


УДК 621.941.1

Исследования кинестатики характера взаимодействия режущих роликов с обрабатываемой поверхностью при ротационном хонинговании

А.М. Гафаров¹, П.Г. Сулейманов¹, В.А. Гафаров², Ф.М. Калбиев¹¹ Академия МЧС Азербайджанской Республики, AZ1089, Баку, пос. Говсаны, Э. Гасымова ул.² Азербайджанская государственная нефтяная компания, AZ1089, Баку, Табриза ул., 87/45

Kinetostatic Analysis of the Interaction between the Cutting Rolls and the Machined Surface in Rotary Honing

A.M. Gafarov¹, P.G. Suleimanov¹, V.A. Gafarov², F.M. Kalbiev¹¹ The Ministry of Emergency Situations Academy, Republic of Azerbaijan, AZ1089, Republic of Azerbaijan, Baku, Govsany, E. Gasymov St.² Azerbaijan State Oil Company, AZ1089, Republic of Azerbaijan, Baku, Tabriz St., 87/45 e-mail: aydin.qafarov@hotmail.com

i При хонинговании обычными методами происходят три основных движения: вращательное вокруг оси обрабатываемого отверстия; возвратно-поступательное вдоль оси обрабатываемого отверстия; радиальное перемещение брусков по мере съема металла поверхностного слоя. В отличие от этих методов при ротационном хонинговании режущие алмазные ролики совершают дополнительное движение — самовращение вокруг своей оси. Самовращение алмазных роликов происходит за счет установки их под углом к оси головки. Основным преимуществом ротационного инструмента является его высокая стойкость вследствие периодического обновления режущей части алмазных бочкообразных роликов в процессе обработки. Кроме того, ротационное хонингование обеспечивает высокое качество обработанной поверхности и увеличивает производительность станка и инструмента за счет возможности регулирования параметров режимов резания в широких диапазонах. В работе определены уравнения, описывающие траекторию относительного перемещения единичного зерна режущего бочкообразного ролика, координаты вектора и модуля истинной скорости резания, угловая скорость вращения ролика и угол установки роликов. Исходя из условий линейного контакта с поверхностью деталей получены параметры эллиптических кривых, являющихся образующими бочкообразных роликов.

Ключевые слова: ротационное хонингование, схема обработки, кинестатика, алмазные ролики, единичное зерно, скорость, стойкость, производительность.

i Conventional honing methods employ three types of basic movements: rotational — around the axis of the machined hole, reciprocating — along the axis of the machined hole, and radial movement of the honing stones as the surface layer of the metal is removed. Unlike in the existing honing methods, in rotary honing the diamond cutting rolls perform additional movements, those of self-rotation around their axes. The self-rotation is due to the angle of installation of the diamond rolls in relation to the honing head axis. The main advantage of rotational tools is their high durability due to the periodic sharpening of the cutting area of the diamond

barrel-shaped rolls during the machining process. Rotary honing also guarantees high quality of the machined surface, and increases the machining speed by offering the possibility to adjust the cutting mode parameters in a wide range. The article presents an equation that describes the trajectory of the relative movement of a single grain of the cutting barrel-shaped roll, coordinates of the vector and modulus of the actual cutting speed, rotational speed of the roll, and roll setting angle. Based on the conditions of the linear contact with the workpiece surface, the authors have obtained the parameters of the elliptic curves that form generating lines of the barrel-shaped rolls.

Keywords: rotary honing, machining pattern, kinetostatics, diamond rolls, single grain, velocity, durability, machining speed.

Известные способы хонингования представляют собой процесс чистовой обработки поверхностей деталей комплектом взаимосвязанных абразивных или алмазных брусков, установленных в хонинговальной головке, которая обеспечивает кинематическое замыкание контакта с обрабатываемой поверхностью [1–4].

Основной отличительной особенностью ротационного хонингования по сравнению с другими методами обработки является наличие дополнительного рабочего движения.

Если при обычных методах хонингования имеется три основных движения: *вращательное* — со скоростью $V_{вр}$ вокруг оси обрабатываемого отверстия, *возвратно-поступательное* — вдоль оси обрабатываемого отверстия со скоростью $V_{в-п}$ и *радиальные перемещения* брусков со скоростью $V_{рад}$ по мере съема металла, то при ротационном хонинговании отверстий режущие алмазные ролики совершают дополнительные движения — *самовращения* с угловой скоростью ω вокруг своей оси [5, 6].

