

УДК 621.923.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАБОТКИ КРОМКИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ НА ОПЕРАЦИИ АЛМАЗНОГО ХОНИНГОВАНИЯ

В. А. Огородов

semper_novi@mail.ru

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 19.04.2013

Аннотация. Разработана имитационная модель и исследованы условия образования заусенцев на кромках пересечения радиального отверстия с обрабатываемой поверхностью при хонинговании. Изучена возможность предотвращения образования заусенца на кромке пересечения посредством придания траектории алмазных зерен при смене направления осевого движения хонинговальной головки конфигурации, совпадающей с формой обрабатываемой кромки пересечения.

Ключевые слова: хонингование; кромка пересечения; заусенец; имитационная модель; способ хонингования; траектория движения алмазного зерна; предотвращение образования заусенца

Метод хонингования является одним из основных методов размерной обработки прецизионных отверстий в деталях топливной, гидравлической и контрольно-измерительной аппаратуры.

Однако применение хонингования на операциях окончательной обработки деталей указанных типов ограничено образованием заусенцев на кромках пересечений обрабатываемой поверхности и радиальных отверстий, что по техническим условиям изготовления деталей не допускается [1]. Поэтому исследование условий и разработка средств предотвращения образования заусенцев на кромках пересечений является в настоящее время актуальной проблемой всех методов механической обработки, включая хонингование.

Очевидно, что появление заусенцев обусловлено многократным выдавливанием частиц металла при выходе с обрабатываемой поверхности за кромку пересечения множества царапающих ее алмазных зерен, имеющих в среднем большие отрицательные передние углы и значительные радиусы округления режущих кромок. При этом также очевидно, что размер заусенцев в каждой точке кромки пересечения определяется количеством выходов алмазных зерен с обрабатываемой поверхности в этой точке.

Вследствие совмещения вращательного и возвратно-поступательного движений инстру-

мента и периодической смены направления его движения алмазные зерна, расположенные случайным образом на режущей поверхности брусков, перемещаются по обрабатываемой поверхности по винтовой линии, создавая характерную для хонингования сетку следов. Поэтому число зерен, проходящих через кромку пересечения, постоянно меняется в процессе хонингования. В свою очередь для каждого алмазного зерна изменяется точка кромки пересечения выхода с обрабатываемой поверхности. Поэтому можно предположить, что на кромке пересечения есть участки, наиболее подверженные образованию заусенца.

Для проверки этой гипотезы была разработана имитационная модель, позволяющая рассчитать количество выходов алмазных зерен с обрабатываемой поверхности через кромку пересечения за заданное время хонингования.

В основу разработанной имитационной модели положено допущение о том, что число алмазных зерен и их расположение на режущей поверхности хонинговального бруска не изменяется за время обработки, что вполне соответствует стойкости алмазных брусков на металлической связке.

Второе принятое допущение – распределение алмазных зерен по режущей поверхности брусков равномерное. Их число определяется по результатам исследований фактической площа-

ди контакта алмазного инструмента с деталью, изложенным в работе [2].

Направление движения брусков в модели по обрабатываемой поверхности принято слева направо при их начальном осевом перемещении сверху вниз.

Имитационное моделирование осуществлялось в форме численного эксперимента при следующих исходных данных.

Хонингованию подвергается отверстие диаметром 18 мм и длиной 50 мм в детали из стали 40Х (HRC 48...52). Хонингуемая поверхность пересекается радиальным отверстием диаметром 4 мм, расположенным посередине детали. Обработка производится хонинговальной головкой с двумя алмазными брусками длиной 50 мм и шириной 6 мм. Характеристика брусков – АСВ 80/63 М1-100%. Количество режущих алмазных зерен на поверхности бруска по данным исследований [2] составляет 452 шт. на номинальной площади контакта 1 см^2 и номинальном давлении брусков на обрабатываемую поверхность 400 кПа. Окружная и осевая скорости хонинговальной головки равны 32 м/мин и 8 м/мин соответственно. Задержка брусков у краев отверстия при реверсе их осевого движения отсутствует. Время хонингования принято 90 с.

Указанные режимы обработки выбраны по данным работ [2, 3] из условия обеспечения максимальной исправляющей способности хонингования.

