

УДК 621.91

Р. Г. КУДОЯРОВ

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ФОРМЫ И КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ АЛМАЗНОМ ХОНИНГОВАНИИ НА МЕХАТРОННЫХ СТАНКАХ

Приведены результаты исследования процесса формообразования отверстий деталей при алмазном хонинговании. Разработана структура мехатронного оборудования и предложен алгоритм управления процессом алмазного хонингования для изготовления деталей повышенного качества. Алмазное хонингование; точность формы отверстий деталей; стабильность шероховатости поверхности; мехатронное оборудование

ВВЕДЕНИЕ

Качество деталей в значительной степени определяется точностью формы и шероховатостью поверхности, обеспечиваемыми при изготовлении, и влияет на работоспособность и эксплуатационный ресурс изделий.

Показатели качества деталей во многом обусловлены технологией финишной обработки, в частности, алмазного хонингования. О существенной роли данного процесса в производстве свидетельствует его включение в типовые технологии изготовления ответственных деталей.

Возможности улучшения качества деталей при алмазном хонинговании с использованием базовой технологии ограничены из-за недостаточной изученности механизма формообразования, отсутствия соответствующего оборудования и необходимых алгоритмов управления. Поэтому решение вопросов повышения точности формы и качества поверхности деталей с учетом закономерностей процесса алмазного хонингования является актуальным.

1. ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В известных работах [1–5] рассмотрен ряд особенностей формообразования деталей при алмазном хонинговании и достижения требуемых показателей качества деталей. Наряду с этим распространенные рекомендации по назначению режима алмазного хонингования в недостаточной степени учитывают особенности резания алмазными брусками, влияние параметров кинематики процесса, показателей жесткости и точности применяемого

хонинговального оборудования на точность формы обработанных деталей.

В результате анализа существующих работ и проведенных исследований выдвинута гипотеза, заключающаяся в том, что показатели точности формы и качества поверхности деталей в значительной степени определяются формой брусков, которая зависит от распределения контурного давления на их рабочей поверхности и изменения производимой удельной работы. Неравномерность удельной работы и износа инструмента обусловлена расположением следов брусков относительно обрабатываемой поверхности и изменением съема металла под влиянием элементов режима обработки и параметров наладки станка. Эти факторы также существенно определяют производительность и себестоимость обработки.

Подтверждение данной гипотезы требует исследования закономерностей резания при алмазном хонинговании и формообразования деталей, что необходимо для разработки управляемого процесса алмазного хонингования.

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ АЛМАЗНЫМ БРУСКОМ

При моделировании учитывалось участие в резании большого количества зерен, хаотично расположенных на рабочей поверхности бруска, и их множественный контакт с обрабатываемой деталью. Износ отдельных зерен и связки алмазноносного слоя бруска сопровождается вскрытием новых зерен, что отражается на относительно стабильной режущей способности инструмента.

На участках рабочей поверхности алмазного бруска аналогично алмазному шлифованию [6] рассмотрен ряд пилообразных рабочих контуров (режущих лезвий) алмазных зерен. С учетом перекрытия режущих контуров и вероятности нахождения зерен в рабочей зоне определено изменение показателя их нагруженности ΣS_H по направлению движения бруска

$$\Sigma S_H = \sum_0^f \frac{a_{ac} h_n k_{pz} \mu_1^3}{k_{пк}}, \text{ мкм}^2, \quad (1)$$

где f — количество участков бруска с длиной $l = a_{ac}^2/b$, a_{ac} — среднее межцентровое расстояние между зернами, мкм; b — ширина канавки, образованной зерном; h_n — наиболее вероятная глубина внедрения зерна в обрабатываемый материал с учетом наплывов металла, мкм, принималась в виде удвоенного значения среднеарифметического отклонения R_a профиля поверхности детали при конкретных условиях обработки; k_{pz} — коэффициент, учитывающий попадание зерна в рабочую зону обработки с учетом его удержания в связке, $k_{pz} = 0,5R/a_{ac}$, R — радиус сферы, описанной относительно зерна, мкм; μ_1 — коэффициент, учитывающий расположение зерен в рабочей зоне, определяется с учетом колебаний их межцентрового расстояния на рабочей поверхности бруска по результатам измерений, $\mu_1 = a_{ac \min}/a_{ac \max}$.