Как видно на рис. 1, число оборотов само-

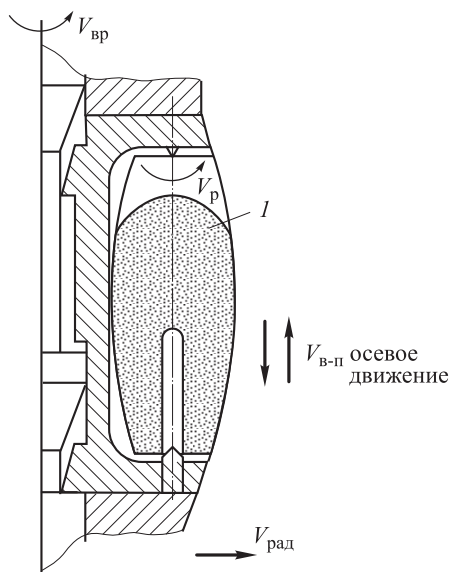


Рис. 1. Схема движения и скоростей режущих бочкообразных алмазных роликов при ротационном хонинговании отверстий

вращающихся роликов I будет намного больше числа оборотов шпинделя станка. С увеличением отношения R/r число оборотов роликов возрастает (R — радиус обрабатываемой детали; r — радиус ролика).

Ротационное хонингование осуществляется с помощью головки, содержащей бочкообразные алмазные ролики. Ролики установлены под углом α к оси головки и могут вращаться вокруг своей оси.

Указанная особенность приводит к изменению следов обработки на поверхности детали. Следы режущих зерен получаются прерывистыми вследствие периодического участия их в процессе резания.

На рис. 2 видно, что следы I, II, III зернами a , b , c соответственно обработки получены при перемещении хонинговальной головки сверху вниз, а следы IV, V, VI — при ее перемещении снизу вверх.

Прерывистость следов на обрабатываемой поверхности является следствием постоянного обновления режущих участков бочкообразных алмазных роликов в процессе обработки.

Однако прерывистость резания единичными зернами при ротационном хонинговании сочетается с прерывистостью процесса стружкообразования. При этом условия работы единичного зерна в данный момент обработки улучшаются, поскольку при холостом повороте участки роликов промываются смазочно-охлаждающей жидкостью и охлаждаются. Налипания металла на рабочую поверхность роликов практически

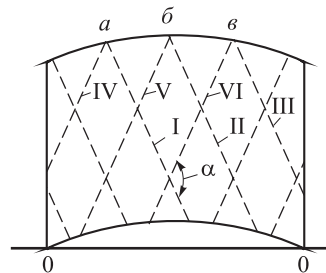


Рис. 2. Схема следов обработки алмазными зернами при ротационном хонинговании отверстий

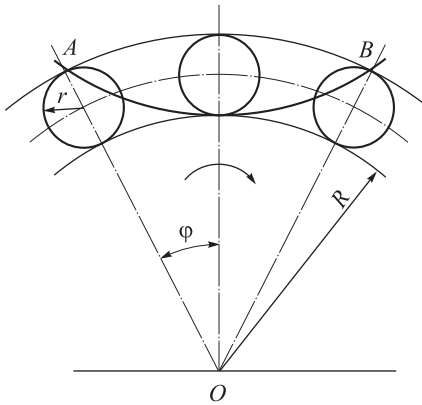


Рис. 3. Графическое изображение гипоциклоиды

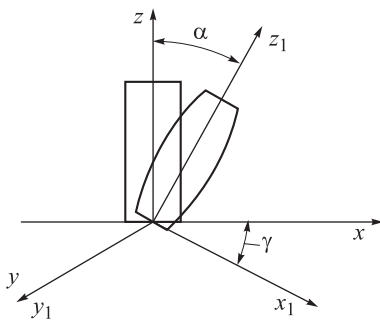


Рис. 4. Схема перехода к новой системе координат

не происходит. Это способствует снижению температуры резания и увеличению периода стойкости роликов.

Основным видом износа при обычном алмазном хонинговании стали и других вязких материалов являются разрушение связки брусков и схождение алмазных зерен со сливаемой стружкой [7–14]. Этот недостаток устраняется при ротационном хонинговании. Стружки выбрасываются из зоны резания благодаря линейному контакту инструмента с деталью. Одновременно снижается интенсивность износа алмазов вследствие кратковременности контакта алмазных роликов с обрабатываемой поверхностью и более эффективного охлаждения роликов. При этом резко снижается также температура обрабатываемой поверхности.