Результаты численного эксперимента приведены на рис. 1.

Распределение числа выходов зерен с обрабатываемой поверхности через кромку пересечения

представлено в полярных координатах в виде угловой гистограммы, построенной для наглядности по 72 интервалам (рис. 1, а). Ее анализ показывает, что образование заусенцев следует ожидать на левой стороне кромки пересечения на дуге размером 130° в пределах от 295° (-65°) до 65° .

При этом в наибольшей степени подвержен образованию заусенца участок кромки с угловыми координатами от -5° по 5° , где наблюдается двойное увеличение числа выходов зерен за кромку пересечения по сравнению с участком кромки 60 – 65° .

Такое увеличение объясняется тем, что через этот участок кромки пересечения зерна проходят при осевом движении брусков как вниз, так и вверх.

Поскольку точность процесса хонингования зависит от продолжительности обработки, было изучено влияние времени хонингования на количество сходов для разных участков кромки пересечения, которое показало (рис. 1, б), что нарастание количества сходов во всех сечениях кромки происходит равномерно в течение процесса обработки.

Следовательно, для предотвращения образования заусенца достаточно обеспечивать периодическое движение зерен вдоль кромки пересечения.

Как было уже указано выше, хонингование в основном применяется для устранения исходных отклонений формы обрабатываемого отверстия, при этом эффективность процесса исправления зависит от множества факторов, которые оказывают при этом влияние и на образование заусенцев.

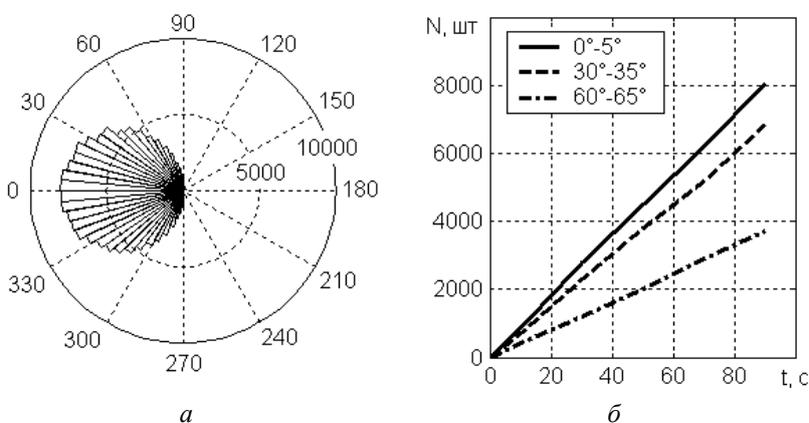


Рис. 1. Результаты расчетов числа выходов зерен с кромки пересечения:

а – угловая гистограмма; б – изменение количества выхода зерен с кромки пересечения во времени

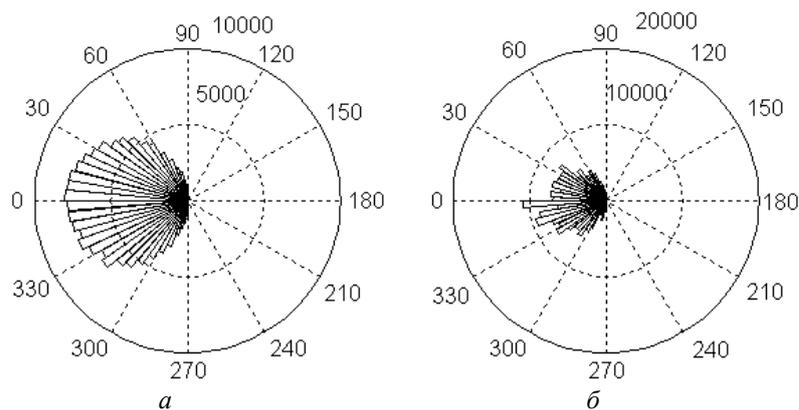


Рис. 2. Влияние времени задержки брусков на число выходов зерен с кромки пересечения для времени задержки 0,0075 с (*a*) и 0,0375 с (*б*)