Толщина срезаемого слоя металла по направлению движения определяется выражением

$$t_{mx} = \sum_0^f \frac{h_n k_{pz} \mu_1^3 u}{2f \mu_2}, \text{ мкм}, \quad (2)$$

где u — коэффициент, учитывающий пластическую деформацию обрабатываемого материала, находится как отношение площадей сечений металла, удаленного и вытесненного участком бруска.

Исследование процесса резания алмазным бруском также проводилось на экспериментальном стенде, включающем поперечно-строгальный станок, тензометрический стол, усилитель, осциллограф и оправку с нагрузочным устройством для установки бруска. Обработке подвергались образцы с доведенной поверхностью и с шероховатостью, соответствующей установившемуся значению при алмазном хонинговании. Показатель нагруженности зерен бруска и толщина срезаемого слоя металла определялись с помощью профилограмм поверхности образца в

различных сечениях, перпендикулярных направлению движения, на различном удалении от положения встречной кромки бруска в момент окончания обработки. На основании анализа доверительной оценки установлено, что отклонения экспериментальных данных от значений, рассчитанных по формуле (2), находятся в пределах 8%.

В результате исследований уточнено влияние давления на толщину срезаемого слоя металла, при этом формула (2) представлена в виде

$$t_{mx} = C p^w x^q, \quad (3)$$

где p — номинальное давление, x — расстояние на рабочей поверхности от его встречной кромки до рассматриваемого сечения (мм).

Например, применительно к обработке детали из сплава АЛ9 алмазным бруском с характеристикой АСОББЗ-100% при получении поверхности с шероховатостью $R_a = 1$ мкм, $C = 0,064$, $w = 0,26$, $q = 0,49$. Для реального процесса алмазного хонингования при дифференцировании функции t_{mx} по x с учетом угла подъема траектории движения инструмента α определяется изменение толщины срезаемого слоя металла поверхностью бруска по его ширине $b_{бр}$, так как $x = b_{бр}/\cos \alpha$. При значении $\alpha = 45^\circ$ наибольшей работоспособностью характеризуется участок бруска шириной $6 \div 8$ мм.

Установленные закономерности учитывались при определении контурного давления, действующего на рабочую поверхность брусков, и анализе формообразования детали при алмазном хонинговании.

3. ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ УСЛОВИЙ ХОНИГОВАНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ

К основным условиям относятся: схема хонингования, точность и жесткость станка, элементы режима обработки и параметры наладки.

Наиболее существенное влияние на формообразование детали оказывают динамические силы, возникающие при вращении шпинделя. Поэтому при высоких требованиях к форме и качеству поверхности деталей целесообразно обеспечение повышенной точности движения шпинделя, совершающего вращательное и возвратно-поступательное движение, или применение схем с отдельным движением, например, с вращением

шпинделя и возвратно-поступательным движением обрабатываемой детали. От точности движения оси базирующей поверхности шпинделя и наладки станка зависит величина поперечной силы, консольно действующей на рабочую часть инструмента при хонинговании [3], и неравномерность распределения контурного давления по длине брусков.

Для хонинговальных станков с различными компоновками (мод. ЗР84 и ЗК83) проанализированы факторы, оказывающие влияние на комплексные показатели точности движения шпинделя: суммарное отклонение базирующей поверхности шпинделя и угол поворота ее оси с учетом действующих сил. Влияние хонинговального станка на точность формы обработанных деталей определялось в виде радиального отклонения оси рабочей поверхности инструмента с помощью специальной измерительной стойки. Увеличение радиальных отклонений брусков с течением времени обработки обусловлено их неравномерным износом под влиянием действующих сил и отклонениями формы обработанных деталей.

Установлено, что достигаемые показатели точности формы и стабильность шероховатости поверхности деталей при алмазном хонинговании в значительной степени определяются распределением следов брусков относительно обрабатываемой поверхности. При ограниченной длине хода шпинделя и совпадении следов брусков в некоторых местах поверхности детали появляются впадины, а в других остаются необработанные участки.