Самовращение роликов позволяет существенно уменьшить скорость вращения головки при хонинговании без потери производительности. В этом заложен большой резерв регулирования режимов обработки.

Достижение устойчивых результатов при ротационном хонинговании во многом зависит от выбора оптимальных режимов обработки.

При ротационном хонинговании давление роликов составляет 70...80 МПа. При чистой обработке и обработке очень мягких мате-

риалов (медь, алюминий) давление можно уменьшать.

С повышением давления роликов возрастает производительность хонингования и увеличивается шероховатость поверхности детали. По сравнению с другими методами хонингования износ роликов значительно уменьшается [9, 10].

Рассмотрим кинематику единичного зерна алмазного ролика при ротационном хонинговании для случая, когда ролики установлены параллельно оси хонинговальной головки и могут свободно перемещаться. При вращении хонинговальной головки со скоростью без возвратно-поступательного движения любая точка ролика описывает плоскую кривую — гипоциклоиду [6] (рис. 3), задаваемую уравнением в параметрической форме

$$\begin{aligned} x &= r[(m-1)\cos\varphi + \cos(m-1)\varphi]; \\ y &= r[(m-1)\sin\varphi + \sin(m-1)\varphi], \end{aligned} \quad (1)$$

где $m = R/r$ — отношение радиуса внутренней цилиндрической поверхности детали к радиусу ролика; φ — угол поворота головки.

При включении возвратно-поступательного движения головки уравнение (1) в трехмерной системе координат приобретает вид

$$\begin{aligned} x &= r[(m-1)\cos\varphi + \cos(m-1)\varphi]; \\ y &= r[(m-1)\sin\varphi + \sin(m-1)\varphi]; \\ z &= r\varphi \operatorname{tg}\beta, \end{aligned}$$

где β — угол подъема винтовой линии:

$$\beta = \operatorname{arctg}(V_{в-п}/V_{вр}).$$

Однако при ротационном хонинговании применяют бочкообразные алмазные ролики, наклоненные к оси хонинговальной головки под некоторым углом α . Поэтому, переходя от первоначальной системы координат xuz к вспомогательной $x_1y_1z_1$ (рис. 4) путем поворота первой вокруг оси Oy на угол α , получаем

$$\begin{aligned} x_1 &= r[(m-1)\cos\varphi + \cos(m-1)\varphi]\cos\alpha; \\ y_1 &= r[(m-1)\sin\varphi - \sin(m-1)\varphi]; \\ z_1 &= r\varphi \operatorname{tg}\beta \cos\alpha. \end{aligned} \quad (2)$$

Уравнение (2) описывает траекторию относительного перемещения единичного режущего зерна. Отсюда координаты вектора истинной скорости резания $V_{и}$ находим дифференцированием уравнения (2) по времени:

$$\begin{aligned} V_x &= \frac{\partial x_1}{\partial t} = \frac{\partial x_1}{\partial \varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial t}; \\ V_y &= \frac{\partial y_1}{\partial t} = \frac{\partial y_1}{\partial \varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial t}; \\ V_z &= \frac{\partial z_1}{\partial t} = \frac{\partial z_1}{\partial \varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial t}. \end{aligned}$$

Здесь $\partial \varphi / \partial t = \omega_p$ — угловая скорость вращения ролика:

$$\omega_p = \frac{V_{\text{вр}}}{R} = \frac{V_{\text{вр}}}{rm}.$$

Находим частные производные:

$$\begin{aligned} \frac{\partial x_1}{\partial \varphi} &= r \left[(m-1)(-\sin \varphi) - \sin(m-1)\varphi \right] \cos \alpha = \\ &= r \left[(1-m) \sin \varphi - \sin(m-1)\varphi \right] \cos \alpha; \\ \frac{\partial y_1}{\partial \varphi} &= r \left[(m-1) \cos \varphi + \cos(m-1)\varphi \right]; \\ \frac{\partial z_1}{\partial \varphi} &= r \operatorname{tg} \beta \cos \alpha. \end{aligned}$$

В результате расчетов имеем

$$\begin{aligned} V_x &= V_{\text{вр}} \frac{\cos \alpha}{m} \left[(1-m) \sin \varphi - \sin(m-1)\varphi \right]; \\ V_y &= V_{\text{вр}} \frac{1}{m} \left[(m-1) \cos \varphi + \cos(m-1)\varphi \right]; \\ V_z &= V_{\text{вр}} \frac{1}{m} \operatorname{tg} \beta \cos \alpha. \end{aligned}$$

