

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ШТОКОВ ХОНИНГОВАНИЕМ

**В. И. Савчук**, канд. техн. наук;

**Е. Н. Бакус**,

*Сумский государственный университет, г. Сумы*

*Предложена схема наружного хонингования с жёсткой кинематической связью между брусками и самотормозящимися звеньями для исправления погрешности формы поверхности в поперечном сечении штока.*

**Ключевые слова:** хонингование, обрабатываемая поверхность, погрешность, самотормозящиеся звенья.

*Запропонована схема зовнішнього хонінгування із жорстким кінематичним зв'язком поміж брусками та самогальмувальними ланками для виправлення похибки форми поверхні у поперечному перерізі штока.*

**Ключові слова:** хонінгування, оброблена поверхня, похибка, самогальмувальні ланки.

На предприятиях, изготавливающих шаровые краны, запорную аппаратуру, в качестве операции для обработки поверхностей штоков под последующее хромирование применяется круглое наружное шлифование на проход. Анализ показывает, что более 60% поверхностей штоков, обработанных на этой операции, имеют невыведенную погрешность формы в поперечном и продольном сечении, дефекты поверхности в виде отдельных царапин, окалины, задигов. Это отрицательно сказывается на работе изделия, снижая его надёжность и долговечность. Основным недостатком операции круглого шлифования является высокая температура в зоне резания, которая приводит к локальному пригоранию поверхности и, как следствие, изменению структуры поверхностного слоя [1]. Обработанная шлифованием поверхность не является износостойкой и не обеспечивает требуемого качества слоя, покрытого хромом диффузионным методом. Устранить существующие недостатки требуемого качества поверхности под последующее хромирование можно методом наружного хонингования. Для этого необходимо разработать схему повысить точность формы поверхности штока.

Рассмотрим возможность исправления погрешности геометрической формы штока хонингованием при различных схемах его осуществления. Представим продольное сечение обрабатываемой цилиндрической поверхности как некоторую реализацию случайной функции, представляющую собой совокупность различных гармоник со случайными амплитудами и фазами. Текущий радиус  $r(\varphi)$  обрабатываемой поверхности штока представляется в виде частной суммы тригонометрического ряда Фурье:

$$r(\varphi) = r_0 + \sum_{k=1}^{C_H} A_k \cdot \cos(k\varphi + \psi_k), \quad (1)$$

где  $r_0$  - средний радиус обрабатываемой поверхности;

$A_k$  - случайная амплитуда неровности  $k$  - гармоники;

$C_H$  - минимальная частота гармоники в продольном сечении обрабатываемой поверхности штока, включая ее микронеровности.

Выражение (1) представляет собой стационарную случайную функцию, реализацией которой является произвольное сечение обрабатываемой поверхности. В работах [2, 3] показано, что корреляционная функция и дисперсия функции (1) имеют следующие выражения:

$$K(\varphi_1\varphi_2) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{C_H} (A_{ok}^2 + \sigma_{ok}^2) \cos k(\varphi_2 - \varphi_1);$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{C_H} (A_{ok}^2 + \sigma_{ok}^2), \quad (2)$$

где  $A_{ok}^2, \sigma_{ok}^2$  – соответственно математическое ожидание и дисперсия амплитуд неровностей  $k$ - гармоника.

Обычно погрешности геометрической формы изделия (овальность, эксцентриситет) соответствуют однопараметрическому закону Релея, а распределение случайных фаз  $\varphi_k$  гармоник подчиняется закону равной вероятности [3, 4]. Тогда дисперсия (2) случайной функции (1) будет равна

$$\sigma^2 = 0,64 \sum_{k=1}^{C_H} A_{ok}^2. \quad (3)$$

В процессе обработки брусков контактирует с изделием диаметром  $D_H$  на длине  $L$ . Характер исправления погрешностей геометрической формы будет зависеть от шага неровностей, составляющих эти погрешности. Неровности, образованные гармониками с шагом

$$l_k = \frac{\pi D_H}{k} \leq L, \quad (4)$$

контактируют с рабочей поверхностью бруска только своими вершинами. Поэтому эти неровности будут устраняться независимо от того, прижимается ли брусок к обрабатываемой поверхности с постоянной силой или перемещается с постоянной скоростью. Если брусок прижимается с постоянной силой, то неровности, образованные гармониками, удовлетворяющими неравенству (4), будут равномерно удаляться со всей поверхности. Распределение неровностей с шагом, меньшим длины бруска, соответствует нормальному закону распределения с дисперсией

$$\sigma_{(l_k < L)}^2 = 0,64 \sum_{k=\pi D_H/L}^{C_H} A_{ok}^2. \quad (5)$$

В таком случае опорная поверхность профиля, составленного этими неровностями, будет равна

$$\eta = \frac{1}{\sigma_{(l_k \leq L)} \sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-\frac{r-r_0}{2\sigma_{(l_k \leq L)}}} dr, \quad (6)$$

