

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Н.Е. ЖУКОВСКОГО
"ХАРЬКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ"**

ISSN 2071-1077

**ОТКРЫТЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ
И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИНТЕГРИРОВАННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Сборник научных трудов

Включен в Перечень научных профессиональных изданий Украины
и международную наукометрическую базу данных **Index Copernicus**

Выпуск 77

Харьков «ХАИ» 2017

Утверждено к печати ученым советом Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», протокол № 2 от 20.09.2017 г.

Редакционная коллегия: В. В. Воронько, Б. В. Бойцов, В. Е. Гайдачук, А. Г. Гребеников, Н. В. Ефремова, В. С. Кривцов, Б. М. Конорев, А. К. Мялица, В. А. Титов, В. Г. Сухоробрый, И. Б. Туркин, О. Е. Федорович, В. С. Харченко, Sergey Shkarayev

Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т "ХАИ", 2017. – Вып. 77. – 101 с.

Освещены вопросы интегрированных технологий в проектировании и конструировании авиационной техники, в производстве и инженерном анализе промышленных объектов, открытых информационных технологий и обеспечения жизненного цикла промышленных изделий.

Для специалистов авиационной промышленности и научных организаций, преподавателей и студентов.

Адрес редакционной коллегии: 61070, г. Харьков, ул. Чкалова, 17, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», тел. (057) 707-43-63.

Свидетельство о государственной регистрации КВ №7975 от 09.10.2003 г.

В сборнике публикуются статьи на русском, украинском и английском языках.

Сборник входит в утвержденный Перечень научных профессиональных изданий Украины, в которых могут публиковаться результаты диссертационных работ на соискание научных степеней доктора и кандидата наук (**Постановление президиума ВАК Украины от 06.11.2014 № 1279**). Сборник включен в международную наукометрическую базу **Index Copernicus**.

СОДЕРЖАНИЕ

Интегрированные технологии в проектировании, конструировании и производстве

А. С. Бычков, О. Ю. Нечипоренко, И. М. Ромашко. Исследование эксплуатационных характеристик втулок из антифрикционного самосмазывающегося материала БФГ-50М, изготовленных методом порошковой металлургии. Сообщение 2. Испытания втулок из материала БФГ-50М, изготовленных методом порошковой металлургии	4
И.В. Библик. Развитие метода компьютерного моделирования для оценки влияния поверхностной обработки на усталостную прочность.	13
А. Г. Гребеников, В. П. Лющин, Т. Б. Богачева, Л. А. Мальков. Скоростной эстакадно-трубопроводный аэропоезд на воздушной подушке	19
Ю.А. Воробьев, И.В. Бычков, Н.В. Нечипорук, Н.И. Бычков. Формирование информации о технологических характеристиках объектов производства с использованием их аналитических методов описания в среде CAD/CAM систем.	29
В.В. Борисевич, Абухабел Мохамед Абубакер. Регрессионный анализ связи параметров процесса гофрообразования трубных заготовок.	39
А.Г. Найденко, А.С. Манохин, І.М. Закієв, В.І. Закієв, С.А. Клименко, Ю.О. Мельнійчук, С.А. Клименко. Порівняльна оцінка механічних характеристик поверхневого шару надтвердих композиційних інструментальних матеріалів.	47
А. А. Пермьяков, Е. А. Фролов, О. В. Бондарь. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния базовых плит универсально-сборных переналаживаемых сварочных приспособлений. .	55
Е. А. Фролов, С. Г. Ясько, С. И. Кравченко. Исследование разнотолщинности при пневмоударной вытяжке с калибровкой без прижима листовой заготовки.	68
<i>Интегрированные технологии в инженерном анализе</i>	
С.П. Светличный. Анализ деформаций стальной плиты-мишени при ударе мягкого тела.	73
К.В. Вакуленко, И.Б. Казак, Г.И. Костюк . Теплонапряженность фрикционного контакта модифицированных поверхностей.	81
Т. В. Денисова, В. С. Проценко. О крутильных колебаниях составного упругого полупространства.	86
О. Б. Маций, А. В. Морозов, А. В. Панишев. Подходы к решению задач маршрутизации.	92
Требования к оформлению статей в тематический сборник научных трудов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» «Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии»	99

За достоверность информации ответственность несет автор.