Используя известные тригонометрические формулы, получаем

$$\begin{aligned} V_x &= 2V_{\text{вр}} \cos \left(\alpha \frac{1-m}{m} \right) \sin \left(1 - \frac{m}{2} \varphi \right) \cos \frac{m\varphi}{2}; \\ V_y &= 2V_{\text{вр}} \frac{m-1}{m} \cos \frac{m\varphi}{2} \cos \left(1 - \frac{m}{2} \varphi \right); \\ V_z &= V_{\text{вр}} \frac{1}{m} \operatorname{tg} \beta \cos \alpha. \end{aligned}$$

Модуль истинной скорости единичного зерна

$$\begin{aligned} V_{\text{и}} &= \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} = \\ &= \left\{ \left[2V_{\text{вр}} \cos \left(\alpha \frac{1-m}{m} \right) \sin \left(1 - \frac{m}{2} \varphi \right) \cos \frac{m\varphi}{2} \right]^2 + \right. \\ &\quad \left. + \left[2V_{\text{вр}} \frac{m-1}{m} \cos \frac{m\varphi}{2} \cos \left(1 - \frac{m}{2} \varphi \right) \right]^2 + \right. \\ &\quad \left. + \left(V_{\text{вр}} \frac{1}{m} \operatorname{tg} \beta \cos \alpha \right)^2 \right\}^{1/2}. \end{aligned} \quad (3)$$

При расчете $V_{\text{и}}$ по формуле (3) скорость вращения головки $V_{\text{вр}}$ принимается постоянной, а величина m — переменной. Кроме того, для упрощения аналитической зависимости не учитывалось проскальзывание между алмазным роликом и деталью.

Вследствие снижения истинной скорости резания скорость скольжения стружки уменьшается, причем степень уменьшения зависит от характера стружкообразования, скорости самовращения, углов установки и режимов резания.

Производительность процесса с повышением скоростей $V_{\text{вр}}$, V_p и $V_{\text{в-п}}$ увеличивается, что связано с увеличением съема материала поверхностного слоя.

Изменение каждой из скоростей оказывает значительное влияние на процесс обработки. Как известно, изменение скорости хонингования при обработке цилиндрических поверхностей может нарушать процесс самозатачивания брусков.

При ротационном хонинговании отверстий вращение роликов вокруг своей оси положительно сказывается на самозатачивании зерен.

Однако для постоянного обновления режущей поверхности самовращение алмазных роликов должно происходить без заклинивания. Другими словами, необходимо обеспечить качество алмазных роликов по поверхности детали.

Коэффициент трения качения имеет размерность длины и определяется как отношение момента к нормальной нагрузке N :

$$k = M/N.$$

В то же время, согласно исследованиям Райнольдса [5], при качении жесткого катка по деформируемому основанию перемещение центра катка за один полный оборот несколько меньше длины его окружности, что объясняется деформацией поверхности основания под действием приложенных сил. Неравномерность деформации приводит к появлению проскальзывания между катком и основанием. Область контакта содержит три участка. В центре участка сцепление, с которым граничат два участка с проскальзыванием. Величина проскальзывания зависит от соотношения упругих свойств материалов и радиусов кривизны контактирующих поверхностей.

Ясно, что при использовании алмазных роликов требуется обеспечить их вращение, не исключая интенсивное резание обрабатываемого материала.

Самовращение алмазных роликов возможно лишь в том случае, если вектор равнодействи-

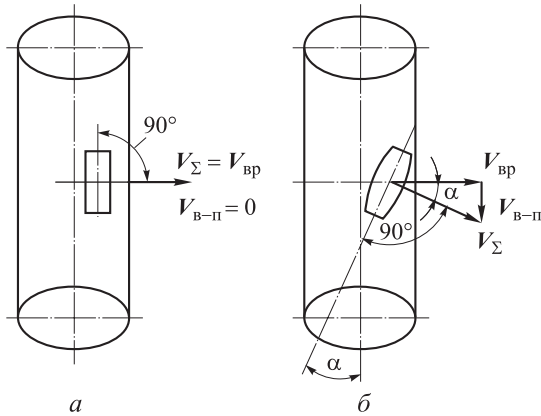


Рис. 5. Схема обработки цилиндрических отверстий алмазными роликами, установленными параллельно оси отверстия (а) и под углом к ней (б)

ющей скорости V_{Σ} двух движений (вращательного $V_{вр}$ и возвратно-поступательного $V_{в-п}$) направлен перпендикулярно к оси ролика. В противном случае ролики будут скользить по поверхности без проворачивания.

