

М.М. Подгаецкий, К.К. Щербина
M.M. Podgaetskiy, K.K. Scherbina

Кировоградский национальный технический университет
Kirovograd National Technical University

ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ПРЕЦИЗИОННЫХ ОТВЕРСТИЙ УПРУГО-ВИНТОВЫМ ХОНОМ

FEATURES OF PROCESSING EXACT BORES OF CYLINDRICAL SPIRAL SPRING HONE

Рассмотрен процесс исправления геометрических отклонений в продольном сечении с помощью варьирования интенсивности снятия слоя припуска при изменении частоты осевой осцилляции на единицу длины обрабатываемого отверстия. Исследование процесса исправления происходит при хонинговании упруго-винтовым хонем. Выведена математическая модель площади снимаемого припуска в продольном сечении. Также выведена математическая модель, которая объединяет величину снимаемого припуска и частоту осевой осцилляции, на единицу длины обрабатываемого отверстия. Представлены результаты экспериментальной проверки адекватности математических моделей, на основе которых получена поверхность отклика, связывающая коэффициент исправляемости хонингуемых отверстий и наиболее важные параметры обработки, а именно частоту осевой осцилляции. Определены оптимальные значения входных параметров обработки, влияющих на процесс исправления геометрических отклонений.

Ключевые слова: упруго-винтовой хон, геометрические отклонения, частота осевой осцилляции, хонингование, припуск на обработку.

In article process of correction of geometrical deviations in a longitudinal section by means of a variation of intensity of removal of a layer of an allowance is considered at change of frequency of an axial oscillation of per unit length processed bore. Probe of process of correction happens at a honing of cylindrical spiral spring hone. The mathematical model of the area of a removed allowance in a longitudinal section is removed. The mathematical model which unites the size of a removed allowance and frequency of the axial oscillation, per unit length processed bore is also removed. Results of experimental check of adequacy of mathematical models on a basis which the surface of a response coordinating dependence of coefficient of a correct of honing bores from the most influential parameters of processing, namely frequencies of an axial oscillation is received are presented. Optimum values of input parameters of processing influencing process of correction of geometrical deviations are defined.

Keywords: cylindrical spiral spring hone, geometrical deviations, frequency of an axial oscillation, honing, allowance on processing.

Хонингование отверстий предусматривает повышение геометрической точности обрабатываемой поверхности в продольном и поперечном сечениях за счет исправления существующих отклонений. Следует отметить, что целе-

сообразно рассматривать процесс исправления геометрических отклонений в каждом сечении отдельно.

На исправление геометрических погрешностей в продольном сечении в большинстве случаев влияет изменение показателей процесса резания, среди которых наиболее весомыми в соответствии с работой [1, 2, 3] являются:

- контактное давление режущей части на обрабатываемую поверхность,
- частота и амплитуда осевой осцилляции.

Варьирование этих показателей должно обеспечить увеличение интенсивности процесса резания на участке, на котором проявляется геометрическая погрешность.

Для определения показателей, которые будут наиболее эффективно влиять на устранение геометрических отклонений в продольном сечении, необходимо уточнить их характер. Среди них выделим следующие [3]:

- макронеровности обрабатываемой поверхности (бочкообразность – рис. 1, а, седлообразность – рис. 1, б, и конусность – рис. 1, в).

Традиционные конструкции хонов (хонинговальных головок) [1, 2, 3] по ряду причин имеют проблемы с обеспечением точности и стабильности в регулировании радиального размера, в том числе:

а) конечным звеном регулирования является кинематическая пара трения скольжения;

б) оговоренная пара работает в условиях переходного процесса в зоне малых перемещений с наличием статического и кинематического трения [1, 2, 3];

в) оговоренные условия не обеспечивают точности регулирования размера, особенно при необходимости его уменьшения из-за самоторможения кинематической пары.

Более целесообразно проводить исследование процессов хонингования с использованием упруго-винтового хона (УВХ), который лишен указанных недостатков (рис. 2, б) [4].

В конструкции УВХ предусмотрена замена микроперемещений конечных звеньев, выполняемых кинематическими парами на микродеформации, выполняемые упругим элементом. Принцип функционирования УВХ заключается в использовании упругих деформаций, обеспечивающих стабильное регулирование радиального размера. При этом упругость осуществляется вдоль оси инструмента, сохраняя необходимую и достаточную радиальную жесткость.

Упруго-винтовой хон (см. рис. 2, б) состоит из упруго деформирующейся оболочке (УДО) 3, выполненной в виде полого цилиндра со сквозным замкнутым винтовым пазом в его теле. При этом на наружной цилиндрической поверхности, ограниченной упомянутым пазом, выполнены канавки для размещения алмазных брусков 4. Алмазные бруски 4 повторяют форму канавок, в которой они размещаются.

