

УДК 621.7.043

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РОТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКИ НА РАЗНОСТЕННОСТЬ ИЗДЕЛИЯ ТИПА ВОРОНКА

Алексей Дмитриевич Пташинский

*Магистр 1 года*

*кафедра «Технологии обработки давлением»*

*Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: А.Я. Дмитриева,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная гидродинамика»*

При разработке технологических процессов ротационной вытяжки в настоящее время используют эмпирических зависимости из различных справочных материалов, а также результаты теоретических исследований. Процесс ротационной вытяжки имеет сходство с процессами вытяжки и глубокой штамповки.

В техническом отношении ротационная вытяжка позволяет:

- получать полые осесимметричные детали весьма сложных форм, изготовление которых другими методами затруднено или невозможно
- создавать легкие, прочные и жёсткие конструкции деталей при небольшом расходе материала
- регулировать точность обработки наладкой станка, получать детали с высокой точностью и малой шероховатостью поверхности
- получать полые осесимметричные детали с заданным переменным сечением стенок или без утонения с одновременным улучшением мехсвойств материала
- получать детали из прочных и пластичных материалов
- выявлять в процессе ротационной вытяжки трещины и другие пороки материала
- осуществлять подогрев в процессе деформирования.

В экономическом отношении для ротационной вытяжки характерно следующее:

- высокая стойкость, простота, малая масса и низкая стоимость приспособлений и инструмента
- высокая экономичная эффективность при изготовлении деталей малыми сериями
- малые сроки и небольшие затраты на подготовку производства
- выполнение основной доли квалифицированного труда конструкторами, технологами, наладчиками и сведение обязанностей рабочего к постановке заготовки и снятию готовой детали.

Основные достоинства ротационной вытяжки перед другими процессами обработки давлением- это гибкость технологии, высокая точность и чистота поверхности деталей, достижение больших степеней деформации, чем при штамповке, получение деталей из труднодеформируемых сплавов, совмещение нескольких деформирующих операций (вытяжка, формовка, обжим, раздача), сравнительно несложная оснастка, высокий коэффициент использования металла, малая энергоёмкость процесса.

Несмотря на это, процесс остается достаточно сложным и малоизученным. В связи с локальным характером приложения нагрузки и вращения заготовки схема формоизменения при обычной вытяжке не могут быть использованы в качестве аналога при рассмотрении операций ротационной вытяжки. Поэтому необходимо провести

теоретические и экспериментальные исследования процесса ротационной вытяжки осесимметричных деталей шариковым давальным инструментом с целью оценки разностенности.

Разностенность - дефект формы трубы в виде неравномерной толщины стенки.

Для выбора технологических режимов ротационной вытяжки, позволяющих получить минимальную разностенность, требовалось построить математическую модель процесса. Процесс является многофакторным экспериментом.

Исходные условия:

Таблица 1

Наименование параметра	Обозначение	Значение
Толщина заготовки, мм	S0	0,8
Толщина детали, мм	S	0,65
Степень утонения	Ψ	0,19
Диаметр заготовки, мм	Dз	41,5
Внутренний диаметр детали, мм	Do	31,4
Зазор, мм	Z	1,1
Станочная подача инструменты	fct	6
Количество давальных элементов	m	2

Для получения математической модели процесса была построена матрица плана экспериментов. Регрессионные уравнения, описывающие процесс ротационной вытяжки шариковыми раскатными устройствами получены при исследовании влияния следующих технологических факторов:

1)  $\frac{\Delta S_0}{S_0}$  – относительная исходная разностенность заготовки

2)  $\frac{D_{\partial z}}{S_0}$  – относительный диаметр давольного элемента

3)  $\frac{n}{f_{\partial z}}$  – относительная скорость деформирования

$f_{\partial z} = f_{cm}/m$  – станочная подача

4)  $D_з/S_0$  – относительный диаметр заготовки

Так как для проведения реального эксперимента требуется специальное оборудование и материалы, то вместо него будет использоваться виртуальный эксперимент в программном комплексе Ansys.

Построение регрессионной модели начинается с кодированных и натуральных значений фактора, а также задания «основного», «верхнего» и «нижнего» значения кодирования.