Если использовать цилиндрические ролики, установленные параллельно к оси обрабатываемого отверстия, то указанные условия выполняются лишь при $V_{в-п} = 0$ (рис. 5, а). При этом обработка деталей с длинными отверстиями, например втулок глубинных насосов, не представляется возможной. В связи с этим при ротационном хонинговании следует применять алмазные ролики, установленные под углом α к оси обрабатываемого отверстия (рис. 5, б).

Необходимо определить такую форму ролика, чтобы его боковая поверхность соприкасалась с поверхностью детали не в отдельных точках, а по кривой. Другими словами, контурная линия осевого ролика должна лежать на поверхности обрабатываемого отверстия.

Исходя из этого уравнение профиля боковой поверхности ролика определяется как уравнение кривой пересечения поверхности кругового цилиндра и плоскости, пересекающей цилиндр под углом α к его оси (рис. 6).

Запишем уравнение цилиндрической поверхности с радиусом R и уравнение секущей плоскости

$$x^2 + y^2 = R^2; \quad (4)$$

$$Z = (X + R) \operatorname{ctg} \alpha. \quad (5)$$

Используя формулу (5) выразим X через Z :

$$X = Z \operatorname{tg} \alpha - R. \quad (6)$$

Подставив выражение (6) в уравнение (4), выразим Y через Z :

$$Y = \pm \sqrt{R^2 - (Z \operatorname{tg} \alpha - R)^2}.$$

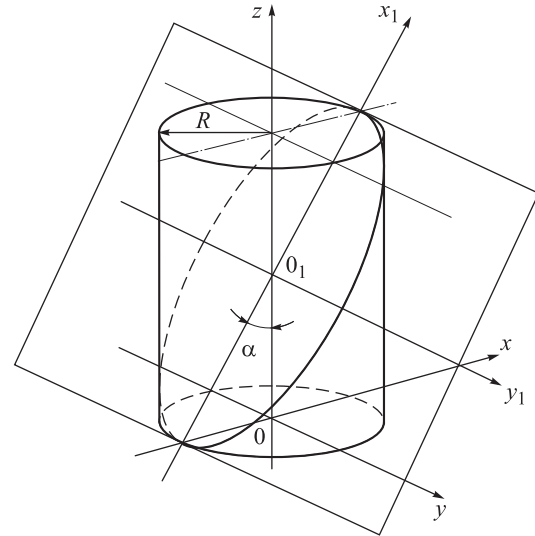


Рис. 6. Схема для определения профиля бочкообразного алмазного ролика

Чтобы получить уравнение искомой кривой, переходим к новой системе координат $x_1 O_1 y_1$. В секущей плоскости $x_1 O_1 y_1$ координату X заменим координатой X_1 :

$$X_1 = \frac{X}{\sin \alpha} = \frac{Z}{\cos \alpha} - \frac{R}{\sin \alpha} = Z \sec \alpha - R \operatorname{cosec} \alpha.$$

Учитывая, что $Y = Y_1$, получим

$$\begin{cases} X_1 = Z \sec \alpha - R \operatorname{cosec} \alpha; \\ Y_1 = \pm \sqrt{R^2 - (Z \operatorname{tg} \alpha - R)^2}. \end{cases} \quad (7)$$

Задаваясь значениями Z , определяем X_1 и Y_1 . Таким образом строим кривую действительного профиля бочкообразного ролика (рис. 7).

Следовательно, при ротационном хонинговании необходимо применять ролики бочкообразной формы с профилем, описываемым уравнениями (7). Ролики должны быть установлены под углом α к оси обрабатываемого отверстия, причем

$$\alpha = \arctg(V_{вр}/V_{в-п}).$$

Таким образом, выбор угла установки роликов в хонинговальной головке имеет обоснование в кинематическом смысле, что следует учитывать при назначении режимов обработки. На практике обычно $\alpha = 5 \dots 15^\circ$.

При самовращении ролика наблюдаются различные участки его контакта с обрабатываемой поверхностью: проворачивание, резание и проскальзывание, причем последнее возникает в результате неравномерной деформации поверхности детали, а также из-за различия истинных скоростей точек в разных сечениях ролика по его длине.

