

Э.Ш. ДЖЕМИЛОВ, канд. техн. наук, Симферополь, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ БРУСКОВ С ЗАГОТОВКОЙ ПРИ ХОНИНГОВАНИИ КОНИЧЕСКИХ ОТВЕРСТИЙ

У статті представлена модель формування поверхні при хонінгуванні конічних отворів, заснована на вивченні взаємодії інструменту з оброблюваною поверхнею. Модель встановлює зв'язок між контактним тиском, глибиною проникнення зерен і шириною контакту, що дозволяє зв'язати технологічні параметри процесу хонінгування з параметрами ефективності обробки.

В статье представлена модель формирования поверхности при хонинговании конических отверстий, основанная на изучении взаимодействия инструмента с обрабатываемой поверхностью. Модель устанавливает связь между контактным давлением, глубиной внедрения зерен и шириной контакта, что позволяет связать технологические параметры процесса хонингования с параметрами эффективности обработки.

In the article the model of surface forming appears in sharpening of the conical openings, based on the study of collaboration of instrument with the treated surface. A model is set by connection between contact pressure, depth of introduction of grains and width of contact, that allows to link the technological parameters of sharpening process with the parameters of treatment efficiency.

Введение. Процесс контакта алмазно-абразивного инструмента с деталью рассматривается как взаимодействие двух дискретных поверхностей. Контакт реальной рабочей поверхности алмазного бруска с обрабатываемой поверхностью при коническом хонинговании осуществляется при переменной площади контакта и количества зерен, участвующих в резании, образования зазора между заготовкой и бруском [1].

Для равномерного съема припуска в процессе хонингования необходимо обеспечивать равномерное распределение контактного давления между инструментом и заготовкой.

Анализ различных подходов к теории контакта двух дискретных поверхностей [2, 3, 4, 5, 6] показал, что особенности контактирования при хонинговании конических поверхностей отверстий недостаточно изучены, несмотря на то, что конические сопряжения широко распространены в машиностроении.

Ввиду сложности процесса хонингования конических отверстий, необходимо исследовать каждый элементарный участок контактного взаимодействия по длине бруска.

Целью представленных исследований является создание модели, устанавливающей связь между контактными давлением, глубиной внедрения зерен и шириной контакта, что позволяет связать технологические параметры процесса хонингования с параметрами эффективности обработки.

Основные материалы исследования. Коническая поверхность (рис.1) имеет радиус кривизны в нормальном сечении R_3 , практически равный геометрическому радиусу r_3 ($R_3 \approx r_3$).

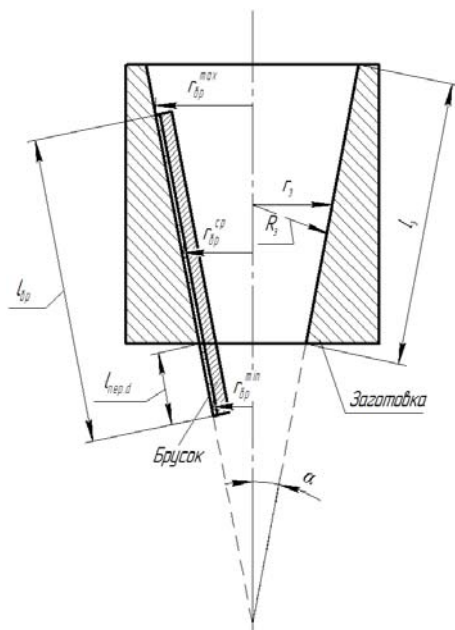


Рисунок 1 – Геометрическая схема подготовки инструмента

Согласно процессу хонингования конических отверстий, перед работой бруски в комплекте с хонинговальной головкой шлифуются по заданному углу конуса в положении выхода инструмента на величину перебега $l_{неп.д}$ из малого диаметра отверстия. При таком положении хонинговальной головки поверхность брусков в процессе хонингования совпадает с обрабатываемой конической поверхностью заготовки.