Где  $x$  - расстояние от средней линии профиля микронеровностей, образованных гармониками с шагом  $l_k \leq L$ .

При обработке с постоянной силой прижима бруска к изделию через упругие кинематические звенья гармоники неровностей с шагом

$$l_k = \frac{\pi D_H}{k} > L \quad (7)$$

устраняться не будут, так как давление бруска на выступах и во впадинах неровностей постоянно. Устранение исходных неровностей геометрической формы изделия с шагом, большим длины контакта бруска с изделием (7), возможно, если брусок подается на обрабатываемую поверхность с постоянной силой через жесткие самотормозящиеся кинематические звенья. Последний вариант предпочтительнее, так как при этом сокращается время на подвод инструмента к изделию. Поэтому рассмотрим именно эту схему обработки.

Когда брусок находится во впадинах неровностей (смотри рис. 1 а), на него действует сила  $P$ , передаваемая через жесткие самотормозящиеся кинематические звенья, например, клиновые. Если брусок находится на вершинах неровностей с амплитудой  $a$  (смотри рис. 1 б), то на него помимо силы  $P$  действует сила упругости  $P_y$ . Следовательно, результирующая сила  $P_p$  равна

$$P_p = P + P_y, \quad (8)$$

Упругая деформация технологической системы (ТС) под действием силы  $P_y$

$$y = \frac{P_p}{I_c}, \quad (9)$$

где  $I_c$  - жесткость ТС.

Обозначим

$$I_{p_j} = \frac{P_p}{q_i}, \quad (10)$$

где  $q_i$  - величина съема металла на  $j$ -м обороте изделия. В работах [1, 4] величину  $I_{p_j}$  иногда называют жесткостью резания. Примем для краткости этот термин. Из выражений (9), (10) находим

$$q_j = y_j \frac{I_c}{I_{p_j}}. \quad (11)$$

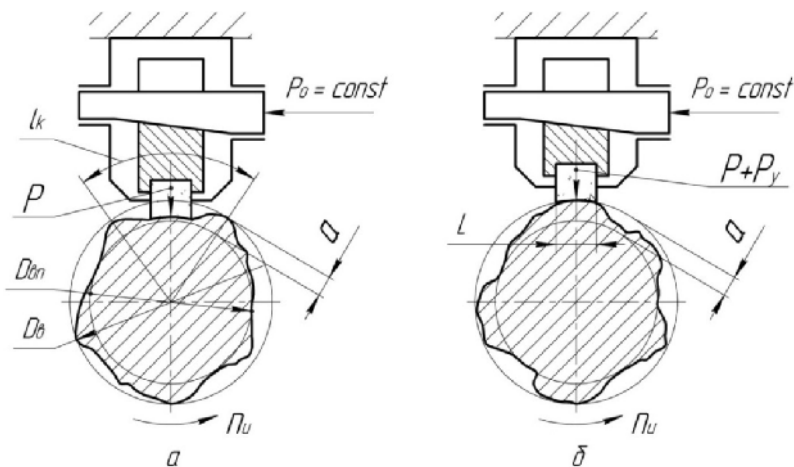


Рисунок 1 – Схема обработки абразивными брусками, прижимаемыми к изделию через жесткие самотормозящиеся кинематические звенья

Обозначим диаметр обрабатываемой поверхности (смотри рисунок 1) по линии выступов на  $(j-1)$ -м обороте изделия через  $D_{B(j-1)}$ , а на  $j$ -м обороте –  $D_{Bj}$ , диаметр обрабатываемой поверхности по линии впадин на  $(j-1)$ -м обороте изделия через  $D_{BP(j-1)}$ , а на  $j$ -м обороте – соответственно  $D_{BPj}$ . Тогда

$$\begin{aligned} D_{Bj} &= D_{B(j-1)} - 2q_{Bj}; \\ D_{BPj} &= D_{BP(j-1)} - 2q_{BPj}, \end{aligned} \quad (12)$$

где  $q_{Bj}$ ,  $q_{BPj}$  – величина съема металла одним бруском на  $j$ -м обороте изделия соответственно на выступах и впадинах неровностей.