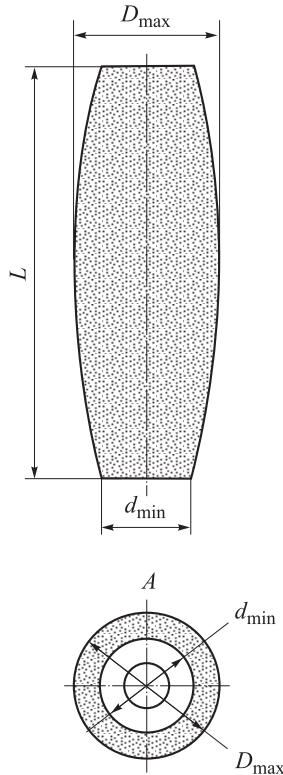


Рис. 7. Геометрические параметры бочкообразного алмазного ролика для ротационного хонингования отверстий (после шлифования)

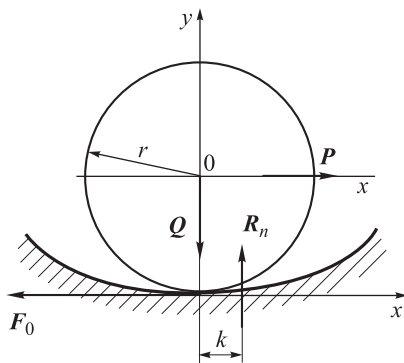


Рис. 8. Расчетная схема к определению критерия режима трения хонинговального ролика

При перемещении ролика по обрабатываемой поверхности (рис. 8) сумма проекций на ось y приводит к равенству

$$R_n = Q,$$

где R_n — реакция на действие нормальной нагрузки; Q — усилие прижима к поверхности детали.

По линии оси x сила тяги P уравновешена касательной реакцией в связи.

Сила F_0 трения скольжения покоя: $F_0 = P$.

Таким образом, к ролику приложены две пары сил: P с плечом r (где r — радиус ролика) и $R_n = Q$ с плечом k (где k — коэффициент трения

качения).

Из условия равновесия получаем

$$Pr = Qk,$$

откуда

$$P = \frac{k}{r}Q.$$

Сила трения скольжения покоя

$$F_0 \leq f_0Q, \tag{8}$$

где f_0 — коэффициент трения скольжения покоя.

Подставляя в неравенство (8) вместо F_0 равную ей силу P , получаем

$$P \leq f_0Q, \quad \frac{k}{r}Q \leq f_0Q,$$

т. е.

$$f_0 \geq k/r. \tag{9}$$

Выражение (9) является условием чистого качения. Для чистого скольжения необходимо выполнение условия

$$f_0 \leq k/r. \tag{10}$$

Очевидно, что при

$$f_0 = k/r \tag{11}$$

будет иметь место качение со скольжением.

Следовательно, условия работы зерен различаются не только в одном поперечном сечении ролика, но и в разных сечениях по его длине с учетом выполнения условий (9)–(11).

Следует отметить, что на эффективность работы бочкообразных роликов влияют также давление прижима роликов и другие технологические параметры.

Выводы

1. В результате проведенных работ подтверждена возможность использования высокопроизводительного ротационного хонингования при обработке высокоточных внутренних поверхностей цилиндрических деталей. На основании исследования кинестатики ролика найдена истинная скорость единичного зерна. Установлена дискретность взаимодействия алмазного ролика с обрабатываемой поверхностью деталей.

2. На базе теоретических исследований получены зависимости для обоснования угла наклона роликов к оси деталей при их установке в хонинговальной головке.

3. Исходя из требований линейного контакта с поверхностью деталей, получены параметры эллиптических кривых, являющихся образующими бочкообразных роликов.