С учетом геометрической схемы (рис.1) можно получить формулы для максимального $r_{бр}^{max}$ и минимального $r_{бр}^{min}$ радиусов кривизны бруска:

$$r_{бр}^{max} = r_3^{max} - l_{неп.д} \operatorname{tg} \alpha ; r_{бр}^{min} = r_3^{min} - l_{неп.д} \operatorname{tg} \alpha . \quad (1)$$

На расстоянии $l_{оп}/2$ радиус кривизны бруска

$$r_{бр}^{cp} = r_3^{cp} - l_{неп.д} \operatorname{tg} \alpha , \quad (2)$$

где r_3^{cp} – средний радиус заготовки

$$r_3^{cp} = \frac{r_3^{max} + r_3^{min}}{2} . \quad (3)$$

Рассмотрим вначале геометрическую задачу внедрения алмазных зерен бруска (вершины максимально выступающих алмазных зерен бруска

условно ограничиваем линией окружности) в поверхность заготовки (рис. 2.8). Поверхность обрабатываемой заготовки с $Ra = 0,32\text{мкм}$ можно считать абсолютно гладкой по сравнению с поверхностью бруска АС6 500/400-М5-01-100% с $Ra = 34,5\text{мкм}$.

Как видно на рис. 2.8, величина эксцентриситета окружностей бруска и заготовки связана с величиной максимального вдавливания зерна δ_{\max} (равная радиальному перемещению бруска в процессе обработки) соотношением:

$$\varepsilon = r_3 - r_{\text{бр}} + \delta_{\max} \quad (4)$$

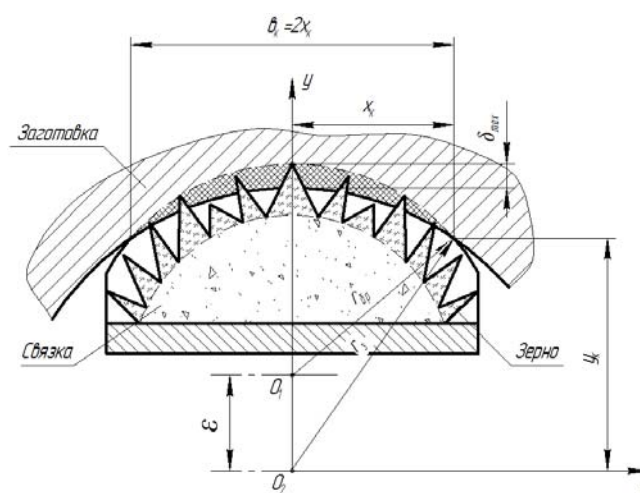


Рисунок 2 – Геометрическая схема внедрения алмазных зерен бруска в поверхность заготовки

В системе координат xoy уравнение окружности заготовки и окружности бруска имеет вид:

$$y_k^2 + x_k^2 = r_3^2 \quad (5)$$

$$(y_k - \varepsilon)^2 + x_k^2 = r_{\text{бр}}^2 \quad (6)$$

Решая (3) и (4) относительно y_k и учитывая (2), получим:

$$y_k = \frac{r_3^2 - r_{\text{бр}}^2 + \varepsilon^2}{2\varepsilon} \quad (7)$$

$$y_k = \frac{r_3^2 - r_{\text{бр}}^2 + (r_3 - r_{\text{бр}} + \delta_{\max})^2}{2(r_3 - r_{\text{бр}} + \delta_{\max})} \quad (7a)$$

Величина δ_{\max} является малой по сравнению с r_3 и $r_{\text{бр}}$.

Тогда разложим (7a) в ряд Тейлора в окрестности точки $\delta_{\max} = 0$ с сохранением первого, линейного, члена разложения:

$$y_{\kappa} = y_{\kappa} \Big|_{\delta_{\max}=0} + \frac{\partial y_{\kappa}}{\partial \delta_{\max}} \Big|_{\delta_{\max}=0} \cdot \delta_{\max} + \dots \quad (8)$$

Из (7), при $\delta_{\max} = 0$:

$$y_{\kappa} \Big|_{\delta_{\max}=0} = r_3,$$

что соответствует случаю касания максимально выступающих зерен бруска с поверхностью заготовки (рис.3).