Учет и управление распределением следов брусков возможны при обеспечении точной траектории движения, что требует применения хонинговального оборудования с автоматическим управлением. На основе анализа возможных вариантов расположения следов хонинговальных брусков относительно обрабатываемой поверхности детали разработана их классификация [8]. К характеристикам распределения следов брусков относятся наименьшие относительные смещения их положений во время переходов деления и соответствующие им числа двойных ходов шпинделя. Данные характеристики зависят от диаметра и длины обрабатываемой поверхности детали, размеров применяемых брусков и их количества в хонинговальной головке, длины хода, а также скоростей вращения и возвратно-поступательного движения шпинделя [8].

Для управления формообразованием детали процесс распределения следов брусков

должен включать этапы, характеризующиеся равномерным делением обрабатываемой поверхности, каждый из которых состоит из повторяющихся переходов. На основе представления числа в канонической форме [9] предложена рациональная схема равномерного деления обрабатываемой поверхности следами брусков. Структура этапов и переходов деления в данном случае определяются с учетом формулы $k = ek_n^m$, где k — общее количество двойных ходов шпинделя при обработке детали, e — число повторяющихся этапов деления, m — число переходов деления с одинаковым количеством (учитывается целое значение) двойных ходов k_n .

Наличие повторяющихся этапов деления позволяет их использовать для контроля съема металла и автоматического управления давлением брусков в процессе хонингования деталей.

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛИ ПРИ АЛМАЗНОМ ХОНИГОВАНИИ

Форма обработанной поверхности характеризуется радиальными отклонениями от цилиндрической поверхности. Модель формообразования, разработанная на основании предложенной гипотезы, включает систему моделей. При их разработке учитывались: повышенная жесткость деталей и инструмента, обеспечение равномерной деформации деталей при зажиме, устранение отклонений отверстий за счет исправляющих свойств инструмента, перебега брусков и задержки хода шпинделя. К особенностям моделирования относится учет основных функциональных связей с помощью коэффициентов, определяемых расчетным путем.

Модель съема металла имеет вид интегральной функции объема металла, срезаемого на участках обрабатываемой поверхности, в зависимости от параметров, характеризующих условия обработки деталей,

$$V_{l\varphi} = \int_{l_i}^{l_{i+1}} \int_{\varphi_j}^{\varphi_{j+1}} [n_2 T_{\text{хон1}} k_{\text{ж}} (2t_{b1i} + t_{b2i} z n_1 T_{\text{зд}i} k_{\text{зд}})] \times \\ \times k_{\text{н}} dl d\varphi, \text{ мкм}^3, \quad (4)$$

где n_1 — частота вращения шпинделя (об/мин), n_2 — число двойных ходов шпинделя (мин); $T_{\text{хон1}}$ — время хонингования без учета задержек хода (мин); $T_{\text{зд}i}$ — время задержки при одном двойном ходе шпинделя (мин); $k_{\text{ж}}$ — коэффициент, учитывающий влияние

жесткости детали и инструмента в обобщенном виде; t_{b1} и t_{b2} — толщина срезаемого слоя металла при одном ходе шпинделя и при одном его обороте во время задержки (мкм), определяются по формуле (3) для конкретного варианта обработки, $k_{зд}$ — коэффициент изменения съема металла во время задержки хода, $k_{н}$ — коэффициент неравномерности съема металла в обобщенном виде; l и φ — координаты участка поверхности отверстия детали.

Толщина срезаемого слоя металла с учетом перекрытия хода брусков и изменения контурного давления в зависимости от координат l и φ определяется по формуле

$$t_{l\varphi} = C_0 n_2 T_{хон1} k_{ж} \times \\ \times \left[(2pk_{ди} k_{пби} k_{пхи})^w \left(\frac{b_{бр} k_{пхи}}{\cos \alpha} \right)^q k_3 k_{\varphi} + \right. \\ \left. + (pk_{дj} k_{пбj})^w b_{бр}^q z n_1 T_{здj} k_{зд} \right], \text{ мкм, (5)}$$

