

Н.Ю. Ламнаур, Харьков, Украина

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ

Запропонована модель розподілу розмірів виробів з різною формою та з будь-яким номінальним розміром в полі допуску. Отримана формула для визначення оптимальної настройки станка і решен ряд практичних задач, пов'язаних з точністю виготовлення виробу

Ключові слова: точність, модель, оцінка, брак.

Предложена модель распределения размеров изделий с различной формой и с любым номинальным размером в поле допуска. Получена формула для определения оптимальной настройки станка и решен ряд практических задач, связанных с точностью изготовления изделия.

Ключевые слова: точность, модель, оценка, брак.

A model of the size distribution of products with different shape and with any nominal size of the tolerance. A formula for determining the optimal settings the machine and solved a number of practical problems associated with precision manufacturing.

Keywords: accuracy, model, evaluation, defect.

Введення. Размеры деталей машин, приобретенные при обработке, определяют зазоры и натяги в соединениях, технические параметры изделий, влияющих на качество, надежность и экономические показатели производства. Поэтому необходимо уделять особое внимание величине размеров деталей машин. Исходя из конструктивных соображений, конструктор задает номинальное значение k_0 , а также нижнее ei и верхнее es предельные стандартные значения размеров изделия. Во многих случаях номинальное значение не совпадает с серединой поля допуска [1]. Тем не менее, при несимметричном расположении поля допуска относительно номинального значения параметра, принимают его среднее значение, т.е. считают, что $k_0 = (ei + es) / 2$. Данное допущение для точной обработки деталей машин приводит к некоторому количеству бракованных изделий, что оказывает влияние на экономические показатели производства. Поэтому возникла задача: « На какой размер необходимо настроить станок, чтобы исключить полученный брак и улучшить качество изделия? Как оценить качество оборудования и саму величину брака? »

Модель распределения размеров. При изготовлении деталей машин точность размеров зависит от некоторого числа известных и неизвестных технологических факторов, которые влияют на точность обработки. Поэтому величина размеров X имеет вероятностный (стохастический) характер. Очевидно, что величина размеров должна быть физически ограниченной величиной, т.е. иметь нижний и верхний порог. Существующие вероятностно-статистические методы анализа точности обработки изделия, используют, в основном, усеченное нормальное распределение с вероятностью выхода раз-

меров за границы поля рассеяния 0,0027. При этом не вводят параметры усечения.

Прделанные профессором А. А. Маталиным исследования показали, что при высокой точности необходимо применять для величины размеров распределение Симпсона или равномерное распределение в зависимости от качества точности изготовления [3]. Предлагается модель погрешности размеров в виде:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \notin (b, c), \\ \frac{1+k}{c-b} \left[1 - \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^k \right] & \text{при } x \in [b, a], \\ \frac{1+k}{c-b} \left[1 - \left(\frac{x-a}{c-a} \right)^k \right] & \text{при } x \in (a, c), \end{cases} \quad (1)$$

где a – номинальный размер, b – нижний порог и n – верхний порог размера, k – параметр формы размеров.

Функция распределения для модели (1) имеет вид:

$$F(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq b \\ \left\{ x-b+k(x-a) \left[1 - \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^k \right] \right\} / (c-b) & \text{при } b < x \leq a \\ \left\{ x-b+k(x-a) \left[1 - \left(\frac{x-a}{c-a} \right)^k \right] \right\} / (c-b) & \text{при } a < x \leq c \\ 1 & \text{при } x > c \end{cases} \quad (2)$$

Проведенный статистический анализ на массовых испытаниях по распределению размеров показал, что данная модель хорошо согласуется с экспериментальными данными и такая чувствительная характеристика к распределению как λ - характеристика [4] $\lambda = f(x)/(1 - F(x))$ данного распределения практически совпадает с эмпирическими значениями λ - характеристики. Это значит, что данная модель (1) практически адекватна к истинной модели и может быть применима для решения практических задач. При частных значениях параметров модель (1) переходит в распределение Симпсона или в равномерное распределение.