С учетом выражений (11) и (12) после простых преобразований получим

$$D_{Bj} - D_{BPj} = \frac{D_{B(j-1)} - D_{BP(j-1)}}{1 + \frac{I_c}{I_{Pj}}}. \quad (13)$$

Поскольку

$$a_j = \frac{1}{2}(D_{Bj} - D_{BPj}); \quad a_{j-1} = \frac{1}{2}(D_{B(j-1)} - D_{BP(j-1)}).$$

Из выражения (13) следует

$$a_j = a_{(j-1)} \left/ 1 + \frac{I_c}{I_{Pj}} \right.,$$

где  $a_j$ ,  $a_{j-1}$  – амплитуда неровностей обрабатываемой поверхности соответственно на  $j$ -м и предшествующему  $(j-1)$ -м оборотам изделия.

В конце обработки, после  $m$  оборотов изделия, амплитуда неровностей станет равной:

$$a_m = a \prod_{j=1}^m \left( \frac{1}{1 + \frac{I_c}{I_{Pj}}} \right) \quad (14)$$

где  $a$  – исходная амплитуда неровностей.

Из выражения (14) следует, что исправление исходной погрешности геометрической формы обрабатываемой поверхности будет тем интенсивнее, чем выше ж сткость ТС и ниже ж сткость резания. Для практического использования приведем выражение (14) к более удобному виду, прологарифмировав его:

$$\ln a_m = \ln a - \sum_{j=1}^m \ln \left( 1 + \frac{I_c}{I_{Pj}} \right) \quad (15)$$

На основе работы [5] можно принять следующую зависимость ж сткости резания от порядкового номера оборота изделия  $j$ :

$$I_{Pj} = E j^c, \quad (16)$$

где  $E$  – коэффициент, прямо пропорциональный ж сткости резания;  $c \approx 2/3$ .

Используя равенство (16), преобразуем выражение (15):

$$\ln a_m = \ln a - \sum_{j=1}^m \ln \left( 1 + \frac{I_c}{Ej^c} \right). \quad (17)$$

При обработке бруском ж сткость резания более чем на порядок превышает ж сткость ТС. Поэтому можно разложить в степенной ряд логарифм в выражении (17), ограничиваясь одним членом этого ряда:

$$\ln a_m = \ln a_H - \frac{I_c}{E} \sum_{j=1}^m j^{-c}. \quad (18)$$

При  $m > 2,5$  с погрешностью менее 10% от суммирования в правой части выражения (18) можно перейти к интегрированию:

$$\sum_{j=1}^m j^{-c} = 3(m^{1-c} - 1). \quad (19)$$

Подставим выражение (19) в равенство (18), после преобразований при  $c=2/3$  имеем

$$a_m = e^{-3(m^{1/3}-1)\frac{I_c}{E}}. \quad (20)$$

Величину амплитуды  $a_H$  исходных неровностей обрабатываемой поверхности можно принять  $a_H = 6\sigma_{I_{k>L}}$ , тогда из выражения (1)

$$a_H = 4,8 \sqrt{\sum_{k=1}^{\pi D_H/L} A_{ok}^2} \quad (21)$$

Анализируя выражение (20), можно сделать вывод, что погрешность формы в процессе обработки уменьшается тем быстрее, чем выше ж сткость ТС и чем меньше жесткость резания, т. е. чем выше режущие свойства инструмента.

Ж сткость ТС зависит от ж сткости крепления бруска  $I_\sigma$  и ж сткости самой державки  $I_L$ :

$$\frac{1}{I_c} = \frac{1}{I} + \frac{1}{I} + \frac{1}{I}. \quad (22)$$

Поэтому повысить исправляющую способность процесса абразивной обработки бруском можно либо увеличением ж сткости этих кинематических, либо уменьшением их числа. Для уменьшения числа кинематических звеньев, оказывающих влияние на ж сткость ТС, можно использовать обработку с ж сткими кинематическими связями брусков. Например, если обработка осуществляется двумя симметрично расположенными брусками, связанными между собой ж сткими кинематическими звеньями, то при обработке нечетных гармоник неровностей (смотри рис. 2 а) ж сткость ТС определяется выражением (22) и исправляющая способность процесса для этих гармоник возрастает пропорционально увеличению числа обрабатывающих брусков:

$$a_m = a_H e^{-6\frac{I_c}{E}(m^{1/3}-1)},$$

где

$$a_{нн} = 4,8 \sqrt{\sum_{k=1}^{\pi D_H/L} A_{o(2k-1)}^2}.$$

Для четных гармоник (смотри рис. 2 б) жесткость самой державки и крепления заготовки не оказывает влияния на упругие перемещения ТС, поэтому

$$I_c = I,$$

а амплитуда этих гармоник после  $m$  оборотов изделия будет равна

$$a_m = a_{и} e^{-6 \frac{I_c}{E} (m^{1/3} - 1)},$$

где

$$a_{нн} = 4,8 \sqrt{\sum_{k=1}^{\pi D_H/L} A_{o2k}^2}.$$

При произвольном количестве  $z_{\sigma}$  ж связанных брусков, используемых в процессе обработки вокруг оси вращения изделия, особенно интенсивно будут устраняться гармоники с частотой, кратной наименьшему общему делителю числа брусков и номеров гармоник. Например, для трех брусков

$$a_m = a_{и} e^{-\frac{9I_c}{E} (m^{1/3} - 1)}, \quad (23)$$

где

$$\alpha_{н\sigma k} = 4,8 \sqrt{\sum_{k=1}^{\pi D_H/L} A_{o3k}^2}.$$

Для всех других гармоник, не кратных трем

$$a_m = a_{и} e^{-\frac{9I_c}{E} (m^{1/3} - 1)}. \quad (24)$$

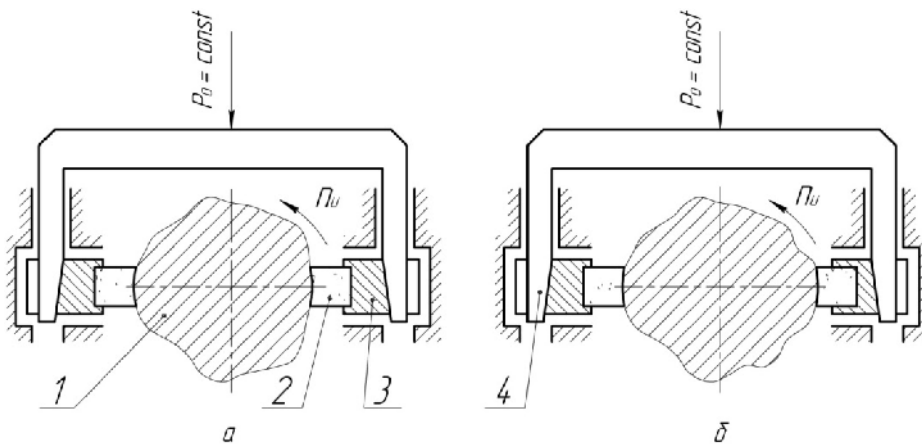


Рисунок 2 – Схема обработки брусками нечетных (а) и четных (б) гармоник неровностей изделия: 1 – изделие; 2 – брусок; 3 – державка; 4 – механизм подачи

Подобным образом можно рассчитать погрешность формы изделия после обработки с любым количеством брусков.

Результаты выполненных исследований показывают, что наиболее рациональной схемой хонингования является схема с жесткой кинематической связью между брусками и с поджимом брусков к изделию с заданной силой через самотормозящиеся звенья. Желательно также использовать возможность самостоятельной очистки брусков от стружки и шлама и тем самым обеспечить низкую жесткость резания. В этом случае достигается высокая производительность обработки и обеспечивается высокая точность обработанной поверхности.

Для практической реализации схемы хонингования было разработано инструментальное устройство (смотри рис. 3). Устройство представляет собой гидравлический цилиндр 8, на штоке 7 которого закреплен клин 10. Шток 7 и поршень 6 выполнены раздельно, что обеспечивает свободное перемещение штока 7 и не требует соблюдения строгой соосности между цилиндром 8 и крышкой 9. Инструментальное устройство шарнирно соединено с кареткой механизма продольной подачи пальцем 11, вставленным в отверстия щек 13 и каретки.