где p — номинальное давление, МПа; i — порядковый номер поперечного сечения обрабатываемого отверстия, для которого находятся значения коэффициентов, учитывающие влияние: $k_{ди}$ — динамических нагрузок при хонинговании; $k_{пби}$ — длины перебега бруска; $k_{пхи}$ — перекрытия хода брусков; $k_{пхи}$ — распределения контурного давления на рабочей поверхности брусков [8]; k_3 — неравномерности съема металла по длине на участке $l_y \leq b_{бр} \operatorname{tg} \alpha$ в связи с различной работой зерен в направлении движения, где k_{φ} — коэффициент распределения следов брусков по окружности обрабатываемого отверстия. Индексом j обозначены коэффициенты для участков поверхности детали, обрабатываемых с задержкой хода.

В формуле (5) коэффициент $k_{н}$ представлен в виде ряда коэффициентов, которые учитывают неравномерность съема металла в поперечных сечениях по длине обрабатываемой поверхности детали — $k_{ди}$, $k_{дj}$, $k_{пби}$, $k_{пбj}$, $k_{пхи}$, $k_{пхди}$, k_3 , $k_{зд}$, и по окружности — k_{φ} .

При усовершенствовании технологического процесса определение постоянного коэффициента C_0 производится с помощью формулы (5) с учетом снимаемого припуска, в зависимости от жесткости детали, инструмента, отклонений исходной формы обрабатываемой поверхности и средних значений указанных коэффициентов.

Дополнительное давление брусков $p_{дj}$ под действием поперечной силы P_n , консольно действующей на рабочую часть инструмента,

определяется по формуле

$$p_{дj} = \frac{P_n k_{пбj}}{k_z \Sigma S_{бр}}, \quad (6)$$

где $k_{пбj}$ — коэффициент, учитывающий изменение давления на участке бруска под влиянием перебега; k_z — коэффициент участия брусков в съеме металла под действием динамических сил, определяется в виде отношения проекции рабочей площади брусков в направлении действующей силы и полной площади брусков; $\Sigma S_{бр}$ — суммарная площадь рабочей поверхности брусков; например, при количестве брусков в хонинговальной головке $z = 4$ $k_z = 0,25 \div 0,35$, при $z = 6$ $k_z = 0,27 \div 0,3$.

Коэффициент, учитывающий изменение контурного давления на рабочую поверхность бруска под действием динамических сил, $k_{ди} = 1 + (p_{дj}/p)$. Коэффициент, учитывающий перекрытие хода брусков, $k_{пхи} = l_i z / (\pi d_o \operatorname{tg} \alpha)$, где l_i — длина участка бруска, d_o — диаметр обрабатываемого отверстия детали. Наибольшее значение данный коэффициент достигает при $l_i = l_{бр}$. Перекрытие хода брусков оказывает влияние на изменение толщины срезаемого слоя металла участками рабочей поверхности бруска и перераспределение контурного давления по длине обрабатываемой поверхности детали.

Коэффициент неравномерности съема металла по длине обрабатываемой поверхности на участке $l_y \leq b_{бр} \operatorname{tg} \alpha$ определяется в виде $k_3 = l_y / b_{бр} \operatorname{tg} \alpha$. Коэффициент k_{φ} неравномерности расположения следов брусков определяется в пределах зоны обрабатываемой поверхности шириной $a = \pi d_o / z$ по формуле

$$k_{\varphi} = \sin(\varphi k_c), \quad (7)$$

где φ — угловая координата рассматриваемого участка поверхности; q — коэффициент, определяющий зону сгущения следов брусков при положительных значениях функции, $k_c = \pi / \varphi_c$, φ_c — угол зоны сгущения следов брусков на участке шириной a .

Для определения характера износа брусков в качестве показателя их нагруженности целесообразно использование контурного давления, распределение которого на рабочей поверхности зависит от съема металла под влиянием элементов режима резания, точности и жесткости станка, а также параметров наладки.

При условии реализации исправляющих свойств инструмента устанавливалось влияние действующих сил и расположения сле-

дов брусков на неравномерность распределения давления, оказываемого на обрабатываемую поверхность детали.