При перепечатывании материалов сборника ссылка на «Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии» обязательна

Исследование разнотолщинности при пневмударной вытяжке с калибровкой без прижима листовой заготовки

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

Исследована разнотолщинность при пневмударной вытяжке с калибровкой без прижима листовых заготовок. На основе результатов исследований установлено, что разнотолщинность зависит от трех линейных и трех смешанных эффектов. Наиболее значимым из них является величина вытяжного зазора. Минимальная разнотолщинность детали получается при вытяжке с калибровкой в матрицах с углом заходной части, равным 60° .

Ключевые слова: пневмударная вытяжка, калибровка, матрица, жидкость, полиуретан, модель, листовая заготовка.

Введение

Развитие технологий листовой штамповки идет по пути повышения технико-экономических показателей выпускаемой продукции за счет интенсификации процессов формообразования и повышения качества изделий при минимальных затратах материалов и технологических промежуточных операций.

Анализ проблемы и постановка задачи исследования

Процесс пневмударной вытяжки подвижными средами (жидкость, полиуретан) позволяет повысить точность и качество вытягиваемых без прижима деталей [1].

Для оценки степени точности деталей, полученных гидроударной вытяжкой с калибровкой, в настоящей работе принят один из основных показателей точности вытягиваемых деталей – продольная разнотолщинность, которую в дальнейшем для краткости будем называть разнотолщинностью. Выбор этот обусловлен тем, что другие показатели (поперечная разнотолщинность, огранка и степень фестонобразования) при гидромеханической вытяжке с калибровкой имеют весьма малую величину, так как при принудительном утонении края изделия деформации по периметру выравниваются. Разностенность изделий можно свести практически к весьма малой величине с помощью специальных конструкций штампов [4].

Основной материал

В работе приведены результаты экспериментального исследования разнотолщинности вытягиваемых изделий, выполненного методом полного факторного эксперимента (план 2^3). Этот метод позволяет получить математическую модель изучаемого процесса, оценить ее адекватность, а также значительно уменьшить число опытов [5].

Экспериментальное исследование процесса вытяжки без прижима заготовки выполняли в специальном штампе. Конструкция штампа позволяет осуществить быструю смену матриц и пуансонов. Эти перестановки позволяют деформировать заготовки с коэффициентом вытяжки до 0,46 и с калибровкой стенки до 25 %.

Вытяжку деталей осуществляли на пневмоударных прессах моделей Т-1324 и ТА-1324. В качестве материала заготовок при штамповке использовали медь М1 – лист толщиной 1,5 мм.

Рабочей жидкостью служили жидкости и полиуретан. Разнотолщинность вытянутых изделий определяли в следующем порядке. После вытяжки обмеряемые образцы обезжиривали и с помощью штангенрейсмуса на базовых расстояниях от дна изделия наносили риски, по которым и замеряли толщину стенки детали после ее разрезки. Чтобы исключить возможность деформации образцов и повреждения поверхности, их разрезали на электроэрозионном проволочном станке марки 4531. Разрезку проводили в керосине проволокой диаметром 0,19 мм при рабочем токе ~ 4 А и напряжении ~ 180 В. Время разрезки одного образца составляло ~ 4 мин. Замеры в намеченных сечениях выполняли индикатором часового типа с ценой деления 0,01 мм.

Разнотолщинность определяли по формуле

$$\varepsilon_s = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{S_0}, \quad (1)$$

где S_{\max} – толщина края стенки на границе перехода цилиндрической части во фланец;

S_{\min} – толщина стенки детали на радиусе скругления пуансона (в «опасном сечении»);

S_0 – исходная толщина заготовки.