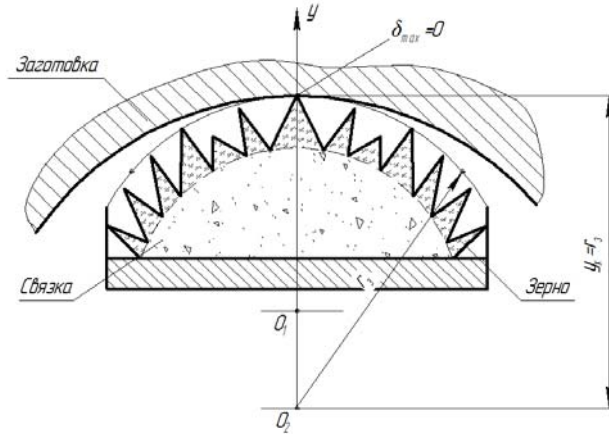


Рисунок 3 – Схема касания алмазных зерен бруска с поверхностью заготовки

Вычислим производную функции (7), предварительно преобразовав ее. В ней величина

$$\varepsilon^2 = (r_3 - r_{\text{оп}} + \delta_{\max})^2 = (r_3 - r_{\text{оп}})^2 + \delta_{\max}^2 + 2\delta_{\max}(r_3 - r_{\text{оп}}) \quad (9)$$

В этом выражении δ_{\max}^2 является величиной более высокого порядка малости, поэтому ею можно пренебречь. Тогда

$$\varepsilon^2 = (r_3 - r_{\text{оп}})^2 + 2\delta_{\max}(r_3 - r_{\text{оп}}) = (r_3 - r_{\text{оп}})(r_3 - r_{\text{оп}} + 2\delta_{\max}) \quad (10)$$

Подставляя (10) в (7) получим:

$$y_{\kappa} = \frac{(r_3 - r_{\text{оп}})(r_3 + \delta_{\max})}{r_3 - r_{\text{оп}} + \delta_{\max}}. \quad (11)$$

Вычислим производную функции (11):

$$\frac{\partial y_{\kappa}}{\partial \delta_{\max}} = \frac{(r_3 - r_{\text{оп}})(r_3 - r_{\text{оп}} + \delta_{\max}) - (r_3 - r_{\text{оп}})(r_3 + \delta_{\max})}{(r_3 - r_{\text{оп}} + \delta_{\max})^2}. \quad (12)$$

При $\delta_{\max} = 0$, (12) равна

$$\left. \frac{\partial y_k}{\partial \delta_{\max}} \right|_{\delta_{\max}=0} = \frac{r_{\text{бп}}}{r_3 - r_{\text{бп}}} . \quad (13)$$

Подставляя (13) в разложение (8), получим:

$$y_k = r_3 - \frac{r_{\text{бп}}}{r_3 - r_{\text{бп}}} \cdot \delta_{\max} . \quad (14)$$

Из (5) вычисляем координату x_k :

$$x_k = \sqrt{r_3^2 - y_k^2} . \quad (15)$$

Подставляя в формулу (15) формулу(14), получим:

$$x_k = \sqrt{\frac{2r_3 r_{\text{бп}}}{r_3 - r_{\text{бп}}} \cdot \delta_{\max}} . \quad (16)$$

Отсюда ширина контактной поверхности бруска:

$$b_k = 2x_k = 2\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{r_3 r_{\text{бп}}}{r_3 - r_{\text{бп}}} \cdot \delta_{\max}} . \quad (17)$$

Рассмотрим отдельно задачу внедрения единичного зерна с боковой поверхностью в форме конуса в пластичную поверхность. Такое упрощающее условие принято для того, чтобы след отпечатка зерна на поверхности заготовки оставался геометрически подобным (рис.4).

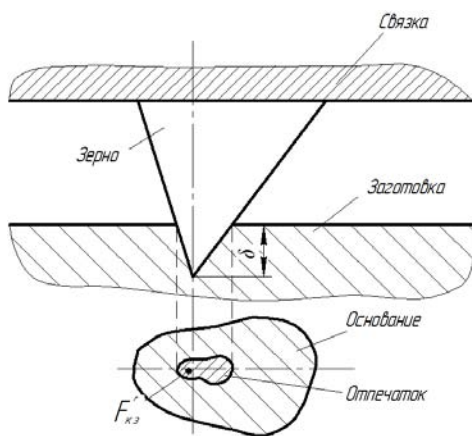


Рисунок 4 – Геометрическая схема внедрения конического зерна в пластичную поверхность

Тогда площадь отпечатка одного зерна:

$$F_{\text{кз}}^r \sim \delta^2 \text{ или } F_{\text{кз}}^r = \beta \cdot \delta^2 , \quad (18)$$

где β – коэффициент, зависящий от формы конического зерна.

Величину β можно определять и экспериментально, вдавливая большими моделями зерна в пластичную плоскую заготовку.