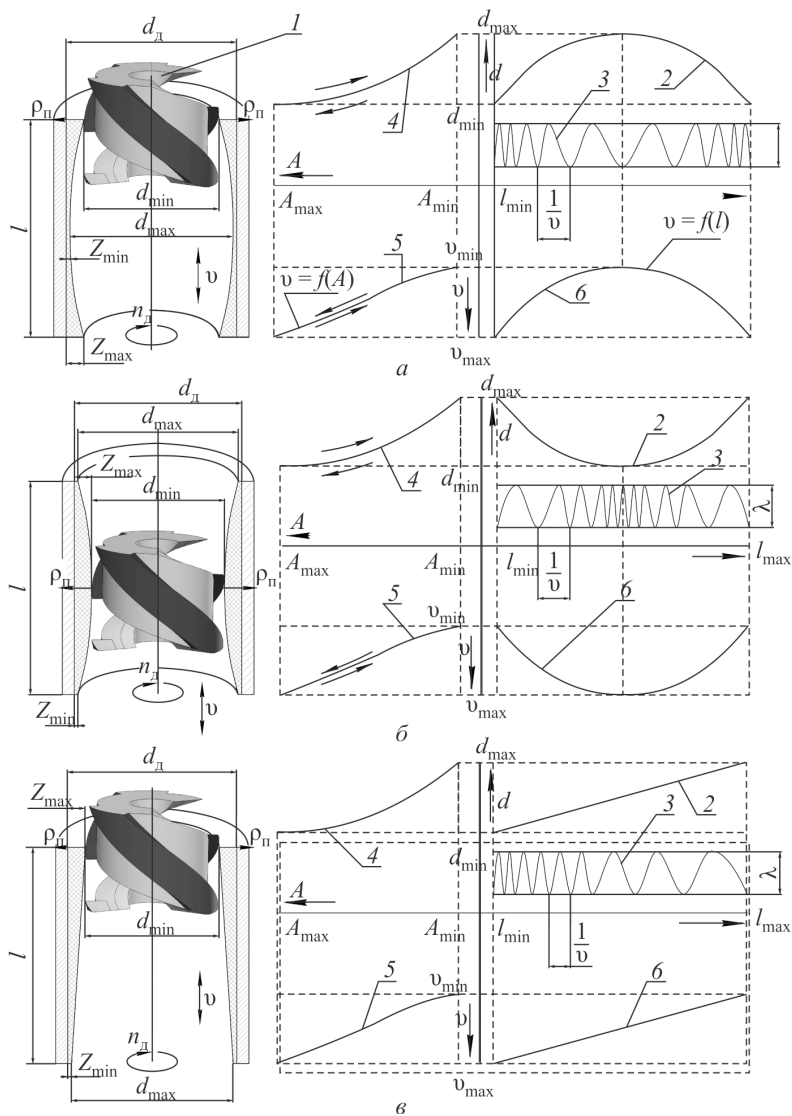


Рис. 1. Исправление макронеровности при хонинговании с использованием упруговинтового хона: *а* – исправление бочкообразности и силовой портрет; *б* – исправление седлообразности и силовой портрет; *в* – исправление конусности и силовой портрет; *l* – элемент УВХ; 2 – график зависимости диаметра от длина отверстия; 3 – изменения частоты осевой осцилляции; 4 – график зависимости удельной работы от диаметра отверстия; 5 – график изменения частоты осевой осцилляции от удельной работы; б – график изменения частоты осевой осцилляции по длине обрабатываемого отверстия; *l* – длина обрабатываемого отверстия; d_d – диаметр детали; d_{min} – минимальный диаметр отклонения; d_{max} – максимальный диаметр отклонения; v – частота осевой осцилляции; λ – амплитуда осевой осцилляции; ρ_n – контактное давление; n_d – частота вращения детали; z_{min} – минимальный припуск на обработку; z_{max} – максимальный припуск на обработку; A – удельная работа