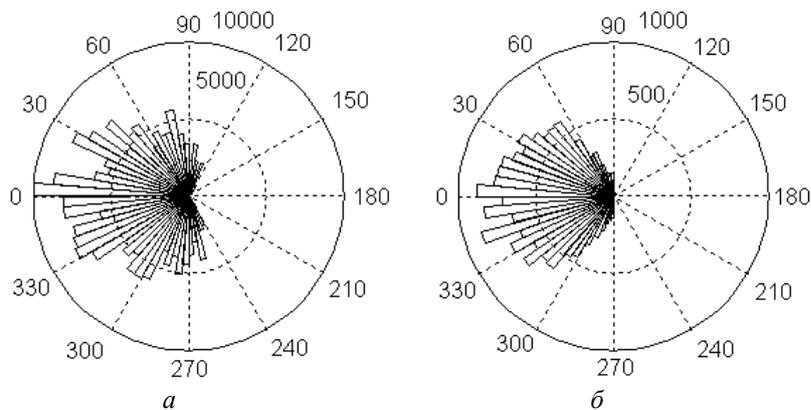


Рис. 3. Влияние угла скрещивания и зернистости брусков на число выходов зерен с кромки пересечения: *a* – угол скрещивания 90°; *б* – зернистость брусков 630/500

К их числу следует отнести: время задержки брусков у краев отверстия при реверсе осевого движения, угол пересечения следов обработки α (который определяется отношением осевой скорости брусков к окружной), зернистость алмазных брусков, размер кромки пересечения и ее расположение по длине отверстия.

При изучении влияния продолжительности задержки брусков на количество выходов зерен с обрабатываемой поверхности за кромку пересечения установлено (рис. 2), что увеличение длительности задержки может привести к существенному увеличению заусенца. Однако при этом протяженность дуги кромки, подверженной образованию заусенца, не меняется.

Для выявления зависимости количества выходов зерен за кромку пересечения от угла пересечения следов обработки α была рассчитана угловая гистограмма для обработки отверстия с увеличенной (до значения окружной скорости)

осевой скоростью движения брусков и соответственно значению α , равном 90° (рис. 3, *a*).

Анализ представленной на рис. 3, *a* гистограммы показывает, что увеличение этого угла α привело к значительному, до 240°, увеличению протяженности дуги кромки, на которой может образоваться заусенец. Поэтому можно ожидать, что при вибрационном хонинговании [2], характеризуемом большим диапазоном изменения угла скрещивания в течение цикла обработки, протяженность зоны кромки, подверженной образованию заусенца может быть еще более значительной.

При этом можно отметить общее возрастание количества выходов зерен с кромки пересечения, но оно объясняется увеличением скорости резания за счет большей осевой скорости брусков, в результате чего за то же время хонингования совершается большее количество проходов брусков через кромку пересечения.

Для изучения влияния зернистости алмазных брусков на количество выходов зерен с обрабатываемой поверхности за кромку пересечения была рассчитана угловая гистограмма (рис. 3, б) для обработки с использованием крупнозернистых брусков АСК 630/500-МП4-50%, для которых количество контактирующих алмазных зерен с обрабатываемой поверхностью при номинальной площади контакта 1 см^2 и номинальном давлении брусков на обрабатываемую поверхность 400 кПа по данным исследований [2] равно 43.

Приведенная на рис. 3, б гистограмма показывает, что применение крупнозернистых брусков для ускорения съема материала с обрабатываемой поверхности вследствие меньшего количества зерен на режущей поверхности бруска приводит, как ожидалось, к уменьшению количества выходов зерен с обрабатываемой поверхности за кромку пересечения.

При этом следует иметь в виду, что по данным работы [2] средневзвешенная площадь контакта алмазных зерен брусков характеристики АСК 630/500-МП4-50% при номинальной площади контакта 1 см^2 на порядок больше, чем для брусков АСВ 80/63 М1-100% (1,57 и $0,19 \text{ мм}^2$ соответственно), что свидетельствует о большей глубине внедрения крупных зерен в обрабатываемую деталь и большем объеме выдавливаемых частиц металла за кромку пересечения. Поэтому уменьшение количества выходов зерен брусков крупной зернистости с обрабатываемой поверхности за кромку пересечения может не привести к уменьшению образующегося заусенца на ней.