В штоковую полость цилиндра через отверстие 5 постоянно подводится масло, создающее усилие противодействия и удерживающее конус в положении, при котором абразивные бруски 15 находятся в разжатом состоянии (отведенном от поверхности детали). При подаче масла в отверстие 3 золотник 2 поднимается в верхнее положение, открывается (опускается) обратный клапан 4 и через отверстия, расположенные на его конусе, масло поступает на торец поршня 6, перемещая конус 10 вниз и прижимая бруски 15 к поверхности детали. Давление в бесштоковой полости постоянно, благодаря чему положение клина не меняется и бруски постоянно прижаты к детали, производя равномерный съём припуска.

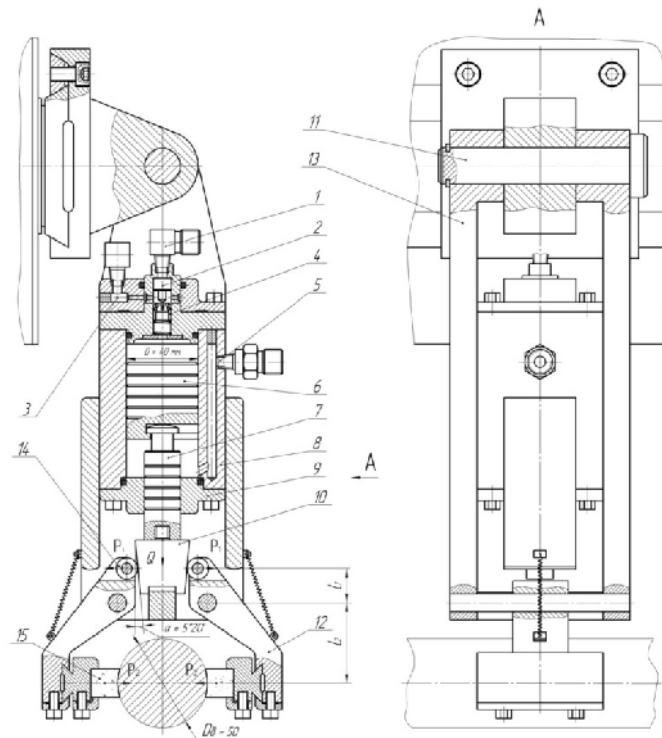


Рисунок 3 – Инструментальное устройство для наружного хонингования

При обработке штока, имеющего погрешность формы (овальность или огранку), бруски выступами неровностей будут отжиматься от детали. Ролики 14 рычагов 12 будут стремиться переместить конус вверх. Однако обратный клапан 4 закрывается и давление масла на поршень 6, клин 10 и абразивные бруски 15 увеличивается. В связи с этим увеличивается сь м металла и происходит исправление геометрической формы цилиндрической поверхности.

Для того чтобы разжать рычаги 12 с брусками 15, необходимо поднять клин 10 вверх, т. е. перекрыть отверстие 3, а масло подавать в отверстие 1. Золотник 2 при этом опускается вниз, нажимает на обратный клапан 4 и открывает его. Этим обеспечивается слив масла из бесштоковой полости в отверстие 3. Поршень 6 под действием противодействия поднимается вверх и одновременно перемещает шток 7 с клином 10.

Для обработки инструментальным устройством поверхности штока  $\varnothing 50f9$  и длиной 504 мм выбран суперфинишный станок модели ЗД871 [6]. Каретка станка имеет присоединительную поверхность в виде ласточкиного хвоста. Такая конструкция станка позволяет выполнить быструю установку и настройку на обработку заготовки разработанного устройства для наружного хонингования. Кроме того, этот станок используется для окончательной обработки поверхности  $\varnothing 50f9$  на операции суперфиниширования, на которой формируется шероховатость поверхности  $R_a=0,4$  мкм. Скорость продольной подачи каретки станка имеет диапазон 0,008-0,05 м/с и регулируется бесступенчато.

Точность шпинделя станка определяет точность формы и размеров поверхности обрабатываемых заготовок. Поэтому шпиндель, расположенный в передней бабки станка, установлен на высокоточные подшипники качения [6]. В передней опоре шпинделя применен двухрядный роликовый подшипник. Зазор в подшипнике можно регулировать без снятия его со шпинделя. В задней опоре шпинделя применен сдвоенный комплект радиально-упорных шариковых подшипников. Такая конструкция передней бабки станка обеспечивает радиальное биение заготовок не более 0,5-0,8 мкм. На переднем конце шпинделя закрепляется планшайба с поводком, который передает крутящий момент заготовке.