Предварительно с помощью традиционного однофакторного эксперимента оценивали значимость отдельных факторов на выбранный параметр оптимизации. В результате выделены три наиболее значимых фактора, которые представлены в табл. 1.

Таблица 1

Уровни варьирования факторов

№ п/п	Обозначение фактора (кодированное)	Наименование и обозначение фактора	Размерность	Область эксперимента			Интервал варьирования
				Нижний уровень «-»	Основной уровень «0»	Верхний уровень «+»	
1	x_1	Коэффициент вытяжки m	–	0,5	0,527	0,555	0,02
2	x_2	Угол ската заходной части матрицы α	град	60	90	120	30
3	x_3	Вытяжной зазор $\frac{Z}{S_0}$	–	1,0	1,1	1,2	0,1

Все факторы и их совокупность отвечали предъявляемым к факторам

требованиям, а интервалы варьирования соответствовали реальным условиям и отвечали требованию совместности.

Варьирование коэффициента вытяжки осуществляли изменением размеров заготовки. Заготовки, обеспечивающие верхний и нижний уровни первого фактора, имели, соответственно, диаметр 44,6 и 50 мм.

Второй фактор варьировался сменой матриц, имевших различную заходную часть.

Верхний и нижний уровни третьего фактора – вытяжного зазора – обеспечивали сменными пуансонами, имевшими диаметр, соответственно, 22 и 21,4 мм.

Матрица полного факторного эксперимента 2^3 реализовывалась при наличии двух параллельных опытов. На основании опытов было получено уравнение регрессии и по известной методике [4] проводили регрессионный анализ разработанной математической модели. Последовательно определяли дисперсию воспроизводимости, оценку ее с помощью критерия Кохрена и усреднение, доверительный интервал коэффициентов модели и незначимые члены уравнения регрессии.

Для проверки адекватности полученного уравнения регрессии были вычислены дисперсия неадекватности, критерий Фишера и проведено сравнение его с критическим табличным значением. Результаты проверки адекватности уравнения регрессии приведены в табл. 2.

Таблица 2

Оценка адекватности модели

Параметр оптимизации	Число членов уравнения регрессии	Вычисленное значение критерия	Критическое значение критерия
ε_s	7	3,79	5,59

Как видно из таблицы, уравнение регрессии адекватно отражает (интерполирует) процесс образования разнотолщинности при гидромеханической вытяжке с калибровкой без прижима заготовки.

Полученное уравнение в кодированных значениях факторов имеет следующий вид

$$\begin{aligned} \varepsilon_s = 0,325 - 0,033 \cdot x_1 + 0,009 \cdot x_2 + 0,049 \cdot x_3 - 0,007 \cdot x_1 \cdot x_2 - \\ - 0,012 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,019 \cdot x_2 \cdot x_3. \end{aligned} \quad (2)$$

Переход от кодированных значений факторов к натуральным осуществляли с помощью следующих зависимостей:

$$x_1 = \frac{x_1 - 0,527}{0,027}; \quad x_2 = \frac{x_2 - 90}{30}; \quad x_3 = \frac{x_3 - 1,1}{0,10},$$

где x_1, x_2, x_3 – натуральные значения факторов.

Анализ уравнения регрессии показал:

1. Разнотолщинность деталей зависит от трех линейных и трех смешанных эффектов.

2. Наиболее значимым фактором является величина вытяжного зазора.

При вытяжке с калибровкой за счет принудительного утонения верхней части детали разнотолщинность уменьшается по сравнению с вытяжкой без калибровки.

3. С увеличением степени деформации и угла ската матрицы разнотолщинность увеличивается в основном за счет утонения опасного сечения в начальной стадии вытяжки.

4. Рассмотрение уравнений регрессии для разнотолщинности и усилия показывает, что для получения минимальной разнотолщинности изделий при минимальном усилении нужно использовать вытяжку с калибровкой в матрицах с углом заходной части 60° .

Выводы

1. Процесс пневмоударной бесприжимной штамповки подвижными средами позволяет эффективно использовать одновременную вытяжку с калибровкой деталей.