Для установления влияния расположения кромки пересечения и ее размера на распределение количества выходов зерен через нее были

произведены расчеты для кромки, расположенной ближе к краю отверстия – на расстоянии $\frac{1}{4}$ длины образующей, а также для кромки диаметром 6 мм, что соответствует реальным конструкциям деталей топливной, гидравлической и контрольно-измерительной аппаратуры. Угловые гистограммы, построенные по результатам этих расчетов, приведены на рис. 4.

Как видно на гистограмме 4, а, приближение кромки к краю обрабатываемого отверстия приводит к некоторому уменьшению числа выходов зерен через кромку, что объясняется особенностями кинематики процесса хонингования, вследствие чего области отверстия у его краев обрабатываются меньшим числом зерен, чем посередине отверстия [2, 4].

Из анализа гистограммы, приведенной на рис. 4, б, следует, что увеличение диаметра кромки пересечения приводит к соответствующему росту количества выходов с нее. Однако при этом следует учесть, что угловая гистограмма не отражает линейных размеров кромки. При одном угловом размере дуги кромки увеличение ее радиуса приводит к пропорциональному увеличению длины дуги. Поэтому через дугу большего радиуса при одном угловом размере проходит пропорционально большее число зерен.

Таким образом, в результате имитационного моделирования выявлено, что при алмазном хонинговании различные точки кромки пересечения в разной степени подвержены образованию заусенца. При этом установлено, что наиболее подвержена образованию заусенца крайняя левая точка кромки пересечения (с нулевой угловой координатой при движении брусков по обрабатываемой поверхности слева направо).

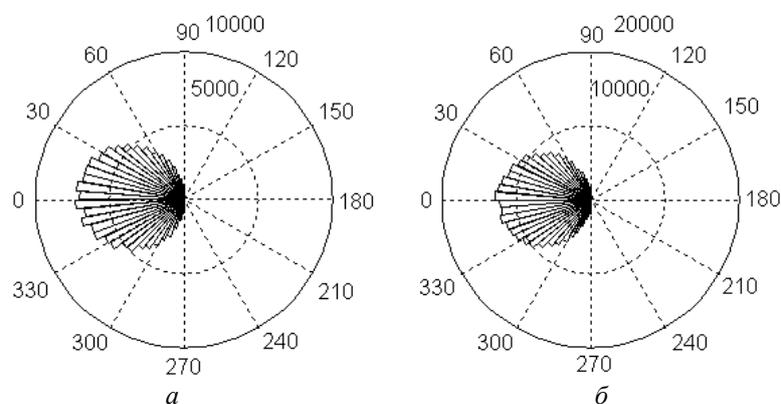


Рис. 4. Влияние конструктивных параметров кромки пересечения на число выходов зерен: а – кромка у края отверстия; б – диаметр кромки 6 мм

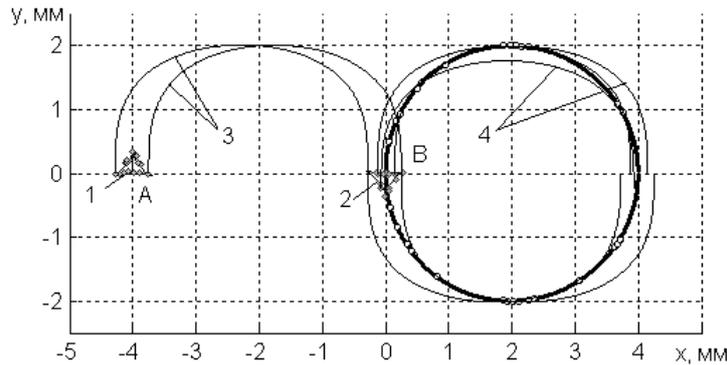


Рис. 5. Траектории зерен, обрабатывающих нижнюю (3) и верхнюю (4) полуокружности кромки пересечения

Кроме того, проведенные расчеты показали, что при алмазном хонинговании протяженность зоны образования заусенца на кромке пересечения зависит от угла пересечения следов обработки α , определяемого кинематикой формообразующих движений – увеличение этого угла приводит к увеличению протяженности зоны образования заусенца.