Вращение шпинделя передней бабки изделия производится от тиристорного электропривода через коробку скоростей и две клиноременные передачи, что исключает передачу вибраций привода на заготовку. Коробка скоростей обеспечивает два диапазона скоростей шпинделя изделия: 25-500 мин<sup>-1</sup> и 50-1000 мин<sup>-1</sup>. Частота вращения заготовок регулируется бесступенчато.

Приведенная характеристика суперфинишного станка модели ЗД871 позволяет использовать его на операции наружного хонингования и обеспечить технические требования чертежа, предъявляемые к поверхности  $\varnothing 50f9$ .

Выполним расчет инструментального устройства для наружного хонингования.

1. Определим силу  $Q$  (Н) на поршне:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \cdot p_0 \cdot \eta_0 = \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} \cdot 0,4 \cdot 0,9 \cong 452,2Н.$$

где  $D = 40$  мм – диаметр поршня;

$p_0 = 0,4$  МПа – давление в системе инструментальной головки;

$\eta_0=0,93-0,9$  – к. п. д. в механизме «цилиндр-поршень», принимаем  $\eta_0=0,9$ .



2. Определим силу  $P_1$ , с которой скос клина действует на ролик:

$$P_1 = Q \cdot i_c = 452,7 \cdot 7 + 3165,4 \text{ Н.}$$

где  $i_c = 7$  – передаточное отношение сил для схемы механизма «двухплунжерный с роликами на наклонных плоскостях» [7].

Принимаем угол скоса клина  $\alpha = 5^{\circ}20'$  с уч том самоторможения [7].

3. Определяем силу  $P_2$  с которой абразивный брусок действует на поверхность детали. Из чертежа инструментальной головки принимаем величины плеч рычагов  $l_1 = 20$  мм,  $l_2 = 45$  мм:

$$P_2 = \frac{P_1 \cdot l_1}{l_2 \cdot \eta} = \frac{3165,4 \cdot 20}{45 \cdot 0,9} \cong 1563,2 \text{ Н.}$$

где  $\eta = 0,85 - 0,95$  – к. п. д. в механизме «рычаг-ось», принимаем  $\eta = 0,9$ .

4. Определяем удельное давление абразивного бруска на поверхность детали:

$$p_6 = \frac{P_2}{F_6} = \frac{1563,2}{0,00175} = 0,89 \quad ,$$

где  $F_6 = a \cdot b = 0,025 \cdot 0,07 = 0,00175 \text{ м}^2$  – площадь бруска;  $a = 0,025$  мм – ширина бруска;  $b = 0,07$  мм – длина бруска.

5. Определяем усилие прижима брусков  $P_{np}$  к поверхности детали:

$$P_{np} = p_{6p} \cdot F_6 \cdot K \cdot Z = 0,89 \cdot 0,00175 \cdot 2 \cdot 1 \cong 3115 \text{ Н}$$

где  $K = 2$  – число брусков в инструментальной головке;

$Z = 1$  – число инструментальных головок.

6. Определяем силу резания  $P_p$  при хонинговании:

$$P_p = P_{np} \cdot f = 3115 \cdot 0,35 = 1090,3 \text{ Н,}$$

где  $f = 0,35$  – коэффициент резания при обработке абразивными брусками [6].

7. Определяем вращающий момент  $M$  при обработке в центрах:

$$M = \frac{P_p \cdot D}{2} = \frac{1090,3 \cdot 0,05}{2} \approx 27,3 \text{ Нм,}$$

где  $D = 0,05$  м – диаметр обрабатываемой поверхности штока.

8. Определяем мощность  $N_e$ , затраченную на резание при хонинговании:

$$N_e = \frac{M \cdot n}{9750} = \frac{27,3 \cdot 190}{9750} \cong 0,54 \quad ,$$

где  $n = 190$  об./мин – частота вращения детали (для рекомендуемой окружной скорости детали  $V_n = 30$  м/мин при обработке незакаленных сталей абразивными брусками).

Так как  $N_c = 4,06 \cdot 0,8 = 3,25$  кВт  $> N_e = 0,54$  кВт, то обработка осуществима.