Математическое ожидание плотности распределения (1) имеет вид:

$$M(X) = (b + c + 2ka + kb + kc) / (4k + 2) \quad (3)$$

Из (2) видно, что математическое ожидание зависит от параметра формы k .

Для различных параметров формы $0 < k \leq 1$ получаем различные плотности распределения, которые имеют форму от треугольной до равномерно

распределенной при $k \rightarrow 0$ (см. рис. 1). На рис. 1. $a = 2, b = 1, c = 4$, для $k = 1$ $M(X) = 2, (3)$, а для $k = 0,005$ $M(X) = 2,49752475$.

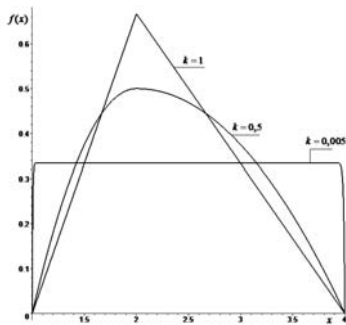


Рисунок 1 – Кривые плотности распределения размеров при различных параметрах формы k .

Обычно погрешность обработки для каждого станка известна, поэтому можно указать и границы допусков для станка при настроенном процессе, а, значит, найти форму размеров k . Эту форму необходимо иметь для настройки станка, так как величина размера настройки станка определяется математическим ожиданием (2). Эту форму можно найти, приравнявая математическое ожидание к среднему значению \bar{X} размеров, полученных при массовых испытаниях обработки изделий.

$$k = (2\bar{x} - c - b) / (2a + b + c - 4\bar{x}) \quad (4)$$

Таким образом, если известна форма распределения размеров k при заданных допусках на номинальный размер, то настройка станка осуществляется по формуле (2). Только в случае равномерного распределения размеров настройка станка осуществляется на середину поля допуска.

Так как область изменения случайной величины размера X ограничена слева и справа ($b \leq X \leq c$), то для определения доли брака нужно определить расположение поля допуска 2δ и поле рассеяния размеров 2Δ . Если поле допусков задается, то поле рассеяния находится из проведенных исследований. Чтобы найти поле рассеяния $2\Delta = b - c$, нужно уметь находить оценки параметров модели (1) по результатам экспериментов.

Оценки параметров модели рассеяния размеров. Модель (1) имеет три параметра b, c, k и одно известное номинальное значение a . Для оценки параметров модели (1) применим предложенный метод в [5] с изме-

нениями его для трех параметров и с использованием формулу (4). Найдем математические ожидания порядковых статистик выборки объема два $\mu_{1,2}, \mu_{2,2}$ [6].

$$\mu_{2,2} = 2 \int_b^c xf(x)F(x)dx = (-6k^3a^2 - 20k^3c^2 + 7cbk^3 + 7k^3b^2 - 21k^3ac + 33k^3ab - 21k^3ac - 38k^3c^2 - 6k^3a^2 + 16k^2cb + 16k^2b^2 + 33k^2ab + 6kab + 11kcb - 6kac + 11kb^2 - 22kc^2 - 4c^2 + 2b^2 + 2cb) / (3(1 + 5k + 6k^2)(3k + 2)(b - c) \quad (5)$$

$$\mu_{1,2} = 2 \int_b^c xf(x)(1 - F(x))dx = -(7k^3c^2 - 47cbk^3 + 34k^3b^2 + 33k^3ac - 21k^3ab - 6k^3a^2 + 33k^2ac + 18k^2c^2 - 6k^2a^2 - 65k^2cb + 43k^2b^2 - 21k^2ab - 6kab - 28kcb + 6kac + 17kb^2 + 11kc^2 + 2c^2 + 2b^2 - 4cb) / (3(1 + 5k + 6k^2)(3k + 2)(b - c) \quad (6)$$

Подставляя в (5) и в (6) вместо параметра формы k выражение (4) с заданным числом $a = k_0$, получаем два выражения $\mu_{1,2}, \mu_{2,2}$ с двумя неизвестными: b и c . Эти неизвестные найдем из системы уравнений

$$\begin{cases} \mu_{1,2} = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i=0}^{n-2} (n-1-i)x_{(i+1)}, \\ \mu_{2,2} = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i=0}^{n-2} (1+i)x_{(i+2)}, \end{cases}$$

где $x_{(i)}$ – i -тая порядковая статистика выборки объема n .

