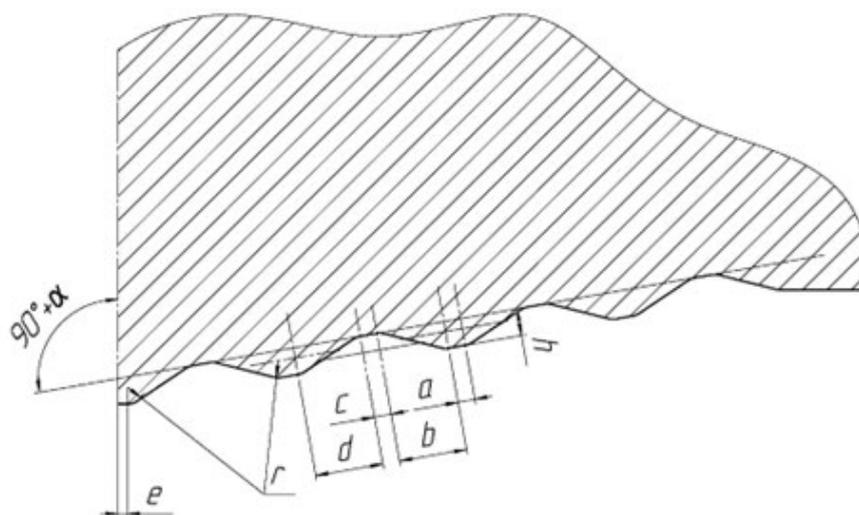


Рис. 3. Схема с определением параметров геометрии: α – угол наклона образующей конуса, a – ширина вершины, b – ширина левого фронта вершины, c – ширина впадины, d – ширина правого фронта вершины, e – отступ ребер от оси бойка, r – радиус скругления ребра, h – высота ребра.

В данной работе рассмотрено варьирование параметров α , a , b и h . Выходными параметрами для оценки качества поковки выступают:

- относительная проработанность структуры поковки

$$\varepsilon_{\text{отн}} = \frac{N_{>0,8}}{N},$$

где $N_{>0,8}$ – количество узлов КЭ сетки со значением накопленной пластической деформации $>0,8$ (площадь проработанной структуры в сечении поковки), а N – общее количество узлов КЭ сетки (площадь сечения поковки).

- lap – булево значение, показывающее наличие складок в поковке (1 – складки присутствуют, 0 – складки отсутствуют)

Значение накопленной пластической деформации в поковке диска $>0,8$ определяется техническим условием для проработки структуры.

Построена параметрическая модель инструмента по переменным которой составлены матрицы планирования полного факторного (обрабатывался в Mathcad) и дробного факторного эксперимента второго порядка (обрабатывался в ПК STATISTICA), представленные в декодированном виде в табл. 1 и 2 [6].

Таблица 1. Матрица планирования ПФЭ 2⁴.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
α	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6
a	1	1	5	5	1	1	5	5	1	1	5	5	1	1	5	5
b	10	10	10	10	20	20	20	20	10	10	10	10	20	20	20	20
h	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5

Таблица 2. Матрица планирования ДФЭ 3⁴⁻¹.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
α	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2
a	1	1	1	2,7	2,7	2,7	5	5	5	1	1	1	2,7	2,7
b	10	15	25	10	15	25	10	15	25	10	15	25	10	15
h	2,5	6	4	6	4	2,5	4	2,5	6	6	4	2,5	4	2,5
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
α	2	2	2	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
a	2,7	5	5	5	1	1	1	2,7	2,7	2,7	5	5	5	5
b	25	10	15	25	10	15	25	10	15	25	10	15	25	25
h	6	2,5	6	4	4	2,5	6	2,5	6	4	6	4	2,5	2,5

Для проведения эксперимента посредством моделирования был написан скрипт, алгоритм которого представлен в виде блок-схемы на рис. 4.



Рис. 4. Алгоритм скрипта для моделирования и вывода результатов.

