

УДК 621.91

Э.Л. Бекиров, Э.Ш. Джемилов, канд. техн. наук,  
Э.Р. Ваниев, канд. техн. наук, Симферополь, Украина

## **СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ДАВЛЕНИЙ ПРИ РАЗВЕРТЫВАНИИ ОТВЕРСТИЙ**

*У статті представлена методика, що дозволяє в процесі реального розгортання в автоматичному режимі знімати показання всіх тензодатчиків, провести їх обробку на ПК, встановити величину і характер розподілу контактних тисків між інструментом і деталлю в будь-який момент технологічної операції.*

*Ключові слова: розгортання отворів, інструмент, деталь, контактний тиск*

*В статье представлена методика, позволяющая в процессе реального развертывания в автоматическом режиме снимать показания всех тензодатчиков, провести их обработку на ПК, установить величину и характер распределения контактных давлений между инструментом и деталью в любой момент технологической операции.*

*Ключевые слова: развертывание отверстий, инструмент, деталь, контактное давление*

*The article presents a method that allows in real deployment process in automatic mode to take readings of strain gauges, to hold their processing on the PC, set the size and pattern of distribution of contact pressure between the tool and the workpiece at any process step.*

*Keywords: deployment process, tool, workpiece, contact pressure*

**Введение.** Обработка отверстий занимает не менее важное место в машиностроении и по объему не уступает процессам обработки наружных поверхностей. Кроме того, обработка точных отверстий относится к числу наиболее трудоемких процессов, является более сложной, чем обработка наружных поверхностей, что обусловлено более тяжелыми условиями протекания процесса, меньшей жесткостью режущих инструментов. При обработке отверстий необходимо обеспечивать не только точность размера и формы, но также точность положения оси обрабатываемого отверстия относительно наружной поверхности [1]. Большое значение для производства имеет выявление возможностей и необходимых условий по уменьшению технологического наследования исходных погрешностей, поскольку они оказывают решающее влияние на точность, производительность труда при чистовой обработке отверстий и на последующую надежность работы деталей в узле машины. Проблемные задачи повышения точности, виброустойчивости и производительности обработки отверстий мерными концевыми инструментами решаются путем управления перемещениями инструмента в плоскости, перпендикулярной его оси за счет оптимизации конструктивных параметров, ориентации колебательной системы, режимов резания и применения экологически безопасных СОТС [1].

**Основной материал исследования.** Одним из перспективных направлений в области исследования и научного прогнозирования повышения качества обработки развертыванием отверстий является разработка вопросов механики контактного взаимодействия инструмента с деталью.

Для определения контактных давлений воспользуемся методикой, разработанной Джемилевым Э.Ш., применив ее для процесса развертывания [2].

Распределение контактных давлений  $q$  (МПа) на поверхности лезвия определяется из геометрических соображений по характеру изменения глубины резания  $\delta$ . Рассмотрим положение инструмента, когда радиус отверстия заготовки  $r_3$  больше радиуса окружности, проходящей через вершины режущих лезвий развертки  $r_l$  (рис. 1).

На рисунке показано, что глубина врезания режущего лезвия плавно меняется от нуля (на концах ширины контакта  $b_k$ ) до максимума –  $\delta_{\max}$  (на его середине). Контактные давления можно описать симметричной функцией:

$$q = q_{\max} \cdot f(\varphi). \quad (1)$$

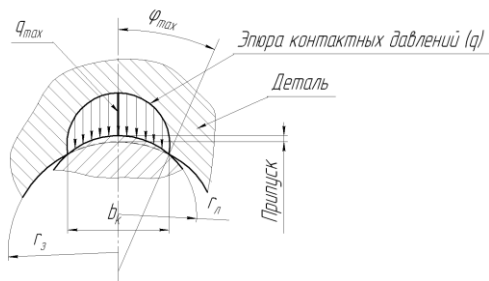


Рисунок 1 – Схема распределения контактных давлений в окружном направлении

В соответствии с эпюрой контактных давлений приведем  $q$  к линейной распределенной нагрузке  $p$ , Н/м:

$$p = 2 \int_0^{\varphi_{\max}} q(\varphi) r_3 \cos \varphi d\varphi = 2q_{\max} r_3 \int_0^{\varphi_{\max}} f(\varphi) \cos \varphi d\varphi = 2q_{\max} r_3 \psi(\varphi_{\max}). \quad (2)$$

Рассмотрим характер изменения  $p$  вдоль режущего лезвия (рис. 2). Равнодействующая равна нормальной силе резания  $P_p$ . Разобьем эпюру на  $N$  равных по длине участков длиной  $\Delta l = l_k / N$ . Заменим в пределах каждого участка переменную составляющую  $p$  на статически эквивалентную постоянную  $p_i = \text{const}$  и приведем  $p_i$  к сосредоточенной равнодействующей

$$P_i = p_i \Delta l. \quad (3)$$

Методика определения контактных давлений при разворачивании отверстий заключается в следующем. На наружной поверхности обрабатываемой детали наклеено  $N$  тензодатчиков, каждый из которых выдает свой  $\alpha_i$  сигнал, зависящий от величины и характера изменения нагрузки  $p$ .