Проведенное статистическое моделирование при объемах выборки $n = 15$ показало, что оценки, полученные этим методом, близки к заданным значениям. Отсюда следует, что этот метод применим для оценки параметров b, c и k модели (1). В системе MAPLE разработана программа, позволяющая находить оценки параметров модели (1) b, c и k .

Оценка величин брака. Любой процесс изготовления деталей или изделия обязан учитывать экономическую эффективность выпускаемой продукции. Величина процента брака, а также выбранного излишне точного оборудования может значительно влиять на экономическую эффективность производства. Поэтому оценка величины брака и нахождение поля рассеяния размеров деталей или изделий имеет большое значение на производстве.

Полученная разность $c_1 - b_1$ оценок параметров модели (1) служит оценкой поля рассеяния размеров изделий, а сами оценки b_1 и c_1 определяют место расположения относительно заданных значений ei и es . На рис. 2. представлены расположения оценок b_1 и c_1 .

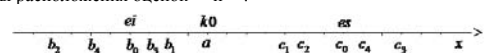


Рисунок 2 – Взаиморасположение оценок b_1 и c_1 модели (1)

РАБОТОСПОСОБНОСТЬ АЛМАЗНЫХ КРУГОВ С ВОДОРАСТВОРИМЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТЕКЛОИЗДЕЛИЙ

У статті представлені результати випробувань алмазних кругів на зв'язках з різними композиційними наповнювачами на базі високоплавкого легкоплавкого скла при шліфуванні кристалю, розглянуті механізми і кінетика зношування робочих поверхонь кругів форм ІЕЕ1.

В статье представлены результаты испытаний алмазных кругов на связках с различными композиционными наполнителями на базе высокоплавкого легкоплавкого стекла при шлифовании хрусталя, рассмотрены механизмы и кинетика изнашивания рабочих поверхностей кругов форм ІЕЕ1.

The paper presents the results of testing the diamond disks with binders and various fillers based on high-filled low-melting glass when grinding crystal glass. It also considers the mechanisms and kinetics of wear-out of operating surfaces of ІЕЕ1-shape disks.

При обработке изделий из художественного стекла (хрусталя) используется, в основном, алмазный инструмент форм ІЕЕ1, І4ЕЕ1, ІFF1 на металлических связках марок М2-01, М3-01, М6-14 и др. Реже применяется инструмент на органических или керамических связках. Работоспособность инструмента определяется маркой, зернистостью и концентрацией алмазного порошка и связкой. Причем свойства связки чаще определяют работоспособность в конкретных условиях, производительность, удельный расход алмазов и качество обработанных поверхностей [1,2]. Для изготовления алмазного инструмента, применяемого при обработке стеклоизделий, обычно применяют шлифпорошки из синтетических алмазов марок АС6-АС15 узких фракций, причем особое внимание уделяется расसेву порошков, так как наличие предельных фракций в таком инструменте ухудшает качество обработки и резко увеличивает затраты на химическое полирование.

Удаление обрабатываемого материала при шлифовании стекла происходит в результате хрупкого разрушения [3-5]. Повышенная хрупкость стекол и ряда других хрупких неметаллических материалов характеризуется большой разностью пределов прочности при растяжении и сжатии. В то же время указанные материалы обладают практически идеальной упругостью. При двухосном сжатии стекол соблюдается линейная зависимость между напряжениями и деформациями вплоть до разрушения, а материал подвергается воздействию конкурирующих процессов микроскопического разрушения и упрочнения структуры [4-6].

