

Анализ закономерностей распределения погрешностей размеров деталей при разделительных операциях пневмоударной штамповки эластичной средой

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

Проведен анализ и установлен закон распределения погрешностей размеров деталей при разделительных операциях при пневмоударной штамповке эластичной средой с учетом доминирующего фактора (величины износа штампа) и погрешностей случайного характера. Установлено, что распределение погрешностей штампуемых деталей представляет собой сочетание распределения погрешностей размера по закону равной вероятности и нормальному закону. Полученные зависимости позволяют определить средние значения (математическое ожидание) производственных погрешностей размеров деталей при штамповке.

Ключевые слова: разделительные операции, пневмоударная штамповка, эластичная среда, закономерность, распределение, погрешность, размер, деталь.

Введение. В машиностроении производственными погрешностями называют отклонения различного рода параметров реальных деталей от номинальных значений, указанных в чертежах и технических условиях.

Причины вызывающие производственные погрешности при разделительных операциях пневмоударной штамповки эластичной средой весьма многочисленны и разнообразны [1 – 3].

На точность операций пробивки-вырубки существенное влияние оказывает рассеивание размеров по габаритам и толщине. Данная производственная погрешность является, наряду с износом рабочих частей штампа, доминирующей и систематической [4].

Известны работы посвященные экспериментальному определению степени влияния производственных погрешностей на точность выполнения разделительных операций с использованием эластичных сред [5].

Настоящая работа посвящена установлению закона распределения погрешностей размеров деталей при пневмоударной штамповке.

Закономерность распределения производственных погрешностей отражает главнейшее условие возникновения этих погрешностей. При этом существенно то, в какой именно совокупности деталей или изделий рассматриваются погрешности: в отдельно изготовленной партии или в общей массе продукции при смешении нескольких партий; при однородности производственных условий изготовления отдельных партий или при естественном в производстве некотором разнообразии этих условий и т.д.

Пневмоударная штамповка для выполнения разделительных операций применяется в условиях опытного, индивидуального, мелкосерийного и серийного производств при изготовлении партии от 500 до 5000 деталей в год. Из ранее полученных результатов [6] следует, что с ростом количества отштампованных деталей происходит увеличение отклонений размеров от их номинальных значений. Это увеличение связано с износом рабочих элементов (копир-пуансонов и матриц).

При этом размеры копир-пуансонов уменьшаются, а размеры матриц увеличиваются. Абсолютные же величины отклонений не зависят от вида операций, их

величины, как при вырубке, так и при пробивке, практически одинаковы в каждой из взятых выборок.

Следует отметить, что процесс пневмоударной штамповки при выполнении разделительных операций принципиально отличается от изготовления деталей в специальных штампах, при котором отклонения размеров при вырубке увеличиваются, а при пробивке отверстий – уменьшаются как по направленности, так и по величине. При выполнении пробивных операций в специальных штампах отклонение размеров на 20...30% больше чем при вырубке.

Полученные зависимости имеют практически линейный характер. В пределах штамповки партии деталей до 10 тыс. штук отсутствуют период приработки, а также не наблюдается период ускоренного износа, имеющие место при штамповке на специальной оснастке.

Это можно объяснить спецификой процесса пневмоударной штамповки, отличающегося высокими скоростями деформирования и применением в качестве одного из рабочих элементов (матрицы или пуансона) эластичной деформирующей среды (полиуретана).

Как правило, такие партии штампуются одновременно на одном копир-пуансоне без снятия оснастки с оборудования до полного окончания работы над всей партией. Перешлифовка рабочих частей штампа производится во время профилактических осмотров и ремонтов в промежутках между работой.

Поэтому при исследовании закона распределения производственных погрешностей рассматривалась совокупность деталей в отдельно изготовленной партии.

Для установления закономерности распределения отклонений производственных погрешностей при пневмоударной штамповке были проведены исследования над шестью наименованиями деталей, три из которых получались вырубкой, а в трех других случаях пробивались отверстия.

Из анализа производственных погрешностей, возникающих при штамповке деталей с применением пневмоударной штамповки следует, что среди источников возникновения производственных погрешностей имеется доминирующий фактор, а именно, износ режущих кромок копир-пуансона(матрицы), который связан функциональной зависимостью с временем работы штампа.

Изучение влияния доминирующего фактора (износа матриц и пуансонов) на отклонение размеров штампующихся деталей от номинала производилось путем анализа диаграмм точности операции вырубке-пробивки [3, 5].