Расчетное значение толщины срезаемого слоя металла участком бруска при одном ходе с учетом задержки определяется по формуле

$$t_{bj} = C_1 \left[(pk_{dj}k_{пбj}k_{пхбj})^w \left(\frac{b_{бр}k_{пхj}}{\cos \alpha} \right)^q + (pk_{dj}k_{пбj})^w (l_{бр})^q T_{зд1}k_{зд} \right], \text{ мкм.} \quad (8)$$

С учетом деформации поверхности детали δ_j справедливо соотношение коэффициентов $k_{пхб1} : k_{пхб2} : k_{пхб3} : \dots : k_{пхбс} = \delta_1 : \delta_2 : \delta_3 : \dots : \delta_c$, так как $\delta_j = mp_j$, где m — коэффициент контактной податливости, $p_j = p_c k_{пхбj}$, где p_c — среднее контурное давление. Коэффициенты $k_{пхбj}$ для участков бруска находятся аналогично коэффициентам $k_{пхби}$, определяемым для сечений поверхности детали.

Контурное давление, действующее на участок бруска, определялось по формуле

$$p_j = pk_{dj}k_{пбj}k_{пхбj}, \quad (9)$$

где p — средняя величина устанавливаемого номинального давления.

Для алмазного хонингования типовых деталей со сквозным и глухим отверстиями моделирование нагруженности хонинговального бруска позволяет установить различия в распределении контурного давления по его длине. Например, при обработке поверхности глухого отверстия типовой детали ($d_o = 65$ мм, $l_o = 220$ мм, $l_{бр} = 100$ мм) неравномерность расчетного контурного давления в сравнении с хонингованием сквозного отверстия повышается в 1,2 раза, что отражается на характере износа инструмента и приводит к снижению точности формы детали.

Ожидаемые радиальные отклонения профиля обработанной поверхности детали определялись с учетом неравномерности износа хонинговальных брусков по их высоте на основании анализа показателей работы. Учитывалось, что при резании металла основная часть производимой работы изменяется пропорционально силе резания. В качестве критерия износа принималось изменение относительной удельной работы при съеме металла участком бруска j с площадью рабочей поверхности F_y .

Удельная работа за время цикла хонингования определялась по формуле

$$A_j = 10^{-3} \cdot \Sigma \left\{ n_2 T_{хон1} f \left[\frac{2l_1 F_y p_{1j}}{\sin \alpha} + F_y \pi d_o n_1 (p_2 T_{зд1} + p_3 T_{зд2}) \right] \right\}, \text{ Дж,} \quad (10)$$

где p_{1j} — контурное давление, действующее на участки бруска при возвратно-поступательном движении шпинделя, p_2 и p_3 — контурное давление, действующее на брусок при задержках хода шпинделя в нижнем и верхнем положениях, f — коэффициент трения бруска и обрабатываемой поверхности, $T_{зд1}$, $T_{зд2}$ — время задержки хода в верхнем рабочем положении инструмента и в нижнем, мин.

Средняя величина удельной работы, выполняемой бруском в течение времени цикла, соответствует $A_{ср} = (1/l_{бр}) \int_1^n A_j dA_j$. Неравномерность относительной удельной работы определялась в виде $\Delta A_j = \frac{A_{j\max} - A_j}{A_{ср}}$. Данные показатели позволяют определить расчетную величину неравномерности износа участков бруска за цикл хонингования детали

$$\delta_{брj} = \Delta A_j \Delta_{ac} k_{ни}, \quad (11)$$

где Δ_{ac} — величина среднего износа брусков по высоте; $k_{ни}$ — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения давления по длине обрабатываемой поверхности детали.

Ожидаемое наибольшее отклонение профиля в продольном сечении обработанной поверхности

$$\delta_e = \Delta A_{\max} \Delta_{ac} k_{ни} k_{дет}, \quad (12)$$

где e — порядковый номер обработанной детали; $k_{дет}$ — количество деталей, обработанных комплектом брусков после правки.