Абразивные (алмазные) брусочки для обработки выбирались по рекомендациям работ [8, 9, 10]. При обработке длинной поверхности штока ( $L_n/D_n > 504/50 = 10,1$ ) выбор не связывается с длиной обрабатываемой поверхности. В этом случае важно обеспечить над «плавание» инструментальной головки по обрабатываемой детали. Если

этого не сделать, то возможно образование погрешности формы поверхности (корсетность). Из конструктивных соображений длина бруска принимается  $L_6 = 70$  мм.

Суммарная ширина бруска  $H_t$  принимается от 0,15 до 0,35 длины окружности обрабатываемой поверхности диаметром  $\varnothing 50f9$  [11]. Следует использовать бруски возможно большей ширины, так как это вед т к более интенсивному съ му металла и устранению исходной погрешности формы детали:

$$H_e = (0,15 - 0,35) \cdot C = (0,15-0,35) \cdot 157 = 23,55 - 55 \text{ мм},$$

где  $C = \pi D_\varnothing = 3,14 \cdot 50 = 157$  мм – длина окружности;

$D_\varnothing = 50$  мм – диаметр обрабатываемой поверхности.

Принимаем ширину бруска 25 мм, а так как обработка вед тся двумя брусками, то суммарная ширина бруска составит 50 мм, что удовлетворяет рекомендуемому диапазону [9].

Проведенные промышленные испытания [1, 11] аналогичных хонинговальных устройств позволили дать рекомендации для обработки поверхности  $\varnothing 50f9$  на операции «Хонинговальная» (смотри табл. 1).

Таблица 1 – Режимы хонингования поверхности  $\varnothing 50f9$

Зернистость (характеристика) бруска	Режимы резания			Время обработки, мин	Достигаемая точность формы, мкм	Достигаемая шероховатость, $R_a$ , мкм
	$V_\varnothing$ , м/мин	$V_{np}$ , м/мин	$P_0$ , МПа			
АСР 63/50 – АСР 80/63	25-35	15-18	0,5-0,8	0,8-1,5	10-12	0,63-0,32
24М40СТ1КЛ	45-60	9-12	0,2-0,5	1,2-1,9	9-12	0,63-0,16

## ВЫВОДЫ

Получена аналитическая зависимость, устанавливающая взаимосвязь кинематических параметров наружного хонингования с точностью формы обрабатываемой поверхности в поперечном сечении. Выявленная зависимость позволяет выбрать оптимальные режимы обработки поверхности алмазными и абразивными брусками и обеспечить высокую производительность процесса, требуемую точность формы и шероховатость поверхности.

Разработана конструкция хонинговального устройства с самотормозящимися звеньями, которая позволяет обеспечить требуемую чертежом точность формы в поперечном сечении штока на операции, предшествующей операции хромирования.

Даны рекомендации для выбора режимов резания абразивным и алмазным инструментом для обработки поверхности штока на хонинговальной операции.

## SUMMARY

### TECHNOLOGICAL PECULIARITIES OF MACHINING OF THE CULINDRICAL ROD SURFACES BY HONING

*Savchuk V. I., Bakus E. N.,  
Sumy State University, Sumy, Ukraine*

*A scheme of external honing with rigid kinematic links between the bars and self-locking links for correcting errors in the surface shape of the cross section of the rod.*

**Key words:** honing, processed surface, errors, self-locking links.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корчак С. Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей / С. Н. Корчак. – М.: Машиностроение, 1974. – 280 с.
2. Королёв А. В. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке / А. В. Королёв. – Саратов: СГУ, 1975. – 191 с.
3. Солонин И. С. Математическая статистика в технологии машиностроения / И. С. Солонин. – М.: Машиностроение, 1972. – 216 с.
4. Абразивная и алмазная обработка материалов: справочник / под ред. д-ра техн. наук проф. А. Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с.: ил.
5. Кудояров Р. Г. Точность деталей машин при алмазном хонинговании / Р. Г. Кудояров. - М.: МАИ, 2002. - 170 с.
6. Мазальский В. Н. Суперфинишные станки. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. – 127 с.: ил.
7. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 2. – 496 с.: ил.
8. Куликов С. И. Хонингование: справочное пособие / С. И. Куликов, В. А. Романчук, Ф. Ф. Ризванов, Ю. М. Евсеев. - М.: Машиностроение, 1973. – 168 с.

*Поступила в редакцию 4 января 2012 г.*