Литература

- [1] Гафаров А.М. *Прогрессивные методы механической обработки*. Баку, Наука, т. 2, 2001. 315 с.
- [2] Гафаров А.М., Сулейманов П.Г., Гафаров В.А., Калбиев Ф.М. Некоторые аспекты повышения износостойкости деталей машин технологическими способами. *Вестник Азербайджанской Инженерной Академии*, 2013, № 4, с. 41–51.
- [3] Гафаров В.А. Характеристика микрогеометрии обработанных поверхностей в процессе хонингования с дозированным съемом материала поверхностного слоя. *Механика-машиностроение*, 2008, № 4, с. 64–66.
- [4] Гафаров А.М., Алиев Г.Ш. К вопросу оптимизации технологических процессов. Баку, *Механика-машиностроение*, 2009, № 2, с. 87–90.
- [5] Лупкин Б.В., Гафаров А.М. *Способ хонингования отверстий*. А. с. 1345513, 1987.
- [6] Гафаров А.М., Бабаев Г.М. *Ротационное хонингование*. Баку, Наука, 1999. 132 с.
- [7] Гафаров А.М., Сулейманов П.Г. Износостойкость тяжело нагруженных деталей машин и механизмов, эксплуатируемых в экстремальных ситуациях. *Технология машиностроения*, 2011, № 5, с. 37–41.
- [8] Гафаров А.М., Сулейманов П.Г., Гафаров В.А. Влияние технологических параметров на износ поверхностного слоя деталей машин, эксплуатируемых в экстремальных условиях. *Химическое и нефтегазовое машиностроение*, 2013, № 3, с. 46–49.
- [9] Муратов К.Р., Гашев Е.А. Методы хонингования высокоточных отверстий. *Современные проблемы науки и образования*, 2014, № 5, с. 402–404.
- [10] Кудояров Р.Г. *Точность деталей машин при алмазном хонинговании*. Москва, Изд-во МАИ, 2002. 170 с.
- [11] Муратов Р.А., Муратов К.Р. Механизм разжима хонинговальных брусков с переменным давлением по длине заготовки. *СТИН*, 2007, № 2, с. 11–13.
- [12] Гафаров А.М., Сулейманов П.Г., Гафаров В.А. Влияние технологических факторов на структурное состояние поверхностного слоя ответственных деталей машин, эксплуатируемых в экстремальных условиях. *Вестник Азербайджанской Инженерной Академии*, 2013, № 1, с. 36–45.
- [13] Gafarov A.M., Suleymanov P.H., Gafarov V.A., Kalbiyev F.M. Technological aspects of machine parts durability improvements. *Science and applied engineering quarterly*, 2014, pp. 24–31.
- [14] Gafarov A.M., Janahmadov A.Kh., Hasanov Yu.N. New deformable austempered ductile irons (dadi) as an efficient material for substitution of critical parts of all well equipment made from quality steel. *International conference, USA, Houston, Texas, Nace, 2008*, pp. 1–12.

References

- [1] Gafarov A.M. *Progressivnye metody mekhanicheskoi obrabotki* [Progressive methods of machining]. Baku, Nauka publ., vol. 2, 2001. 315 pp.
- [2] Gafarov A.M., Suleimanov P.G., Gafarov V.A., Kalbiyev F.M. Nekotorye aspekty povysheniia iznosostoikosti detalei mashin tekhnologicheskimi sposobami [Some aspects of improving the wear resistance of machine components technological means]. *Vestnik Azerbaidzhanskoi Inzhenernoii Akademii* [Bulletin of the Azerbaijan Academy of Engineering]. 2013, no. 4, 2013, pp. 41–51.
- [3] Gafarov V.A. Kharakteristika mikrogeometrii obrabotannykh poverkhnostei v protsesse khoningovaniia s dozirovannym s"emom materiala poverkhnostnogo sloia [Feature microgeometry treated surfaces in the process of honing a metered removal of material of the surface layer]. *Mekhanika-mashinostroenie* [Mechanics and Mechanical Engineering]. 2008, no. 4, pp. 64–66.
- [4] Gafarov A.M., Aliev G.Sh. K voprosu optimizatsii tekhnologicheskikh protsessov [On the question of process optimization]. *Mekhanika-mashinostroenie* [Mechanics and Mechanical Engineering]. 2009, no. 2, pp. 87–90.
- [5] Lupkin B.V., Gafarov A.M. *Sposob khoningovaniia otverstii* [A method of honing holes]. Patent RF no. 1345513, 1987.
- [6] Gafarov A.M., Babaev G.M. *Rotatsionnoe khoningovanie* [Rotary Honing]. Baku, Nauka publ., 1999. 132 p.