Количество деталей $k_{дет}$, которое можно обработать инструментом за период между правками хонинговальных брусков, определялось с учетом допустимого отклонения профиля $\delta_{доп}$ в продольном сечении детали

$$k_{дет} = \frac{\delta_{доп}}{\Delta A_{\max} \Delta_{ac} k_{ни}}. \quad (13)$$

Для уменьшения отклонений профиля поверхности отверстий деталей необходимо обеспечение равномерности работы, выполняемой участками брусков, или уменьшение

количества деталей, обрабатываемых между правками инструмента, что связано с увеличением расхода алмазов. При алмазном хонинговании в случае, если нарушается точность деления обрабатываемой поверхности следами брусков и происходит переход к режиму неполного деления, возможно существенное снижение точности формы профиля детали.

Модель формообразования деталей при алмазном хонинговании, характеризуемая формулами (4), (5), (9), (10) и (12), реализована в виде электронных таблиц Microsoft Excell и применена для определения рациональных режимов резания и параметров наладки станка.

Результаты исследований показали, что влияние скоростей вращения и возвратно-поступательного движения шпинделя на неравномерность работы, производимой рабочей поверхностью брусков, и точность формы обработанных деталей может оцениваться в продольном направлении с помощью коэффициента, учитывающего степень перекрытия хода $k_{пх\max}$, а по окружности — с помощью коэффициента k_{φ} , характеризующего неравномерность деления обрабатываемой поверхности следами брусков. Уменьшение коэффициента перекрытия хода по сравнению с обычно используемыми значениями до величин $k_{пх\max} = 2 \div 3$ приводит к более равномерному распределению контурного давления и производимой работы по длине брусков.

Изменение перебега брусков оказывает влияние на значения коэффициентов $k_{пб}$, k_d и $k_{пхср}$ в зависимости от длины инструмента. Повышенная стойкость формы брусков и точность формы обработанных деталей обеспечиваются при величинах перебега брусков в пределах $(0,25 \div 0,33) l_{бр}$, что соответствует нижним значениям известных рекомендаций.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований позволили подтвердить гипотезу о формообразовании деталей при алмазном хонинговании и установить зависимость удельной работы, производимой по длине брусков, от условий обработки и ее влияние на показатели качества деталей.

5. ПОСТРОЕНИЕ УПРАВЛЯЕМОГО ПРОЦЕССА АЛМАЗНОГО ХОНИГОВАНИЯ

Разработанная методика предусматривает:

1) определение цели и задач. Для достижения повышенных показателей качества деталей разработки технологического процесса

и мехатронного оборудования должны проводиться с учетом установленных закономерностей формообразования при условии обеспечения требуемой производительности и наименьшей себестоимости обработки;

2) использование в качестве основы действующих технологических процессов алмазного хонингования (учет характеристик брусков, состава СОТС, возможных пределов изменения элементов режима резания, влияния жесткости деталей и инструмента, а также исходных отклонений формы обрабатываемой поверхности деталей при выборе некоторых параметров наладки станка);

3) анализ предложенной модели формообразования применительно к обработке конкретных деталей в целях уточнения влияния элементов режима хонингования и параметров наладки. В качестве условия осуществления процесса обработки, соответствующего достижению повышенных показателей качества деталей, целесообразно обеспечение равномерности удельной работы, производимой поверхностью брусков;

4) уменьшение влияния действующих сил на показатели качества деталей за счет повышения жесткости и точности станков, инструментов и применения зажимных приспособлений, обеспечивающих наименьшую и равномерную деформацию обрабатываемых деталей при их закреплении;

5) управление радиальной подачей брусков на этапах деления обрабатываемой поверхности их следами с целью обеспечения требуемого съема металла за расчетное число двойных ходов шпинделя;

6) определение необходимых функциональных подсистем оборудования с учетом предложенной классификации [7], разработка структуры хонинговального станка и алгоритмов управления.

Данная методика применима при разработке технологических процессов алмазного хонингования деталей повышенной жесткости с диаметрами отверстий $d_{отв} = 20 \div 120$ мм и с длиной $l_{отв} \leq 300$ мм.