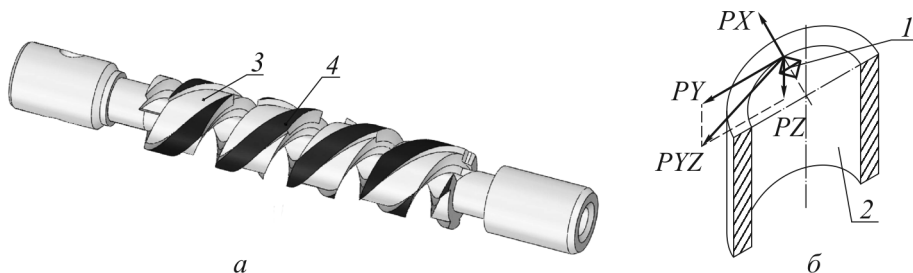


Рис. 2. Упруго-винтовой хон (а) и схема сил резания (б): 1 – алмазное зерно; 2 – обрабатываемая поверхность; 3 – упруго деформирующаяся оболочка; 4 – винтовой алмазный брусок; PX – радиальная сила резания; PY – тангенциальная сила резания; PZ – осевая сила резания; RYZ – равнодействующая сила резания от сил PY и PZ

Регулирование радиального размера осуществляется путем упругой деформации УДО 3 вдоль ее геометрической оси. При этом изменяется (увеличивается или уменьшается) ее размер в радиальном направлении.

Регулирование может осуществляться автоматически в процессе хонингования или посредством предварительной настройки на размер.

Теоретическая оптимизация процесса. Для определения оптимальных условий исправления макронеровностей в продольном сечении необходимо провести исследование с использованием метода прямой коррекции. Метод прямой коррекции – возможность алмазного или абразивного инструмента устранять существующие отклонения геометрической формы непосредственным воздействием на процесс управления интенсивностью съема припуска.

Необходимо увязать относительное значение величины припуска, который снимается в процессе обработки, и макронеровности в продольном сечении. Для этого выведем уравнение, которое будет характеризовать площадь поперечного сечения припуска S_{δ} , снимаемого в продольном сечении при обусловленных видах макронеровностей (см. рис. 1).

$$S_{\delta} = 0,5 \int_0^l \Delta d dl, \quad (1)$$

где l – длина детали, мм; Δd – приращение диаметра обрабатываемой поверхности, мм,

$$\Delta d = d_{\max} - d_{\min},$$

где d_{\min} – минимальное значение диаметра обрабатываемого отверстия, мм; d_{\max} – максимальное значение диаметра обрабатываемого отверстия, мм.

Для реализации условий хонингования методом прямой коррекции необходимо использовать формулу, связывающую частоту колебаний (численность колебаний на единицу длины обрабатываемого отверстия) с переменным

значением припуска. Для этого определим удельную работу резания A , затрачиваемую на удаление единицы припуска в соответствии с рис. 2:

$$A = \frac{\pi d_d}{9} k_1 \lambda RYZ, \quad (2)$$

где d_d – диаметр детали, мм; ν – частота колебаний движения осцилляции на единицу длины обрабатываемого отверстия, мин^{-1} ; k_l – коэффициент пройденной длины l за один оборот хонинговальной головки; λ – амплитуда колебаний движения осцилляции, мм; RYZ – равнодействующая сила резания от сил PY и PZ , Н (рис. 2, а).

Приравняем уравнение (1) к удельной работе и сведем уравнения (1) и (2) в систему:

$$\begin{cases} A = 0,5 \int_0^l \Delta d dl, \\ A = \frac{\pi d_d}{9} k_1 \lambda RYZ. \end{cases}$$

Из представленной системы уравнений выведем значение частоты осевой осцилляции:

$$\nu = \frac{\pi d_d \lambda k_l RYZ}{0,5 \int_0^l \Delta d dl}. \quad (3)$$

Другим фактором, влияющим на исправление отверстия, является оптимальность выбора длины режущей части хона. В соответствии с рекомендациями работы [3] можно принять, что длина режущей части хона приблизительно равна 1/3 длины обрабатываемого отверстия.

Рассмотрим схему взаимодействия между УВХ и обрабатываемым отверстием (см. рис. 1). В процессе обработки будет постоянно изменяться интенсивность работы УВХ, что связано с изменением величины припуска, который снимается в продольном сечении в соответствии с уравнением (1). Выполняется принцип распределения изменения частоты и амплитуды осевой осцилляции в процессе исправления макронеровностей.

Следует отметить, что мы можем варьировать лишь частоту осевой осцилляции, так как величина амплитуды жестко связана с исполнительным органом станка и не регулируется в процессе обработки.

На основе уравнения (3) построим силовой портрет зависимости частоты осевой осцилляции от изменения величины припуска, а именно значение изменения радиуса по длине обрабатываемого отверстия при макронеровностях в продольном сечении (см. рис. 1).

Экспериментальная проверка теоретических предположений проводилась в два этапа:

- предварительная серия экспериментов по определению наиболее удачных условий хонингования с варьированием зон изменения контактного давления в процессе обработки;

- окончательная серия экспериментов по наилучшему эксперименту из предварительной серии с варьированием двух наиболее важных параметров.