Полученные данные после моделирования представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3. Матрица планирования ПФЭ 2⁴ с результатами.

	1	2	3	4	5	6	7	8
α	2	6	2	6	2	6	2	6
a	1	1	5	5	1	1	5	5
b	10	10	10	10	20	20	20	20
h	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
$\epsilon_{отн}$	97,0	97,5	97,8	99,1	99,1	100,0	99,6	100,0
lap	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	9	10	11	12	13	14	15	16
α	2	6	2	6	2	6	2	6
a	1	1	5	5	1	1	5	5
b	10	10	10	10	20	20	20	20
h	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
$\epsilon_{отн}$	93,9	94,3	96,8	97,0	99,1	99,6	99,1	99,6
lap	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Таблица 4. Матрица планирования ДФЭ 3⁴⁻¹ с результатами.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
α	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
a	1,0	1,0	1,0	2,7	2,7	2,7	5,0	5,0	5,0
b	10,0	15,0	25,0	10,0	15,0	25,0	10,0	15,0	25,0
h	2,5	6,0	4,0	6,0	4,0	2,5	4,0	2,5	6,0
$\epsilon_{отн}$	96,1	98,6	99,1	96,1	99,1	99,1	96,6	99,1	99,1
lap	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
α	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
a	1,0	1,0	1,0	2,7	2,7	2,7	5,0	5,0	5,0
b	10,0	15,0	25,0	10,0	15,0	25,0	10,0	15,0	25,0
h	6,0	4,0	2,5	4,0	2,5	6,0	2,5	6,0	4,0
$\epsilon_{отн}$	95,4	98,7	99,6	96,1	99,6	99,1	98,7	99,1	100,0
lap	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	19	20	21	22	23	24	25	26	27
α	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
a	1,0	1,0	1,0	2,7	2,7	2,7	5,0	5,0	5,0
b	10,0	15,0	25,0	10,0	15,0	25,0	10,0	15,0	25,0
h	4,0	2,5	6,0	2,5	6,0	4,0	6,0	4,0	2,5
$\epsilon_{отн}$	97,1	99,6	99,1	98,2	99,1	99,6	97,5	99,6	100,0
lap	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

После анализа полученных данных были рассчитаны коэффициенты регрессионных моделей. В данные регрессионные модели были подставлены значения для параметрической модели, подобранные в прошлой работе вручную. Относительная погрешность модели для ПФЭ 2⁴ составила 1,405%, для ДФЭ 3⁴⁻¹ – 0,503%.

Для оценки влияния описанных выше параметров модели на рис. 5 приведены распределения деформаций после пятой осадки в худшем и лучшем вариантах.