Для алмазного хонингования глухих отверстий деталей ($d_{отв} = 85$ мм, $l_{отв} = 145$ мм) проведено уточнение условий обработки на станке с ЧПУ, созданном на ОАО «Стерлитамак М. Т. Е.». Структура данного станка состоит из трех модулей: модуля главного вращательного движения, модуля главного поступательного движения и специального модуля радиальной подачи. На основе разработанной методики в алгоритм управления про-

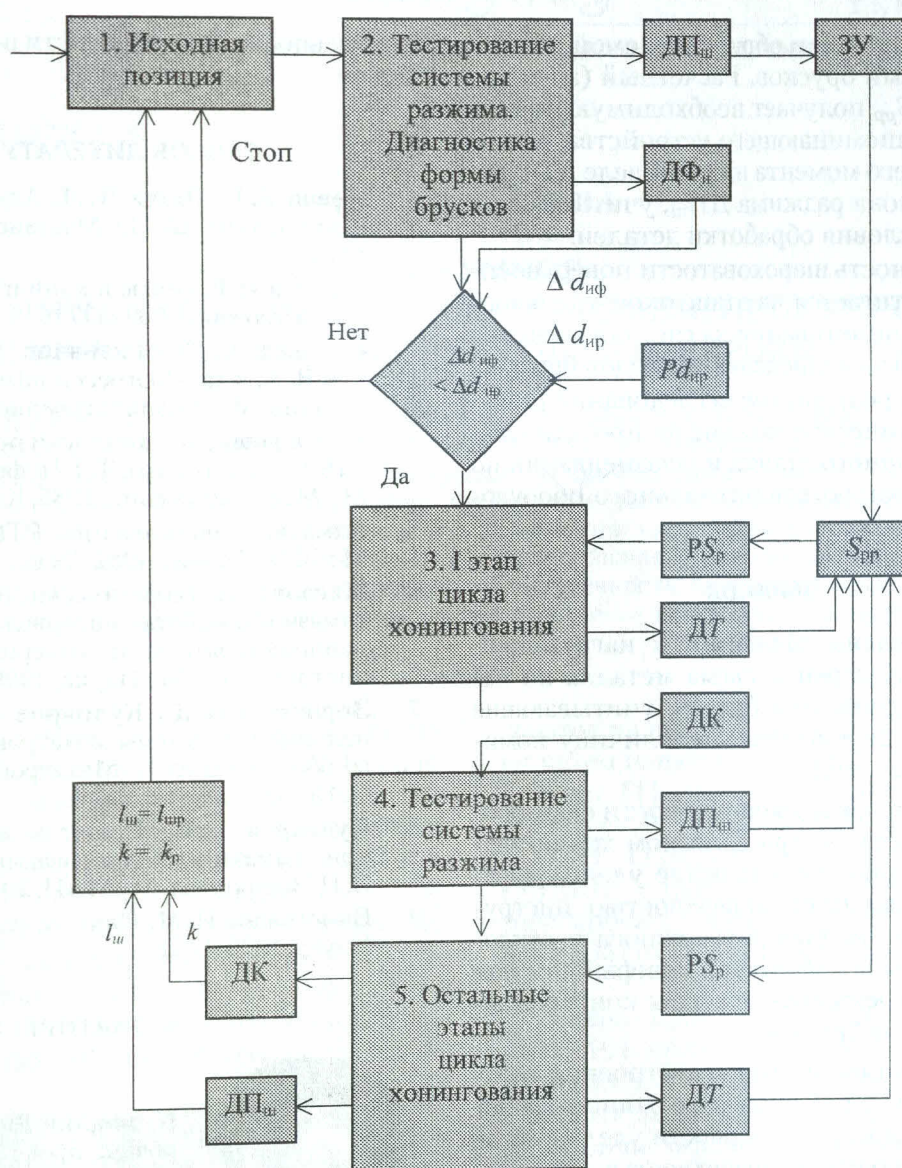


Схема алгоритма управления работой станка: $S_{пр}$, $d_{шр}$ — расчетные блоки радиальной подачи и формы инструмента; PS_p — регулятор подачи брусков и партии деталей $ДТ$, $ДП_{ш}$, $ДК$ — датчики крутящего момента на шпинделе, положения штока разжима и количества двойных ходов; $\Delta d_{шр}$, $\Delta d_{шф}$, k_p , k , $l_{шр}$, $l_{ш}$ — расчетные и фактические значения неравномерности формы инструмента, количества двойных ходов шпинделя и положения штока разжима

пессом включены расчетные блоки определения скоростей вращения и возвратно-поступательного движения шпинделя. При этом по сравнению с алмазным хонингованием аналогичных деталей на оборудовании с гидроприводом повышается точность формы деталей в 2 раза и снижается расход алмазов на 50%.