Рассмотрим теперь отдельно задачу внедрения контактирующих (режущих) зерен, расположенных на поверхности бруска, в пластичную поверхность (рис.5).

Пусть номинальная площадь по-

верхности бруска – $F_{кз}^a$.

На единице поверхности бруска имеется \bar{N} контактирующих зерен.
Тогда общее число контактирующих зерен на поверхности бруска:

$$N = \bar{N} \cdot F_{кз}^a = \bar{N} \cdot k_3 \cdot F_{кз}^r , \quad (19)$$

здесь $F_{кз}^a$ – номинальная площадь контакта бруска с пластической поверхностью; $F_{кз}^r$ – фактическая площадь контакта бруска с пластической поверхностью; k_3 – коэффициент, учитывающий связь номинальной и фактической площадей контакта бруска (определяется экспериментально).

При измерении твердости по Виккерсу внедряется правильная четырехгранная пирамида с $\alpha = 60^\circ$. Метод измерения твердости по Виккерсу регламентируется ГОСТом 2999–75. Твердость определяется как отношение силы вдавливания к площади отпечатка

$$HV = \frac{P_y}{F_{кз}^r} , \quad (20)$$

где P_y – сила, приложенная к пирамиде (Н); $F_{кз}^r$ – площадь отпечатка (мм^2).

Тогда
$$P_y = HV \cdot F_{кз}^r . \quad (21)$$

Рассмотрим алмазное зерно вместо пирамиды. Тогда сила на одном зерне будет определяться по формуле:

$$P_{уз} = \omega \cdot HV \cdot F_{кз}^r , \quad (22)$$

где ω – коэффициент, учитывающий отличие формы зерна от формы пирамиды Виккерса.

С учетом (16) получим:

$$P_{уз} = \beta \cdot \omega \cdot HV \cdot \delta^2 . \quad (23)$$

Формула (23) связывает силу вдавливания одного зерна в заготовку с ее твердостью и глубиной внедрения.

Для группы контактирующих зерен \bar{N} :

$$P_{yN_3} = \beta \cdot \omega \cdot HV \cdot \bar{N} \cdot \delta^2 . \quad (24)$$

Коэффициенты β и ω можно определить экспериментально для различных форм зерен, моделируя их микровдавливанием в образец из материала заготовки.

При переходе от состояния покоя к скольжению (микрорезанию) (рис.5) величина внедрения зерна уменьшается, что подтверждается в работах В.Д. Кузнецова [7] и М.М. Хрущова [8].

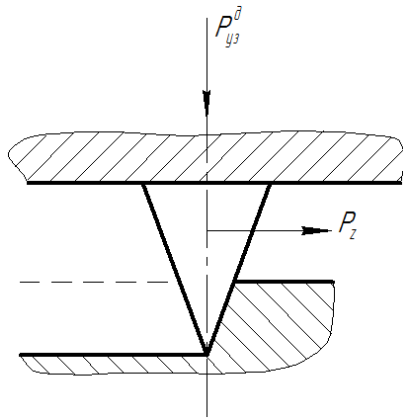


Рисунок 5 – Схема микрорезания

Тогда радиальная составляющая сила резания единичного зерна определяется следующей зависимостью:

$$P_{yз}^0 = \beta \cdot \omega \cdot HV \cdot k_0^2 \cdot \delta^2, \quad (25)$$

где k_0 – коэффициент динамики, учитывающий уменьшение глубины внедрения зерна при резании (устанавливается экспериментально).

С учетом (24) для группы контактирующих зерен:

$$P_{yNз}^0 = \beta \cdot \omega \cdot HV \cdot \bar{N} \cdot k_0^2 \cdot \delta^2. \quad (26)$$

С учетом (19) и (25) нормальная сила, приложенная к бруску с контактной площадью $F_{кз}^a$ равна:

$$P_y = \beta \cdot \omega \cdot k_0^2 \cdot F_{кз}^a \cdot HV \cdot \bar{N} \cdot \delta^2. \quad (27)$$

Номинальное контактное давление бруска:

$$q_y = \frac{P_y}{F_{кз}^a} = \beta \cdot \omega \cdot k_0^2 \cdot HV \cdot \bar{N} \cdot \delta^2. \quad (28)$$

Рассмотрим теперь три различных положения бруска относительно заготовки в пределах длины хода инструмента $L_{ход.бр.}$.