Для предотвращения образования заусенца на кромке пересечения при алмазном хонинговании в работе [5] предложено обеспечивать периодическое движение алмазных зерен вдоль кромки по траекториям режущих алмазных зерен, заданных в параметрическом виде:

$$\begin{cases} x = V_{\text{ок}}t - A_{\text{ок}} \sin(2\pi f_{\text{ок}}t), \\ y = A_{\text{ос}} \sin(2\pi f_{\text{ос}}t), \end{cases} \quad (1)$$

где x и y – координаты режущего зерна в текущий момент времени t ; $V_{\text{ок}}$ – скорость вращательного движения хонинговальной головки; $A_{\text{ок}}$ – амплитуда окружных синусоидальных колебаний, $A_{\text{ок}} = r/\pi$; $f_{\text{ок}}$ – частота окружных синусоидальных колебаний, $f_{\text{ок}} = V_{\text{ок}}/(2r)$; r – радиус кромки пересечения; $A_{\text{ос}}$ – амплитуда осевых синусоидальных колебаний, $A_{\text{ос}} = r$; $f_{\text{ос}}$ – частота осевых синусоидальных колебаний, $f_{\text{ос}} = f_{\text{ок}}/2$.

Однако, как показали расчеты, результаты которых представлены на рис. 5, для полной обработки всей кромки пересечения при использовании зависимостей (1) требуется множество зерен, координаты которых должны располагаться на строго определенных кривых 1 и 2, принадлежащих зонам A и B режущей поверхности бруска соответственно для обработки нижней и верхней полуокружностей кромки. При этом каждое алмазное зерно, двигаясь по

своей траектории (например, 3 из зоны A или 4 из зоны B), обрабатывает только свой участок кромки пересечения.

Размер зон A и B незначителен (составляет всего $0,148r \times 0,208r$ по направлениям $x \times y$), что, учитывая ограниченное количество алмазных зерен и их случайное расположение на режущей поверхности бруска, обуславливает необходимость многократной обработки кромки пересечения в течение всего процесса хонингования для предотвращения образования заусенца.

Поскольку закономерности (1) реализуются при нулевой осевой скорости хонингования, то очевидно, что удаление заусенцев на кромке пересечения можно производить при каждой смене направления осевого движения брусков за время их задержки у краев отверстия.

При этом минимальная продолжительность задержки должна определяться из условия того, что все зерна из зоны A (рис. 5) смогут принять участие в обработке кромки пересечения. Это время равно, как видно на рис. 5, периоду $T = f_{\text{ос}}^{-1}$ функции, заданной системой (1). Максимальная продолжительность задержки брусков ограничена требованием обеспечения точности геометрической формы обрабатываемого отверстия [3, 4].

Для оценки возможностей рассматриваемого способа хонингования было проведено его имитационное моделирование, которое включало в себя определение всех угловых положений брусков при реверсе их осевого движения в течение операции хонингования и координат тех алмазных зерен, траектории которых за время задержки имеют общую касательную с кромкой пересечения и проходят внутри нее на заданном расстоянии, что приводит к срезанию заусенца.

Таблица 1

Данные экспериментальных исследований [2] фактической площади контакта алмазного бруска с деталью на номинальной площади 1 см²

Характеристика алмазного бруска	Обрабатываемый материал	Фактическая площадь контакта, мм ²	Число контактирующих зерен, шт.	Максимальная площадь контакта алмаза с деталью
АСВ 80/63 М1-100%	Сталь 40Х (HRC = 48...52)	0,19	452	3,40×10 ³ , мкм ²

Алмазные зерна при моделировании представлены в форме тел вращения (например, сфер [2], эллипсоидов, цилиндров и т. п.), ось которых перпендикулярна режущей поверхности бруска. Поэтому сечение зерна в плоскости кромки представляет собой круг, диаметр которого рассчитывается по величине экспериментально полученной в работе [2] фактической площади контакта алмазных зерен с деталью.

При обработке кромки зерно касается ее своей боковой режущей кромкой. Поэтому в качестве необходимого условия удаления заусенца принято, что расстояние, на котором траектория центра зерна проходит изнутри обрабатываемой кромки пересечения и вдоль нее, должно быть не более радиуса наибольшего размера алмазного зерна и не менее радиуса округления при вершине зерен.