Установлено, что они достаточно точно отражают влияние доминирующего фактора – износа пуансона, причем размеры в отштампованной партии деталей в единицу времени изменяются равномерно, а аналитическая закономерность изменения отклонений размеров может быть представлена линейной зависимостью

Основной материал. Из теории вероятностей [3], следует, что при наличии среди источников, вызывающих производственные погрешности, доминирующего фактора, равномерно изменяющегося во времени, рассеивание отклонений одной производственной партии подчиняется закону равной вероятности.

При интервале изменений случайной величины x от a до b уравнение дифференциальной функции распределения или плотности вероятности будет иметь следующий вид:

$$f(x) = 1/(b-a), (a \leq x < b). \quad (1)$$

Интегральная функция равномерного распределения выражается следующим уравнением для $a < x < b$

$$F(x) = \int_a^x f(x) = \int_a^x \frac{dx}{b-a} = \int_a^0 \frac{dx}{b-a} + \int_0^x \frac{dx}{b-a} = \frac{x-a}{b-a}. \quad (2)$$

Наряду с доминирующим фактором, каким является износ рабочих элементов штампа, имеется ряд производственных погрешностей случайного характера (неточность изготовления штамповой оснастки и фиксации листовой заготовки), оказывающих существенное влияние на закон распределения погрешностей штампуемых деталей.

Известные исследования по изучению характера распределения случайных производственных погрешностей позволили сделать вывод [3, 5], что распределение случайных производственных погрешностей при пневмоударной штамповке также подчиняется закону нормального распределения.

Плотность вероятности или дифференциальная функция распределения случайной величины непрерывного типа, подчиняющейся закону нормального распределения, имеет следующее выражение:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}}. \quad (3)$$

где x – переменная случайная величина;

$f(x)$ – плотность вероятности;

σ – среднее квадратическое отклонение случайной величины x от \bar{X} ;

\bar{X} – среднее значение отклонения размеров (математическое ожидание) величин x ,

e – основание натуральных логарифмов.

Интегральный закон нормального распределения выражается в общем виде следующей формулой:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (4)$$

Если случайная величина x следует закону нормального распределения, то достоверно, что она может принимать любые численные значения в пределах $\pm\infty$.

Для практического использования закона нормального распределения ограничим зону рассеивания случайной величины пределами $\bar{X} \pm 3\sigma$, т.е. в пределах 6σ .

Таким образом, закон распределения погрешностей штампуемых деталей представляет собой композицию распределения погрешностей по закону равной вероятности и нормальному закону.

Из теории вероятностей известно, что если случайная величина представляет собой сумму независимых случайных величин, каждая из которых подчиняется своему закону распределения, то закон распределения суммы может быть найден по законам распределения слагаемых.

Если известно, что плотность распределения x равна $f(x)$, а плотность распределения y равна $f(y)$, то плотность распределения суммы $f(z)$ находится решением следующего интеграла:

$$f(z) = \int_0^{\infty} f(x) f(z-x) dx = \int_0^{\infty} f(y) f(z-y) dy, \quad (5)$$

где $z = x + y$, откуда $y = z - x$ и $x = z - y$;

$$f(y) = f(z-x) = 1/(b-a), \quad f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(z-y-\bar{X})^2}{2\sigma^2}}, \quad (6)$$

где в показателе при e величина x заменена на $x = z - y$. Плотность вероятности композиции рассматриваемых законов распределения будет равна:

$$f(z) = \int_a^b f(y) f(z-y) dy = \frac{1}{b-a} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_a^b e^{-\frac{(z-y-\bar{X})^2}{2\sigma^2}} dy. \quad (7)$$

Здесь интервал берется от a до b , так как отличается от нуля только в этом интервале $a < y < b$.

Вводим подстановки:

$$y = z - \bar{X} + t\sigma; \quad dy = \sigma \cdot dt; \quad \frac{z-y-\bar{X}}{\sigma} = -t; \quad \frac{a-y+\bar{X}}{\sigma} = t_1; \quad \frac{b-z+\bar{X}}{\sigma} = t_2. \quad (8)$$

Тогда уравнение примет вид:

$$f(z) = \frac{1}{b-a} \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot \int_{t_1}^{t_2} e^{-t^2/2} dt = \frac{1}{b-a} \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot \left[\int_0^{t_2} e^{-t^2/2} dt - \int_0^{t_1} e^{-t^2/2} dt \right]. \quad (9)$$