I положение – при перебеге бруска из малого диаметра отверстия (рис.6).

В этом положении имеет место контакт поверхности бруска с заготовкой на длине $(l_{бр} - l_{неп.d})$.

Номинальная площадь контакта:

$$F_{кз}^a = b_{бр} \cdot (l_{бр} - l_{неп.d}) \quad (29)$$

Сила на один брусок:

$$P_y = \beta \cdot \omega \cdot k_0^2 \cdot b_{бр} \cdot (l_{бр} - l_{неп.d}) \cdot HV \cdot \bar{N} \cdot \delta^2. \quad (30)$$

Номинальное контактное давление:

$$q_y = \beta \cdot \omega \cdot k_0^2 \cdot HV \cdot \bar{N} \cdot \delta^2 . \quad (31)$$

Зная по условиям эксперимента P_y , из (28) можно рассчитать глубину внедрения зерна δ .

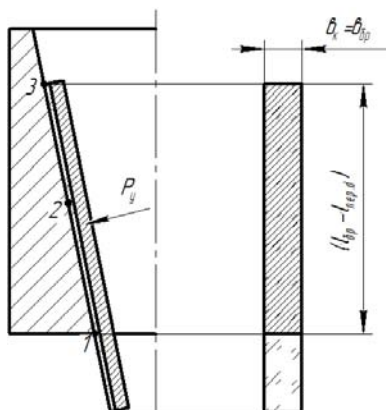


Рисунок 6 – Схема положения бруска относительно заготовки при перебеге из малого отверстия на величину $l_{nep.d}$

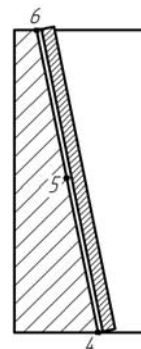


Рисунок 7 – Схема среднего положения бруска относительно заготовки

II положение – среднее относительно заготовки (рис.7).

В точках 4, 5 и 6 имеются следующие характерные радиусы кривизны бруска и заготовки:

	<u>заготовка</u>	<u>брусок</u>
<u>точка 4</u>	$r_3 = r_3^{\min} ;$	$r_{\delta p}^{\min} = r_3^{\min} - l_{nep.d} \cdot tg\alpha ;$
<u>точка 5</u>	$r_3^{cp} = \frac{r_3^{\min} + r_3^{\max}}{2} ;$	$r_{\delta p}^{cp} = \frac{r_{\delta p}^{\min} + r_{\delta p}^{\max}}{2} = r_3^{cp} - l_{nep.d} \cdot tg\alpha ; \quad (32)$
<u>точка 6</u>	$r_3 = r_3^{\max} ;$	$r_{\delta p}^{\max} = r_3^{\max} - l_{nep.d} \cdot tg\alpha ,$

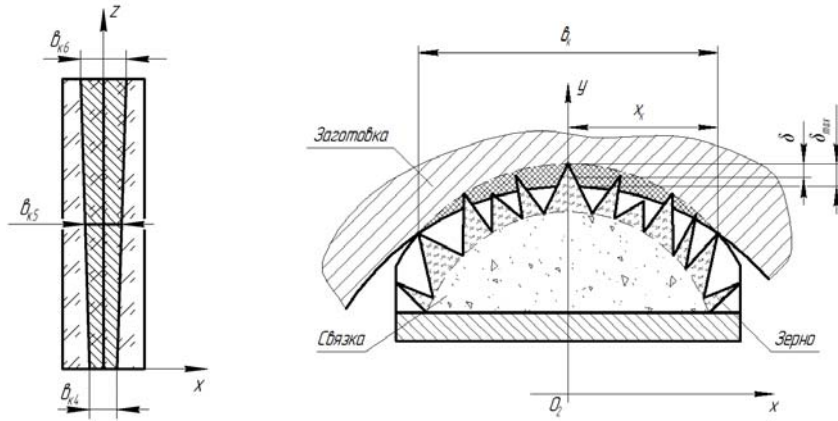
где α – половина угла конуса отверстия заготовки.

В этом положении ширина контакта уже меняется по длине бруска (рис.8).

При этом глубина внедрения зерна меняется и вдоль ширины контакта b_k (вдоль оси x) от δ_{\max} до 0 (рис.9).