Параметры обрабатываемых отверстий до хонингования деталей обеих серий экспериментов представлены в таблице. Материал обрабатываемых деталей СЧ 20 ГОСТ 1412–85 НВ 170–241. Марка алмазного слоя винтовых брусков УВХ АС15 125/100, АС6 80/63, АСМ 40/28.

Результаты предварительной серии экспериментов представлены на рис. 3, а именно схема рассеяния размеров после обработки по триступенчатому циклу с динамическим колебанием давления в средней части рабочей ступени [1]. Оговоренный цикл обеспечивает минимальное поле рассеяния размеров по сравнению с другим стандартными циклами хонингования [1]. Большая часть деталей (93 шт.) находится в центре группирования.

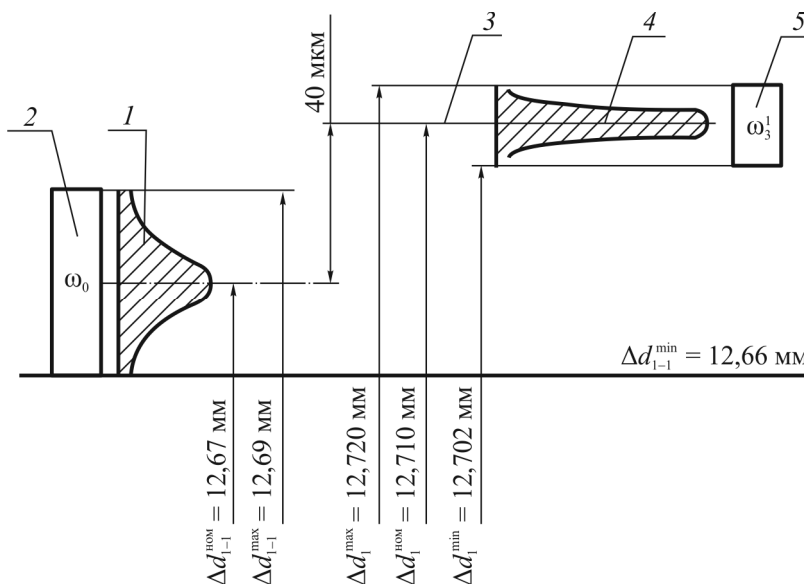


Рис. 3. Рассеяние размеров при обработке УВХ: 1 – поле рассеяния заготовки; 2 – поле допуска заготовки; 3 – линия смещения центра группирования; 4 – поле рассеяния детали; 5 – поле допуска детали

Данный цикл обеспечивает минимально возможный разброс в пределах 14–18 мкм отклонения от цилиндричности обрабатываемого отверстия.

Для проведения окончательной серии экспериментов будем использовать триступенчатый цикл с колебанием давления в средней части рабочей ступени [1].

Параметры обрабатываемых отверстий

Параметр		Обозначение	Единица измерения	Численное значение	Количество
Номинальные размеры обрабатываемого отверстия	Диаметр	d	мм	12,66	50
				12,67	180
				12,69	70
	Длина	l	мм	50	300
Геометрическое отклонение формы, компенсируемое припуском z	Б	$z_{\min} \dots z_{\max}$	мкм	12–30	25
				15–25	40
				19–24	35
	С			12–30	20
				15–25	40
				19–24	40
	К			12–30	50
				15–25	20
Среднее значение припуска		z	мкм	12	50
				20	150
				30	100

Примечание. Б – бочкообразность, С – седлообразность, К – конусность.

В окончательной серии опытов варьировались относительные факторы, в том числе:

– коэффициент приращения частоты осевой осцилляции K_1 , учитывающий необходимое приращение интенсивности съема в зоне увеличения припуска:

$$K_1 = \frac{v_n}{v_{\max}},$$

где v_n – номинальная частота осевой осцилляции; v_{\max} – максимальная частота осевой осцилляции;

– коэффициент предварительной погрешности K_2 , учитывающий рассеяние ее в пределах детали и компенсируемое припуском:

$$K_2 = \frac{z_{\min}}{z_{\max}},$$

где z_{\min} – минимальный припуск на обработку; z_{\max} – максимальный припуск на обработку.

За параметр оптимизации принят коэффициент исправляемости K_U , который учитывает изменение исходной погрешности в результате обработки.

$$K_U = \frac{\Delta d_{i-1}}{\Delta d_i},$$

где Δd_i – приращение диаметра окончательно обработанной детали:

$$\Delta d_i = d_{\max}^i - d_{\min}^i;$$

Δd_{i-1} – приращение диаметра до обработки:

$$\Delta d_{i-1} = 2(z_{\max} - z_{\min}).$$

В результате окончательной серии экспериментов была получена поверхность отклика (рис. 4).