Интеграл $\frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^t e^{-t^2/2} dt = \Phi(t)$ носит название нормированной функции

Лапласа и его значения для различных t приводятся в таблицах. Тогда окончательно получим:

$$f(z) = \frac{1}{b-a} \cdot [\Phi(t_2) - \Phi(t_1)] = \frac{1}{b-a} \cdot \left[\Phi\left(\frac{b-z+\bar{X}}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a-z+\bar{X}}{\sigma}\right) \right]. \quad (10)$$

Так как среднее значение x равно \bar{X} , а для y равно $\bar{y} = (b+a)/2$, то среднее значение для закона композиции будет

$$\bar{z} = \bar{X} + \bar{y} = \bar{X} + (b-a)/2. \quad (11)$$

Дисперсия закона композиции

$$\bar{\sigma}_z^2 = \bar{\sigma}_x^2 + \bar{\sigma}_y^2 = \bar{\sigma}_x^2 + \frac{(b-a)^2}{12}. \quad (12)$$

Выводы. Полученные результаты позволяют сделать заключение, что закон распределения погрешностей при пневмоударной штамповке представляет собой сочетание распределения погрешностей по закону равной вероятности и нормальному закону рассеивания размеров штампуемых деталей.

Список литературы

1. Зубцов, М.Е. Повышение качества и точности штамповки-вырубki крупногабаритных тонколистовых деталей [Текст] / М.Е. Зубцов // Пути повышения качества и точности. ЛДНТП. – 1976. – С. 43 – 50.
2. Исаченков, Е.И. Основные направления повышения эффективности и качества листовой и объемной штамповки [Текст] / Е.И. Исаченков // Качество и эффективность при листовой и объемной штамповке: сб. науч. тр. МДНТП, 1977, – С. 3 – 8.
3. Кузнецов, К.А. Погрешности обработки при вырубке и зачистке [Текст] / К.А. Кузнецов // Известия ВУЗов, т. VI. Приборостроение, – № 6. – 1963. – С. 142 – 144.
4. Пневмоударная и статикодинамическая штамповка сложнорельефных листовых деталей упругими средами [Текст]: монография / [Фролов Е.А., Мовшович А.Я., Манаенков И.В. и др.]. – Х.: УкрГАЗТ, – Краматорск: ДГМА, 2010. – 287 с.
5. Манаенков, И.В. Исследование влияния производственных погрешностей на точность выполнения разделительных операций при пневмоударной штамповке [Текст] / И.В. Манаенков // Вісті Академії інженерних наук України. Спец. випуск «Машинобудування та прогресивні технології»: наук.-техн. та громад. часопис Президії АН України. – К.: НТУУ «КПІ», 2009. – № 1(38). – С. 141 – 144.
6. Фролов Е. А., Ясько С. Г. Оцінка факторів впливу виробничих похибок на точність деталей при операціях пробивання-вирубкування рухомими середовищами на основі статистичного аналізу / Е.А. Фролов, С.Г. Ясько // Обробка матеріалів тиском. – Краматорськ: ДДМА, 2017. – № 2 (45). – С. 70–74.

Поступила в редакцию 15.05.2018

Аналіз закономірностей розподілу похибок розмірів деталей при розділових операціях пневмоударного штампування еластичним середовищем

Проведено аналіз та встановлено закон розподілу похибок розмірів деталей при розділових операціях при пневмоударному штампуванні еластичним середовищем з урахуванням домінуючого фактора (величини зношування штампа) і похибок випадкового характеру. Встановлено, що розподіл похибок штампованих деталей являє собою поєднання розподілу похибок розміру за законом рівної ймовірності і нормальним законом.

Ключові слова: розділові операції, пневмоударне штампування, еластичне середовище, закономірність, розподіл, похибка, розмір, деталь.

Analysis of regularities in the distribution of errors in the dimensions of parts during the separation operations of pneumatic impact punching by elastic media

The analysis and the law of the distribution of errors of the sizes of details at separation operations at a pneumatic shock stamping by an elastic environment with account of the dominant factor (sizes of wear of a stamp) and errors of random character are established. It is established that the distribution of errors of stamped parts is a combination of the distribution of size errors according to the law of equal probability and normal law.

Keywords: separating operations, pneumatic impact punching, elastic medium, regularity, distribution, error, size, detail.

Сведения об авторах:

Ясько Станислав Георгиевич – старший преподаватель, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава, Украина. e-mail: s.g.yasko@gmail.com; ORCID:0000-0001-6228-705X.