Аппроксимируем зависимость глубины внедрения зерна от координаты x квадратичной параболой (рис.9):

$$\delta = \delta_{\max} - \frac{4\delta_{\max}}{b_k^2} \cdot x^2 = \delta_{\max} \left(1 - \frac{4x^2}{b_k^2} \right) . \quad (33)$$



Для упрощения заменим трапецию контакта (рис.8) на прямоугольник с такой же площадью (рис.10).

По формуле (17) вычисляем b_{k5} :

$$b_{k5} = 2\sqrt{2} \sqrt{\frac{r_{35} \cdot r_{\text{оп}5}}{r_{35} - r_{\text{оп}5}} \cdot \delta_{\text{max}}} , \quad (34)$$

где r_{35} и $r_{\text{оп}5}$ определяются по формулам (32).

$$\text{Тогда } F_{\text{ср.кз}}^a = b_{k5} l_{\text{оп}} = 2\sqrt{2} \cdot l_{\text{оп}} \sqrt{\frac{r_{35} \cdot r_{\text{оп}5}}{r_{35} - r_{\text{оп}5}} \cdot \delta_{\text{max}}} . \quad (35)$$

Рассмотрим бесконечно малый элемент поверхности контакта шириной dx (рис.10). Его площадь равна:

$$dF_{\text{кз}}^a = l_{\text{оп}} \cdot dx . \quad (36)$$

Глубина внедрения расположенных на нем зерен согласно (33):

$$\delta = \delta_{\text{max}} \left(1 - \frac{4x_{\text{к}}^2}{b_{k5}^2} \right) . \quad (37)$$

Элементарная сила, приходящаяся на этот элемент поверхности, согласно (27):

$$dP_y = \beta \cdot \omega \cdot k_{\text{д}}^2 \cdot HV \cdot \bar{N} \cdot l_{\text{оп}} \cdot dx \cdot \delta_{\text{max}}^2 \cdot \left(1 - \frac{4 \cdot x_{\text{к}}^2}{b_{k5}^2} \right)^2 . \quad (38)$$

Подставляя (34) в (38), получим:

$$dP_y = \beta \cdot \omega \cdot k_\delta^2 \cdot HV \cdot \bar{N} \cdot l_{\delta p} \cdot \delta_{\max}^2 \cdot \left(1 - \frac{1}{2 \cdot \delta_{\max}} \cdot \frac{r_{35} - r_{\delta p 5}}{r_{35} \cdot r_{\delta p 5}} \cdot x_\kappa^2 \right)^2 dx. \quad (39)$$

Полная сила, действующая на брусок:

$$P_y = 2 \cdot \int_0^{b_{\kappa 5}/2} dP_y = 2 \cdot \beta \cdot \omega \cdot k_\delta^2 \cdot HV \cdot \bar{N} \cdot l_{\delta p} \cdot \delta_{\max}^2 \cdot \int_0^{b_{\kappa 5}/2} \left(1 - \frac{4 \cdot x_\kappa^2}{b_{\kappa 5}^2} \right)^2 dx. \quad (40)$$

Вычислим интеграл:

$$\begin{aligned} I &= \int_0^{b_{\kappa 5}/2} \left(1 - \frac{4x_\kappa^2}{b_{\kappa 5}^2} \right)^2 dx = \int_0^{b_{\kappa 5}/2} \left(1 - \frac{2 \cdot 4x_\kappa^2}{b_{\kappa 5}^2} + \frac{4^2 x_\kappa^4}{b_{\kappa 5}^4} \right) dx = \\ &= \int_0^{b_{\kappa 5}/2} dx - \frac{8}{b_{\kappa 5}^2} \int_0^{b_{\kappa 5}/2} x_\kappa^2 dx + \frac{16}{b_{\kappa 5}^4} \int_0^{b_{\kappa 5}/2} x_\kappa^4 dx = \\ &= \frac{b_{\kappa 5}}{2} - \frac{8}{3} \cdot \frac{1}{b_{\kappa 5}^2} \cdot \frac{b_{\kappa 5}^3}{8} + \frac{16}{b_{\kappa 5}^4} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{b_{\kappa 5}^5}{32} = 0,267 b_{\kappa 5}. \end{aligned}$$

Тогда
$$P_y = 0,53 \cdot \beta \cdot \omega \cdot k_\delta^2 \cdot HV \cdot \bar{N} \cdot l_{\delta p} \cdot b_{\kappa 5} \cdot \delta_{\max}^2. \quad (41)$$

Усредненное контактное давление:

$$q_y = 0,53 \cdot \beta \cdot \omega \cdot k_\delta^2 \cdot HV \cdot \bar{N} \cdot \delta_{\max}^2. \quad (42)$$

После того, как определена величина перемещения бруска под действием силы P_y (она задана), по формуле (31) в любой точке можно рассчитать значение номинального контактного давления q_y .