В процессе обработки стекла его поверхностный слой разрушается под воздействием абразивных зерен. Под вершинами зерен возникают области

Если $ei = b_0$ и $es = c_0$, то имеется идеальный случай изготовления изделий. Интервал $(b_1; c_1)$ говорит о том, что брака нет, но может быть выбрано оборудование излишне точное. Оценки b_2 и c_2 говорят о том, что есть неустраняемый брак, вероятность которого определяется по формуле (2)

$$P(b_2 < x \leq ei) = ei - b_2 + k(ei - a) \left[1 - \left(\frac{ei - a}{b_2 - a} \right)^k \right]$$

Оценки b_3 и c_3 дают устранимый брак, вероятность которого определяется по формуле

$$P(es < x \leq c_3) = c_3 - es - k(es - a) \left[1 - \left(\frac{es - a}{c_3 - a} \right)^k \right]$$

Интервал $(b_4; c_4)$ говорит о том, что имеется устранимый и неустраняемый брак, вероятность которого определяется по формуле

$$P(es < x \leq c_4) + P(b_4 < x \leq ei) = c_4 - es - k(es - a) \left[1 - \left(\frac{es - a}{c_4 - a} \right)^k \right] + ei - b_4 + k(ei - a) \left[1 - \left(\frac{ei - a}{b_4 - a} \right)^k \right]$$

Выводы:

1. Предложенная модель (1) размеров изделий практически адекватна имеющимся размерам изделий, полученных экспериментально.
2. Модель (1) имеет различную форму распределения k и различное расположение номинального размера в поле допуска.
3. Разработан достаточно точный метод получения оценок параметров модели (1).
4. С помощью данной модели (1) и полученных оценок ее параметров определяется установочный размер для обработки изделия с наилучшим значением.
5. Получены формулы, определяющие вероятность устранимого и неустраняемого брака, и определения поля рассеяния размеров.

Список использованных источников: 1. ГОСТ 25347-82. ЕСПД. Поля допусков и рекомендуемые посадки. [Текст]. — Введ.1983-01-07. — М.: Изд-во стандартов, 1983. — 27 с. 2.ГОСТ 25346-89 ЕСПД. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений. [Текст]. — Введ.1990-01-07. — М.: Изд-во стандартов, 1990. — 25 с. 3. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология, металлорежущие станки и инструменты». [Текст] / А.А. Маталин -Л.: Машиностроение, 1985. 496с. 4. Ламнауэр Н.Ю. Технологическое обеспечение качества соединений по параметру биния [Текст] / Н.Ю. Ламнауэр // Вестник Национального технического университета «ХПИ». -2005. -Вып.57. -С.56-61. 5. Ламнауэр Н.Ю. Экономический вопрос выбора технологии финишной обработки изделий в машиностроении [Текст] / Н.Ю. Ламнауэр // Вестник Национального технического университета «ХПИ». -2008. -Вып.1. -С.113-120. 6. Дейвидт Г. Порядковые статистики [Текст]: пер. с англ. под ред. В.В.Петрова; - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. -336с.

Поступила в редакцию 15.06.2012

напряжения сжатия, а ниже – растяжения. Когда значение напряжения под острием зерна достигает предела текучести стекла, в областях размером 100 мкм и более имеет место хрупкое разрушение с одновременной пластической деформацией. То есть, проникающее действие острия зерна вызывает пластическую деформацию, а внутренние напряжения растяжения приводят к хрупкому микроразрушению и диспергированию поверхности стекла. При давлении 5000 – 6000 МПа начинается вязкое течение стекла и пластическая деформация в областях менее 100 мкм. Таким образом, хрупкое разрушение под вершинами зерен определяет энергию разрушения и эффективность снятия припуска при шлифовании стекла, а деформация в прилегающих микрообъемах является сопутствующим фактором при диспергировании стекла.