Поскольку эффективность удаления частиц металла с обрабатываемой поверхности при алмазном хонинговании в существенной степени зависит от переднего угла режущей кромки зерна [2], то в процессе движения алмазного зерна по сложной траектории вдоль криволинейной кромки пересечения передний угол его боковой режущей кромки может изменяться как в сторону уменьшения, так и увеличения, выходя при этом за известные пределы и делая невозможным срезание заусенца.

По этой причине при моделировании принято, что удаление заусенца происходит, только если угол между касательными к кромке и к соответствующей точке траектории зерна не превышает 5°, гарантируя тем самым нахождение переднего угла режущей кромки в нужных пределах.

Эффективность рассматриваемого способа хонингования при моделировании оценивалась по следующим показателям, а именно: суммарной протяженности обработанных участков кромки, частоте обработки различных участков кромки пересечения, расстоянию между траекторией зерна и обрабатываемой кромкой, а также по длине дуги траектории зерна, обрабаты-

вающего кромку при выполнении необходимых условий удаления заусенца.

Исходными данными при проведении численного эксперимента по описанной имитационной модели послужили те же, что и для расчета количества выходов алмазных зерен с обрабатываемой поверхности через кромку пересечения за заданное время хонингования. В частности, из-за высокой стойкости алмазных брусков на металлической связке принято допущение о том, что число алмазных зерен и их расположение на режущей поверхности хонинговального бруска не изменяется за время обработки.

Размер алмазных зерен рассчитан по известным данным [2] (табл. 1): максимальный – 0,032898 мм, средневзвешенный – 0,011567 мм, минимальный радиус принят равным 1 мкм.

Продолжительность задержки брусков у краев обрабатываемого отверстия установлена 0,015 с, что равно времени одного периода функции (1) для принятого режима хонингования.

В результате проведенного численного эксперимента установлено, что за время хонингования бруски 684 раза меняли направление своего осевого движения. Из них в среднем в 41 ± 1 случаях каждый брусок хонинговальной головки занимал положения, из которых во время реверса брусков производилась обработка кромки пересечения.

Из всего полученного множества вариантов расположения всех зерен брусков (их более 221 тысячи) относительно кромки пересечения за время хонингования в конкретной реализации случайного распределения зерен на режущей поверхности хонинговальных брусков удовлетворили указанным выше условиям обработки кромки координаты 9 зерен для удаления заусенца на верхней полуокружности и 10 – на нижней. Эти зерна, двигаясь по траектории, касательной к кромке и изнутри нее, на отдельных участках этой траектории удаляют заусенец.

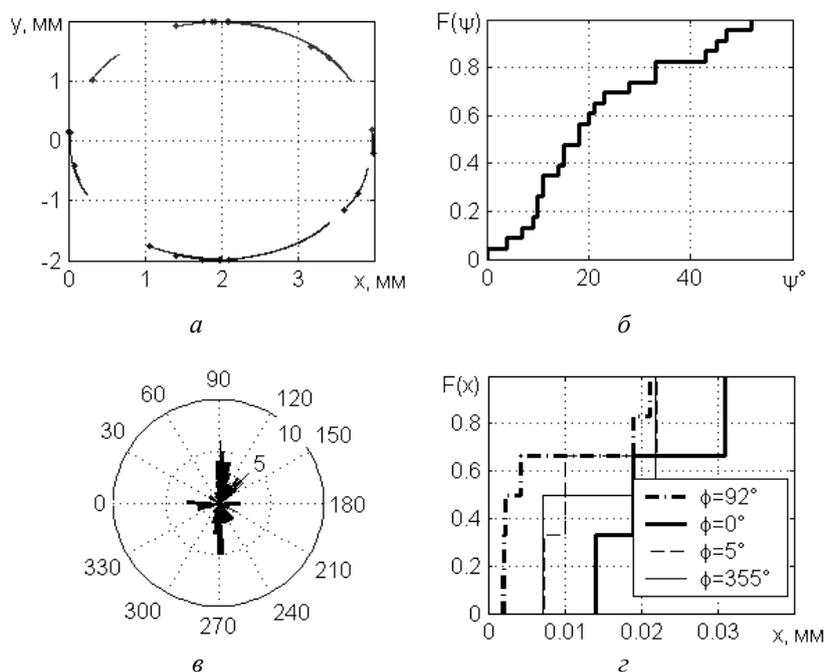


Рис. 6. Результаты расчетов по обработке кромки пересечения в течение операции хонингования:
 а – траектории обработки; б – кумулятивная функция распределения длины дуги;
 в – частота обработки; г – кумулятивная функция распределения расстояния до кромки