Величина δ рассчитывается по формуле (33) для каждого характерного поперечного сечения бруска.

Выделим на поверхности контакта бесконечно малый элемент (рис.11).

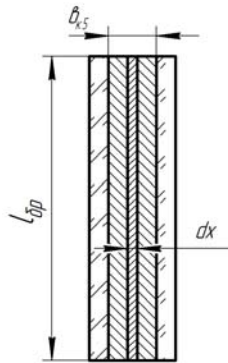


Рисунок 10 – Упрощенная схема контакта бруска с заготовкой

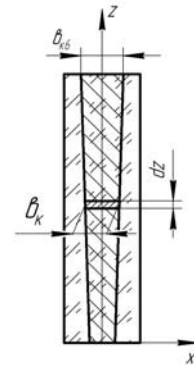


Рисунок 11 – Схема контакта при среднем положении бруска относительно заготовки

При этом уже будем учитывать как переменность q_y , так и ширину контактной поверхности бруска b_k .

Рассмотрим схему (рис.9) и формулу (33). В ней величина δ_{\max} уже известна и контактное давление рассчитано по формуле (42).

Рис.12 отображает эпюру q_y на элементе.

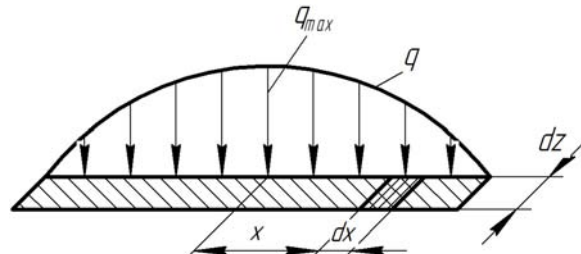


Рисунок 12 – Эпюра распределения контактных давлений на поверхности бруска

Величина q_y в любой точке определяется по формуле (28), а δ – по формуле (33).

Для пользования формулой (33) необходимо в каждом поперечном сечении уметь рассчитывать радиусы кривизны бруска - $r_{\text{бп}}$ и заготовки - r_3 , то есть получить для $r_{\text{бп}}$ и r_3 зависимости от координаты z (рис.11). Это можно сделать по геометрической схеме (рис.7). Но для инженерных расчетов можно и ограничиться определением линейно распределенной нагрузки p_y в трех характерных точках (рис.7) – точка 4, точка 5 и точка 6. Для этих точек получены выражения $r_{\text{бп}}$ и r_3 в формуле (32).

Пусть, например, бесконечно малый элемент (рис.11) проходит через верхнюю точку 6. Для нее имеем из формулы (32):

$$r_{\text{бп6}} = r_3^{\max} - l_{\text{неп.д}} \cdot \text{tg} \alpha ; r_{36} = r_3^{\max} . \quad (43)$$

По формуле (17) вычисляем:

$$b_{к6} = 2\sqrt{2} \sqrt{\frac{r_{36} \cdot r_{\text{бп6}}}{r_{36} - r_{\text{бп6}}} \cdot \delta_{\max}} . \quad (44)$$

Номинальное контактное давление в любой точке этого элемента с учетом (28) и (33):

$$q_y = \beta \cdot \omega \cdot k_{\delta}^2 \cdot HV \cdot \bar{N} \cdot \delta_{\max}^2 \cdot \left(1 - \frac{4 \cdot x_k^2}{b_{к6}^2}\right) . \quad (45)$$

Сила, действующая на бесконечно малом элементе с размерами $dx \times dz$ (рис.11), равна:

$$d\bar{p}_y = q_y \cdot dx \cdot dz = \beta \cdot \omega \cdot HV \cdot \bar{N} \cdot \delta_{\max}^2 \cdot \left(1 - \frac{4 \cdot x_{\kappa}^2}{b_{\kappa 6}^2}\right)^2 \cdot dx \cdot dz . \quad (46)$$

Сила, приходящаяся на всю полосу шириной dz :

$$dp_y = 2 \cdot \int_0^{b_{\kappa 6}/2} d\bar{p}_y . \quad (47)$$

Этот интеграл вычисляется аналогично выше рассмотренному интегралу для P_y (41) и (42).