- [7] Gafarov A.M., Suleimanov P.G. Iznosostoikost' tiazhelonagruzhennykh detalei mashin i mekhanizmov, ekspluatiruemykh v ekstremal'nykh situatsiiakh [Wear resistance of heavy-loaded machine components and mechanisms running in extreme cases]. *Tekhnologiya mashinostroeniia* [Engineering Technology]. 2011, no. 5, pp. 37–41.
- [8] Gafarov A.M., Suleimanov P.G., Gafarov V.A. Vliianie tekhnologicheskikh parametrov na iznos poverkhnostnogo sloia detalei mashin, ekspluatiruemykh v ekstremal'nykh usloviiaakh [Influence of technological parameters on surface wear-out of details of machines working under extreme conditions]. *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie* [Chemical and Petroleum Engineering]. 2013, no. 3, pp. 46–49.
- [9] Muratov K.R., Gashev E.A. Metody khoningovaniia vysokotochnykh otverstii [Methods of precision hole honing]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia* [Modern problems of science and education]. 2014, no. 5, 288 p.
- [10] Kudoiarov R.G. *Tochnost' detalei mashin pri almaznym khoningovanii* [Precision machine parts at the diamond honing]. Moscow, MAI publ., 2002. 170 p.
- [11] Muratov R.A., Muratov K.R. Mekhanizm razzhima khoningoval'nykh bruskov s peremennym davleniem po dline zagotovki [Spreading mechanism honing stones variable pressure along the length of the workpiece]. *STIN* [Russian Engineering Research]. 2007, no. 2, pp. 11–13.
- [12] Gafarov A.M., Suleimanov P.G., Gafarov V.A. Vliianie tekhnologicheskikh faktorov na strukturnoe sostoiianie poverkhnostnogo sloia otvetstvennykh detalei mashin, ekspluatiruemykh v ekstremal'nykh usloviiaakh [Influence of technological factors on the structural state of the surface layer of the critical parts of machines operating under extreme conditions]. *Vestnik Azerbaidzhanskoi Inzhenernoii Akademii* [Bulletin of the Azerbaijan Academy of Engineering]. 2013, no. 1, pp. 36–45.
- [13] Gafarov A.M., Suleymanov P.H., Gafarov V.A., Kalbiyev F.M. Technological aspects of machine parts durability improvements. *Science and applied engineering quarterly*, 2014, pp. 24–31.
- [14] Gafarov A.M., Janahmadov A.Kh., Hasanov Yu.N. New deformable austempered ductile irons (dadi) as an efficient material for substitution of critical parts of all well equipment made from quality steel. *International conference, USA, Houston, Texas, Nace, 2008*, pp. 1–12.

Статья поступила в редакцию 11.06.2015

Информация об авторах

ГАФАРОВ Айдын Мамиш оглы (Баку) — заслуженный деятель науки Азербайджанской Республики, доктор технических наук, профессор, зав. научно-техническим отделом Академии МЧС Азербайджанской Республики (AZ1089, Баку, пос. Говсаны, Э. Гасимова ул., e-mail: aydin.qafarov@hotmail.com).

СУЛЕЙМАНОВ Панах Гусейн оглы (Баку) — доктор философии по технике, доцент, начальник Академии МЧС Азербайджанской Республики (AZ1089, Баку, пос. Говсаны, Э. Гасимова ул.).

ГАФАРОВ Вугар Айдын оглы (Баку) — кандидат технических наук, зам. зав. отделом Азербайджанской государственной нефтяной компании (AZ1089, Баку, Табриза ул., 87/45).

КАЛБИЕВ Фарган Маммад оглы (Баку) — доктор философии по технике, доцент кафедры «Прикладных и естественных наук». Академия МЧС Азербайджанской Республики (AZ1000, Баку, пос. Говсаны, Э. Гасимова ул.).

Information about the authors

GAFAROV Aidyn Mamish ogly (Baku) — Honoured Scientist of the Republic of Azerbaijan, Doctor of Science (Eng.), Professor, Head of the Scientific and Technical Department, The Ministry of Emergency Situations Academy, Republic of Azerbaijan (AZ1089, Republic of Azerbaijan, Baku, Govsany, E.Gasymov St., e-mail: aydin.qafarov@hotmail.com).

SULEIMANOV Panakh Gusein ogly (Baku) — Doctor of Philosophy (Eng.), Associate Professor, Director of The Ministry of Emergency Situations Academy, Republic of Azerbaijan (AZ1089, Republic of Azerbaijan, Baku, Govsany, E. Gasymov St.)

GAFAROV Vugar Aidyn ogly (Baku) — Candidate of Science (Eng.), Deputy Department Head, Azerbaijan State Oil Company (AZ1089, Republic of Azerbaijan, Baku, Tabriz St., 87/45).

KALBIEV Fargan Mammad ogly (Baku) — Doctor of Philosophy (Eng.), Associate Professor, Department of Applied and Natural Sciences, The Ministry of Emergency Situations Academy, Republic of Azerbaijan (AZ1089, Republic of Azerbaijan, Baku, Govsany, E. Gasymov St.).