Считается, что алмазные зерна используют в шлифовальных инструментах небольшую часть своих потенциальных возможностей. Уровень их использования может быть повышен при увеличении прочности удержания зерен связкой на границе их раздела и обеспечения величины выступления зерен из связки, большей глубины их врезания для образования необходимого пространства, в котором распределяются обрабатываемый материал и продукты его диспергирования. Технологические процессы изготовления режущих композиционных материалов методами порошковой металлургии включают несколько основных операций: смешивание компонентов шихты связки, смешивание компонентов алмазосодержащей шихты, холодное прессование брикета алмазосодержащей шихты, спекание и горячее прессование брикета [6-8]. Шихта инструментов для обработки стекла состоит, как правило, из связующих на основе систем Cu-Zn (Cu-Zn, Cu-Zn-Sn), алмазного порошка и наполнителей. При спекании и горячем прессовании брикета формируется матрица композиционного материала, обеспечивающая закрепление (удержание) режущих элементов – алмазных зерен. Как правило, матрица формируется на операции спекания (частично горячего прессования) при взаимодействии дискретных, дисперсных металлических, керамических или стеклянных частиц, образующих монолитный материал. Свойства матрицы могут варьироваться изменением пористости и состава за счет введения различного рода наполнителей. В качестве наполнителей режущих композитов используются дисперсные и ультрадисперсные частицы инертных по отношению к матрице материалов, например SiC, SiO₂, B₄C, графит и т.д. [7-8]. Традиционно основными функциями наполнителей является повышение эксплуатационных характеристик алмазосодержащих композиционных материалов (коэффициента трения, износостойкости, алмазодержания) и механических характеристик (твердости, предела прочности). Полагая, что придание наполнителям режущих функций с улучшением процесса самозатачивания и одновременно флюсующих агентов позволит повысить рабочие характеристики алмазосодержащих композитов и инструмента на их основе. Решением может быть использование дисперсных частиц B₄C, SiC и подобных в качестве наполни-

телей химически нестойких стекол с низкими температурами перехода в вязко-пластичное состояние, что позволит реализовать их абразивные свойства, снизить степень «засаливания» связки и, одновременно повысить твердость и прочность связки.

В качестве основы легкоплавких стекол использовали борный ангидрид, в качестве легирующих компонентов – SiO₂, P₂O₅, Na₂O. В качестве наполнителей использовали порошки B₄C, SiC, а также алмаза зернистостью 20/14 – 1/0 и 60/40. Концентрация наполнителей в таких композиционных материалах варьировала от 75 до 50 % об.

Композиционные материалы систем SiC – B₂O₃, B₄C – B₂O₃, (SiC – алмаз – B₂O₃, (B₄C – алмаз) – B₂O₃ получали прямым синтезом при взаимодействии борной кислоты, аморфного оксида кремния и дигидрофосфата натрия в условиях одновременной дегидратации борной кислоты при 875 – 925 К в течение часа. Спеси дробили и рассевали по фракциям. Отдельные результаты испытаний на прочность гранул приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние концентрации B₂O₃ на прочность частиц композиционного материала B₄C – B₂O₃ и (B₄C + алмаз 10 % об.) – B₂O₃ зернистостью 100/80 мкм

Материал	Концентрация B ₂ O ₃ в композиционном материале, % об.	Разрушающая нагрузка, Н	Среднее значение из 25 гранул	Прочность, МПа
B ₄ C – B ₂ O ₃	50	60...340	166,4	1,7
	40	60...390	223,2	2,2
	25	70...500	183,6	1,8
B ₄ C + алмаз – B ₂ O ₃	50	60...450	244	2,4
	40	70...460	188,4	1,9
	25	90...620	280,8	2,8

Анализ результатов показывает, что во всех системах B₄C – B₂O₃, SiC – B₂O₃, (SiC – алмаз) – B₂O₃, (B₄C – алмаз) – B₂O₃ снижение объемного содержания легкоплавкого стекла приводит к повышению прочности композиционных гранул. Величина нагрузки, при которой происходит разрушение частиц, определяется составом, структурой частиц и их формой. Среднее значение этих величин достаточно адекватно отражает прочностные характеристики частиц композиционных материалов. Увеличение числа частиц с высокими показателями прочности при одновременном увеличении средней величины показателей по мере снижения концентрации стекла в композиционном материале позволяет полагать, что снижение концентрации (объемной) матричного материала приводит к увеличению прочности частиц B₄C – B₂O₃. Низкие значения прочности частиц могут свидетельствовать также об их де-