Тогда имеем:

$$dp_y = 0,53 \cdot \beta \cdot \omega \cdot k_0^2 \cdot HV \cdot \bar{N} \cdot b_{\kappa 6} \cdot \delta_{\max}^2 \cdot dz . \quad (48)$$

Сила, приходящаяся на единицу длины бруска, есть приведенная линейно распределенная нагрузка p_y :

$$p_{y6} = \frac{dp_y}{dz} = 0,53 \cdot \beta \cdot \omega \cdot k_0^2 \cdot HV \cdot \bar{N} \cdot b_{\kappa 6} \cdot \delta_{\max}^2 . \quad (49)$$

Для любого произвольного поперечного сечения бруска (или в любой его точке на продольной оси симметрии z), приведенная линейно распределенная нагрузка p_y равна:

$$p_y = 0,53 \cdot \beta \cdot \omega \cdot k_0^2 \cdot HV \cdot \bar{N} \cdot b_{\kappa} \cdot \delta_{\max}^2 . \quad (50)$$

По формуле (50) можно построить эпюру p_y вдоль оси бруска и сравнить ее с экспериментальной.

Из формулы (28) следует, что максимальное контактное давление q_y^{\max} в середине ширины контакта равно:

$$q_y^{\max} = \beta \cdot \omega \cdot k_0^2 \cdot HV \cdot \bar{N} \cdot \delta_{\max}^2 . \quad (51)$$

С учетом (50) и (51) связь между линейно распределенной нагрузкой p_y и средним по ширине контактными давлением q_y^{\max} имеет вид:

$$q_y^{\max} = 1,9 \cdot \frac{p_y}{b_{\kappa}} . \quad (52)$$

Точность обработки конических отверстий зависит от припуска обработки, что обеспечивается при равномерном внедрении режущих зерен по длине алмазного бруска в обрабатываемую поверхность.

Формула (50) позволяет определить глубину внедрения режущих зерен в любом поперечном сечении бруска:

$$\delta_{\max} = k_{\delta} \sqrt{\frac{p_y}{\beta \cdot \omega \cdot HV \cdot \bar{N} \cdot b_{\kappa}}} \quad (53)$$

Как следует из формулы (53), равномерность внедрения режущих зерен из-за изменения ширины контакта по длине бруска зависит от величины p_y в каждом поперечном сечении. Постоянство δ_{\max} можно достичь при использовании инструмента, сконструированного на основе результатов экспериментального исследования контактного взаимодействия с заготовкой.

Модель отражает как статическую, так и динамическую сущность процесса хонингования конических отверстий.

Список использованных источников: 1. *Джемилев Э.Ш.* Исследование контакта режущей поверхности бруска с деталью при хонинговании конических отверстий / Джемилев Э.Ш. – Севастополь: СевНТУ, 2008. – т.1. - с.47-48. – (Материалы международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Прогрессивные направления развития машино-приборостроительных отраслей и транспорта», 12-16 мая, 2008 г.). 2. *Демкин Н.Б.* Контактное взаимодействие шероховатых поверхностей / Демкин Н.Б. – М.: Наука, 1970. – 227 с. 3. *Рудзит Я.Н.* Микрогеометрия и контактное взаимодействие поверхностей / Рудзит Я.Н. – Рига: Зинатне, 1975. – 214 с. 4. *Фрагин И.Е.* О сущности явлений в контакте хонинговального бруска и обрабатываемой детали / Фрагин И.Е. – М.: Машиностроение, 1975. – с. 96 – 100. – (Физика и химия обработки материалов; № 5). 5. *Фрагин И.Е.* Исследование процесса хонингования / Фрагин И.Е., Сафронов В. – М.: НИИМАШ, 1965. – 178 с. 6. *Чеповецкий И.Х.* Механика контактного взаимодействия при алмазной обработке / Чеповецкий И.Х. – К.: Наукова думка, 1978. – 224 с. 7. *Кузнецов В.Д.* Наросты при резании и трении / Кузнецов В.Д. – М.: Машгиз, 1957. 8. *Хрущов М.М., Бабичев М.А.* Исследование изнашивания металлов / Хрущов М.М., Бабичев М.А. – М.: АН СССР, 1960.