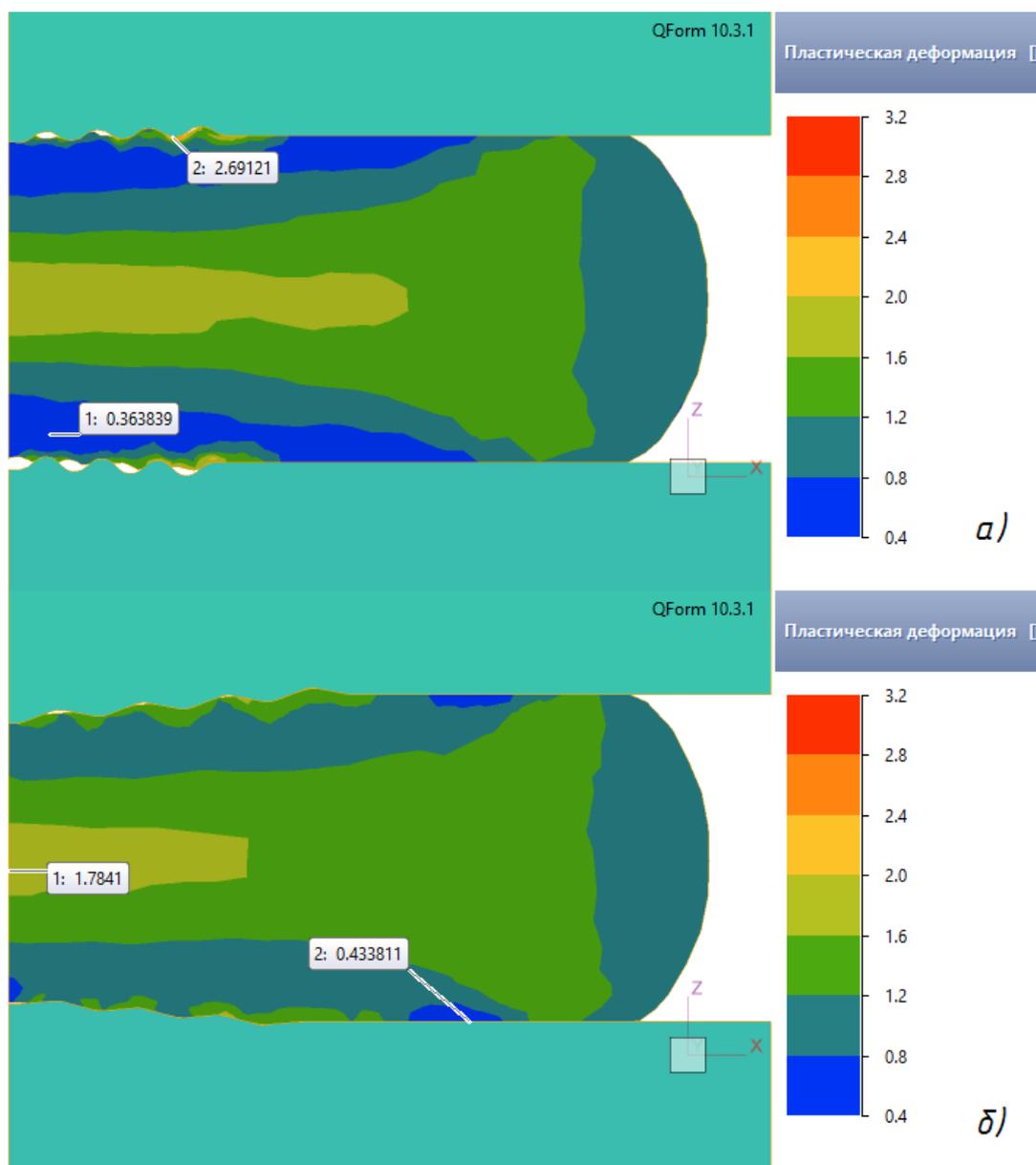


Рис. 5. Распределения деформаций после пятой осадки: а) – в худшем варианте, б) – в лучшем варианте.

Таким образом, на примере ребристых бойков была продемонстрирована методика для построения регрессионной модели, призванная автоматизировать и оптимизировать процесс подбора геометрии профиля инструмента.

Литература

1. Соколов Д.А., Белокуров О.А., Алленов М.Г., Исследование неравномерности деформации при осадке никелевого сплава ЭП742-ИД // Будущее Машиностроения России 2022 сборник докладов. XV Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов (с международным участием). 2023. Том 1. С. 127-148.
2. Лавриненко В.Ю., Белокуров О.А., Смирнов М.О., Соколов Д.А. Исследование неравномерности деформации при осадке и штамповке заготовки диска из жаропрочного никелевого сплава ЭП742-ИД // Заготовительные производства в машиностроении. 2024. Т. 22, № 2. С. 65-69. DOI: 10.36652/1684-1107-2024-22-2-65-69

3. <https://qform3d.ru/products/general-forming>
4. <https://kompas.ru/kompas-3d/about/>
5. <https://www.python.org/>
6. <https://www.jetbrains.com/pycharm/>
7. Н.А. Спирин, В.В. Лавров, Л.А. Зайнуллин, А.Р. Бондин, А.А. Бурыкин «Методы Планирования И Обработки Результатов Инженерного Эксперимента» - 2-е изд., Екатеринбург, 2015г.