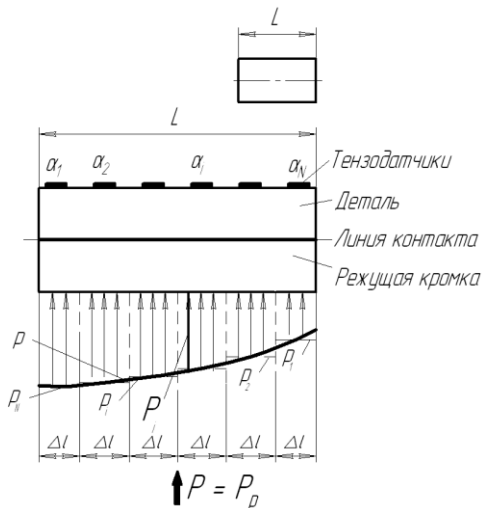


Рисунок 2 – Схема распределения контактных давлений на поверхности режущей кромки развертки

По закону Гука  $\alpha_i$  пропорционален всем  $P_j$ :

$$\alpha_j = a_{j1}P_1 + a_{j2}P_2 + \dots + a_{ji}P_i + \dots + a_{jN}P_N. \quad (4)$$

Тогда, для  $N$  тензодатчиков имеем систему  $N$  линейных уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} \alpha_1 &= a_{11}P_1 + a_{12}P_2 + \dots + a_{1i}P_i + \dots + a_{1N}P_N; \\ \alpha_2 &= a_{21}P_1 + a_{22}P_2 + \dots + a_{2i}P_i + \dots + a_{2N}P_N; \\ &\dots; \\ \alpha_j &= a_{j1}P_1 + a_{j2}P_2 + \dots + a_{ji}P_i + \dots + a_{jN}P_N; \\ &\dots; \\ \alpha_N &= a_{N1}P_1 + a_{N2}P_2 + \dots + a_{Ni}P_i + \dots + a_{NN}P_N. \end{aligned} \right. \quad (5)$$

Если коэффициенты  $a_{ji}$  известны, то имеем систему  $N$  уравнений с неизвестными  $P_i$ , решая которую определяем все  $P_i$ , а по формуле (3) – значения  $p_i = P_i / \Delta l$ .

Значения коэффициентов  $a_{ji}$  устанавливаются экспериментально тарированием закрепленных на обрабатываемой детали тензодатчиков. Физический смысл  $a_{ji}$  следующий: это сигнал с  $i$ -го тензодатчика от единичной сосредоточенной силы  $P_i = 1$ , приложенной в середине  $j$  – го участка. Последовательно прикладывая  $P_i = 1$  на разных участках и снимая показания тензодатчиков, устанавливаем все значения коэффициентов  $a_{ji}$ .

Определив  $p_i$ , строим ступенчатую столбодиаграмму (рис. 2), а затем, проведя через середины ступенек плавную кривую, эпюру  $p$ .

По формуле (2) вычисляем  $q_{\max} = p/2\psi(\varphi_{\max})$ , а по формуле (1) – характер распределения контактного давления  $q$  режущего лезвия по ширине контакта.

Разработанная экспериментальная методика позволяет в процессе реального развертывания в автоматическом режиме снимать показания всех тензодатчиков, обрабатывать эти показания на компьютере, установить величину и характер распределения контактных давлений между инструментом и деталью в любой момент технологической операции. Полученные данные позволяют выявить конструкторско-технологические факторы, вызывающие неравномерность съема припуска, а, следовательно, и отклонения от заданной точности обрабатываемого отверстия.

**Выводы.** Представленная методика позволяет в процессе реального развертывания в автоматическом режиме снимать показания всех тензодатчиков, провести их обработку на ПК, установить величину и характер распределения контактных давлений между инструментом и деталью в любой момент технологической операции. Полученные данные позволяют выявить конструкторско-технологические факторы, вызывающие неравномерность съема припуска, а, следовательно, и отклонения от заданной точности обрабатываемого отверстия.

**Список использованных источников:** 1. Холмогорцев Ю.П. Оптимизация процессов обработки отверстий / Холмогорцев Ю.П. – М.: Машиностроение, 1984. – 184 с. 2. Джемилев Э.Ш. Повышение качества обработки конических отверстий алмазным хонингованием на основе исследования контактного взаимодействия инструмента с деталью: дис. канд. техн. наук / Джемилев Э.Ш. – Симферополь, 2010.

**Bibliography (transliterated):** 1. Holmogorcev Ju.P. Optimizacija processov obrabotki otverstij / Holmogorcev Ju.P. – М.: Mashinostroenie, 1984. – 184 s. 2. Dzhemilov Je.Sh. Povyshenie kachestva obrabotki konicheskikh otverstij almaznym honingovaniem na osnove issledovanija kontaktnogo vzaimodejstvija instrumenta s detal'ju: dis. kand. tehn. nauk / Dzhemilov Je.Sh. – Simferopol', 2010.