На основании результатов исследования разработаны функциональные подсистемы мехатронного хонинговального станка [8], необходимые для достижения точности формы отверстий данной типовой детали в пределах 0,005 мм. Функциональные подсисте-

мы обеспечивают изменение величин перебега брусков и скорости возвратно-поступательного движения с учетом исходных отклонений формы деталей, имеющих систематический характер. Модуль радиальной подачи отличается от станка с ЧПУ подсистемой изменения подачи брусков, учитывающей величину необходимого съема металла при обработке каждой детали. В разработанном алгоритме управления (на рис. показана схема его основной части) за счет управления подачей предусмотрено обеспечение требуемого съема металла на этапах цикла, характеризующих-

ся точным делением обрабатываемой поверхности следами брусков. Расчетный (адаптивный) блок S_{pp} получает необходимую информацию от запоминающего устройства, датчиков крутящего момента на шпинделе ДТ и положения штока разжима ДПШ, учитывающих реальные условия обработки деталей.

Стабильность шероховатости поверхности деталей достигается на этапе окончательного алмазного хонингования за счет обеспечения необходимого распределения следов брусков.

С учетом результатов исследований разработаны техническое задание на проектирование мехатронного станка и рекомендации по конструированию хонинговального оборудования.

ВЫВОДЫ

1. Определены зависимости нагруженности режущих зерен и съема металла по направлению движения бруска, учитывающие длину пути перемещения и величину номинального давления.

2. Установлены закономерности формообразования деталей при алмазном хонинговании, определяющие изменение удельной работы, производимой поверхностью инструмента, неравномерность его износа и отклонения формы обработанной поверхности под влиянием перекрытия режущих контуров зерен и участков брусков.

3. Разработана методика построения управляемого процесса алмазного хонингования для достижения равномерности удельной работы, производимой поверхностью брусков, повышения стойкости формы инструмента и показателей качества деталей.

4. Разработаны структура мехатронного станка с функциональными подсистемами и алгоритм управления, обеспечивающие достижение повышенной точности формы и

стабильности шероховатости поверхности деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левин Б. Г., Пятов Я. Л. Алмазное хонингование отверстий. Л.: Машиностроение, 1969. 112 с.
2. Фрагин И. Е. Новое в хонинговании. М.: Машиностроение, 1980. 237 с.
3. Куликов С. И., Ризванов Ф. Ф., Романчук В. А. и др. Прогрессивные методы хонингования. М.: Машиностроение, 1983. 135 с.
4. Справочник по технологии резания металлов / Под ред. Г. Шпура, Т. Штеферле; Пер. с нем. М.: Машиностроение, 1985. Кн. 2. 688 с.
5. Алмазное хонингование. РТМ 2 Н83-50-82. М.: ВНИИАлмаз, 1982. 29 с.
6. Маслов Е. Н. Теоретические основы процесса алмазной обработки материалов // Обработка машиностроительных материалов алмазным инструментом. М.: Наука, 1996. С. 14–29.
7. Зориктуев В. Ц., Кудояров Р. Г. Функциональные подсистемы мехатронного станочного оборудования // Мехатроника. 2001. № 7. С. 10–13.
8. Кудояров Р. Г. Точность деталей машин при алмазном хонинговании / Под ред. В. Ц. Зориктуева. М.: МАИ, 2002. 170 с.
9. Виноградов И. М. Основы теории чисел. М.: Наука, 1972. 176 с.

ОБ АВТОРЕ



Кудояров Ринат Габдулхакович, проф. каф. автоматизир. технологическ. систем. Дипл. инж.-механик (УАИ, 1963). Д-р техн. наук по технологиям и оборудованию механич. и физ.-техн. обработки (УГАТУ, 2003). Иссл. в обл. мехатронных станочных систем.