Таблица 2

Кодированные значения	Натуральные значения							
	$\frac{\Delta S_0}{S_0}$		$\frac{D\delta\epsilon}{S_0}$		$\frac{n}{f\delta\epsilon}$		Dз/Sо	
Xi	X1	F1	X2	F2	X3	F3	X4	F4
Нижний «-1»	0,15	-1	8,4	-1	965	-1	36,6	-1
Основной «0»	0,19	0	9,7	0	1065	0	42,6	0
Верхний «+1»	0,23	+1	10,0	+1	1165	+1	48,6	+1
$\Delta Xi$	0,04		1,3		100		6,0	

Задав нижнее и верхнее значение кодированного фактора, происходит построение матрицы плана для дробного факторного эксперимента. При это используется полуреплика проведения эксперимента и проводится 8 экспериментов.

Таблица 3

Матрица плана эксперимента

№ опыта	F0	F1	F2	F3	F4
1	1	1	1	1	1
2	1	-1	1	-1	1
3	-1	1	-1	1	-1
4	1	-1	-1	-1	1
5	-1	1	1	1	-1
6	1	1	-1	-1	-1
7	-1	-1	-1	1	1
8	1	-1	1	1	-1

Для упрощения построение и более удобного восприятия опускаем «1» и строим матрицу плана в кодированных значения «+» и «-».

Таблица 4

№ опыта	F0	F1	F2	F3	F4
1	+	+	+	+	+
2	+	-	+	-	+
3	-	+	-	+	-
4	+	-	-	-	+
5	-	+	+	+	-
6	+	+	-	-	-
7	-	-	-	+	+
8	+	-	+	+	-

Следующим этапом были проведены 8 моделирований по основному уровню кодирования значений и получены величины сил, представленные в таблице 5.

Таблица 5

Номер эксперимента	Сила, кН
1	150
2	128
3	152
4	147
5	173
6	148
7	162
8	153

Следующим этапом является получение коэффициентов  $b$  математической модели эксперимента:

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + b_5 X_5 + b_6 X_6 + b_7 X_7 + b_8 X_8$$

Для данных опытов были получены значения коэффициентов  $b$ , представленные в таблице 3:

Таблица 6

Коэффициент	Значение
$b_0$	67
$b_1$	-3
$b_2$	-13
$b_3$	9
$b_4$	27
$b_5$	71
$b_6$	-41
$b_7$	-24
$b_8$	16

После подставления полученных коэффициентов, получаем уравнение:

$$y = 67 - 3X_1 - 13X_2 + 9X_3 + 17X_4 + 71X_5 - 41 X_6 - 24 X_7 + 16 X_8$$

После проведения опытов выполнена статистическая обработка результатов. Сначала определяются ошибки повторных (параллельных) опытов. Среднеквадратичное отклонение определяем по выражению:

$$S_i^2 = \frac{\sum_1^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1},$$

где  $\bar{y}$  - среднее арифметическое значение параметра оптимизации.

$$s_i^2 = 166.93$$

Затем определяется дисперсия адекватности. Дисперсия адекватности оценивает отклонение, предсказанное уравнением регрессии, выходной величины от результатов эксперимента  $y$  в различных точках факторного пространства

$$S_{ад}^2 = \frac{r}{N-m} \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2$$

$$S_{ад}^2 = 625.97$$

Критерий Фишера позволяет проверить гипотезу о не существенности расхождения между  $S_{ад}^2$  и  $S_y^2$ . Для этого определяется численное значение F -критерия:

$$F = S_{ад}^2 / S_y^2$$

$$F_{расчет} = 625.93 / 166.93 = 3.75$$

$F_{табл} = 3.84$  для четырехфакторной модели и 8 проведенных экспериментов.

При  $F_{расчет} > F_{табл}$  модель считается адекватной.

Тем самым ДФЭ схема эксперимента является достаточной и не требуется построения до схемы ПФЭ.

### Выводы:

1) На разностенность при процессе ротационной вытяжки шариковыми раскатными устройствами оказывают влияние следующие технологические факторы: относительная исходная разностенность заготовки, относительный диаметр давящего элемента, относительная скорость деформирования, относительный диаметр заготовки.

2) Построение регрессионной модели показывает натуральную взаимосвязь исследуемых факторов с величиной разностенности при процессе ротационной вытяжки и определяет величину зависимости между факторами.