2. Определено влияние технологических и конструктивных параметров процесса на точность получаемых изделий при минимальной разнотолщинности.

Список литературы

1. Пути повышения качества технологической системы пневмоударной штамповки листовых деталей [Текст] / Е. А. Фролов, И. В. Манаенков, С. С. Тимофеев, Т. В. Дякова // Удосконалення будівельних колій та перевантажувальних машин: зб. наук. пр. Укр. держ. академії залізн. трансп. – Вып. 88. – Х., 2008. – С. 166 – 172.

2. Технологические предпосылки получения высокоточных деталей вытяжкой из листа методом пневмоударной штамповки [Текст] / А. Я. Мовшович, Л. Г. Кузнецова, Е. А. Фролов, И. В. Манаенков // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: темат. зб. наук. пр. ДДМА. – Краматорськ., 2009. – С. 352 – 356.

3. Фролов, Е. А. Определение показателей качества листовых деталей при ударно-импульсных операциях эластичной средой [Текст] / Е. А. Фролов, А. Л. Косарова, И. В. Манаенков // Вестник национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. тр. Нац. авт.-дор. ун-та. – № 54. – Х., 2011, – С. 149 – 153.

4. Пневмоударная и статико-динамическая штамповка сложно-рельефных листовых деталей упругими средами [Текст]: моногр. / Е. А. Фролов, А. Я. Мовшович, И. В. Манаенков. – Х.: УкрГАЗТ, – Краматорск: ДГМА, 2010. – 287 с.

5. Налимов, В. В, Чернова И. А. Статические методы планирования экстремальных экспериментов [Текст] / В. В. Налимов, И. А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 341 с.

Поступила в редакцию 22.09.2017

Дослідження різновтовщинності при пневмоударній витяжці з калібруванням без притиску листової заготовки

Досліджено різновтовщинність при пневмоударній витяжці з калібруванням без притиску листових заготовок. На підставі результатів досліджень встановлено, що різновтовщинність залежить від трьох лінійних і трьох змішаних ефектів. Найбільш значущим із них є величина витяжного зазору. Мінімальна різновтовщинність деталі виходить при витяжці з калібруванням у матрицях з кутом вхідної частини, який дорівнює 60°.

Ключові слова: пневмоударна витяжка, калібрування, матриця, рідина, поліуретан, модель, листова заготовка.

Analysis of Thickness Differential under Pneumatic-Impact Drawing with Calibration without Pressing Sheet Blank Down

Thickness differential under pneumatic-impact drawing with calibration without pressing the sheet blanks down was analyzed. Based on the analysis results it has been revealed that thickness differential depends on three linear and three mixed effects. The most significant issue of them is the amount of the drawing gap. Minimal thickness differential of the part is obtained by drawing with calibration in matrices with the input section angle of 60°.

Key words: pneumatic-impact drawing, calibration, matrix, liquid, polyurethane, model, sheet blank.

Сведения об авторах:

Фролов Евгений Андреевич – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения ПНТУ, г. Полтава, Украина.

Ясько Станислав Георгиевич – ст. преподаватель кафедры технологии машиностроения Полтавского Национального технического университета им. Ю. Кондратюка, г. Полтава, Украина.

Кравченко Сергей Иванович – канд. техн. наук, доцент кафедры технологии машиностроения ПНТУ, г. Полтава, Украина.

Научное издание

**ОТКРЫТЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ
ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Выпуск 77

Редакторы: Т. Г. Кардаш, Л. А. Кузьменко

Компьютерная верстка: Т. Н. Серeda

Подписано в печать 25.09.2017. Формат 60×84¹/₈. Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 5,61. Уч.-изд. л. 6,31. Т. 300 экз. Заказ

**Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского**

«Харьковский авиационный институт»

61070, Харьков-70, ул. Чкалова, 17

<http://www.khai.edu>

**Отпечатано в типографии ХГАПП
г. Харьков-23, ул. Сумская, 134, т. 707-87-60**