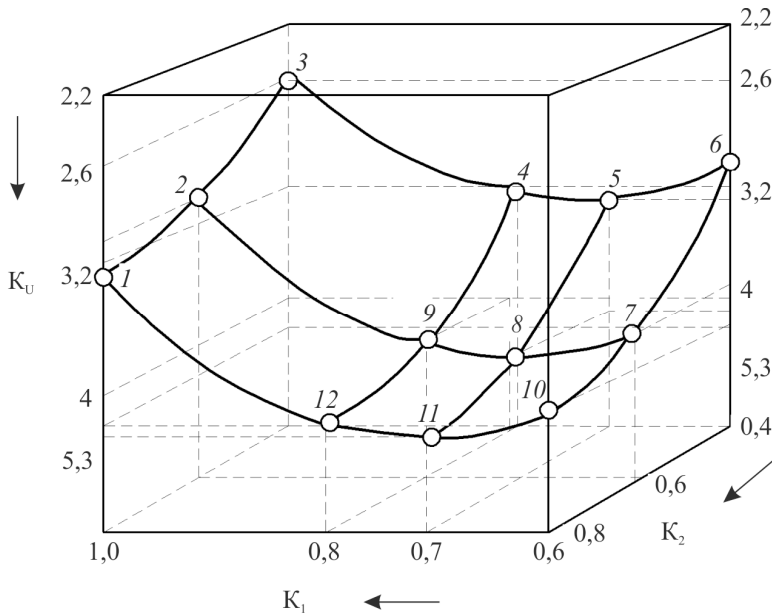


Рис. 4. Зависимость коэффициента исправляемости геометрии по преобладающему виду K_U от коэффициента K_1 и K_2

Представленная зависимость указывает на то, что величина предварительной погрешности коэффициента K_2 в значительной мере влияет на процесс исправления геометрических отклонений вне зависимости от изменения частоты осевой осцилляции коэффициента K_1 . Также следует отметить, что приращение частоты осевой осцилляции оказывает положительный эффект на исправление геометрических отклонений лишь до определенного значения. Дальнейшее приращение усугубит и так уже имеющееся геометрическое отклонение.

Поверхность отклика (см. рис. 4) будет определяться уравнением

$$K_U = 4,35K_1 + 2,672K_2 + 5,05K_1^2 - 8,35K_1K_2 - 14,78K_2^2 - 8,507.$$

Определено, что оптимальное значение коэффициентов $K_1 = 0,7$ и $K_2 = 0,8$, при которых коэффициент исправляемости геометрических отклонений по преобладающему виду K_U имеет максимальное значение.

Таким образом, теоретически обосновано, что оказывающими наибольшее влияние на исправление отверстий при хонинговании УВХ показателями являются:

- частота осевой осцилляции (ее приращение в зоне максимального значения погрешности);
- предварительная погрешность обрабатываемого отверстия.

Теоретически и экспериментально подтверждена адекватность зависимости частоты осевой осцилляции от величины снимаемого припуска. Экспериментально подтверждена стабильность регулирования радиального размера УВХ.

Список литературы

1. Прогрессивные методы хонингования / С.И. Куликов, Ф.Ф. Ризванов, В.А. Романчук, С.В. Ковалевский. – М.: Машиностроение, 1983. – 134 с.
2. Фрагин И.Е. Новое в хонинговании. – М.: Машиностроение, 1980. – 130 с.
3. Билик Ш.М. Макрогеометрия деталей машин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1973. – 344 с.
4. Патент України UA 101565. Інструмент для алмазної або абразивної обробки отворів. Бюл. № 7, 10.04.2013.

Получено 21.05.2013

Подгаецкий Михаил Матвеевич – кандидат технических наук, доцент, Кировоградский национальный технический университет (25006, Украина, г. Кировоград, Университетский пр., 8, e-mail: podgaetsky3@gmail.com).

Щербина Кирилл Константинович – аспирант, Кировоградский национальный технический университет (25006, Украина, г. Кировоград, Университетский пр., 8, e-mail: kir2912s@yandex.ru).

Podgaetskiy Michael Matveevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kirovograd National Technical University (25006, Ukraine, Kirovograd, Universitetsky av., 8, e-mail: podgaetsky3@gmail.com).

Scherbina Kirill Konstantinovich – Postgraduate Student, Kirovograd National Technical University (25006, Ukraine, Kirovograd, Universitetsky av., 8, e-mail: kir2912s@yandex.ru).