В качестве примера на рис. 6, а показаны эти участки траекторий. Начало каждого из них выделено жирной точкой. Таких участков траекторий для верхней полуокружности кромки выявлено 10 и соответственно 13 для нижней.

В результате обработанными на верхней полуокружности кромки оказались три дуги с суммарной протяженностью $107,0^\circ$. На нижней полуокружности было обработано четыре дуги кромки с суммарной протяженностью $140,0^\circ$. При этом, что очень важно, траектории трех зерен проходили около кромки с угловой координатой $\phi = 0^\circ$ (рис. 7).

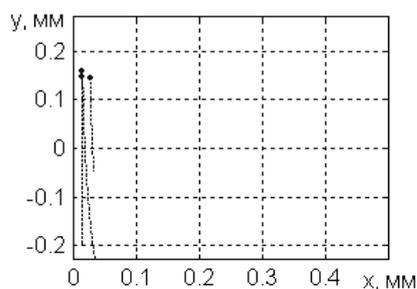


Рис. 7. Траектории зерен около кромки пересечения с координатой 0°

При небольшом количестве зерен, участвующих в обработке кромки, эффективность удаления заусенца на кромке в существенной степени зависит от протяженности контакта зерна с кромкой.

При большей протяженности контакта кромку можно обработать меньшим числом зерен, и при этом увеличивается частота обработки различных участков кромки

Результаты расчетов протяженности (длины) всех дуг обработки представлены на рис. 6, б в форме кумулятивной функции распределения со следующими статистическими характеристиками: минимальная длина дуги составляет 0° (траектория только в одной точке кромки удовлетворяет требованиям срезания заусенца); максимальная – 52° ; математическое ожидание – $21,2^\circ$; а медиана – $18,0^\circ$; среднеквадратическое отклонение – $14,6^\circ$.

Очевидно, что важнейшим фактором, влияющим на эффективность удаления заусенца на кромке, является количество проходов зерен вдоль отдельных ее участков. Результаты расчетов этого показателя приведены в виде круговой диаграммы (рис. 6, в), на которой видно, что наиболее интенсивное удаление заусенца следует ожидать в зонах с угловыми координатами 90°

и 270° , где количество проходов зерен составляет 6–5 раз.

При этом около зон кромки с угловыми координатами 0 и 180° за время хонингования зерна проходили соответственно по 3 и 2 раза. Последний факт, возможно, связан с тем, что в указанных зонах кривизна траектории (1) меняет свой знак, и поэтому принятое при моделировании требование к предельной величине угла между касательными к кромке и к соответствующей точке траектории зерна, необходимое для удаления заусенца, не выполняется.

Для оценки возможной величины образующегося при хонинговании заусенца был определен закон распределения расстояния, на котором зерно проходит вдоль обрабатываемого участка кромки. На рис. 6, *г* полученное для рассматриваемой реализации операции хонингования распределение представлено в виде кумулятивной функции для нескольких участков кромки, в том числе для участка с максимальной частотой прохождений зерен (угловая координата 92°).

Статистические исследования рассматриваемого способа предотвращения образования заусенцев при хонинговании, состоящие в многократном повторении опыта при различных положениях алмазных зерен на режущей поверхности бруска, но при одних и тех же положениях брусков в точках реверса осевого движения подтвердили, что за время хонингования обработка кромки происходит неравномерно (рис. 8). Наибольшее количество проходов зерен

наблюдается в зоне кромки с координатой $359^\circ - 0^\circ$ и составляет в среднем 2–3 раза (рис. 8, *а*), что согласуется с принципами, положенными в основу выбора закона движения зерен (1).

Большое число проходов зерен на расстоянии обработки выявлено также около участков кромки с угловыми координатами 90 , 180 и 270° , где в среднем составляет 2 раза, однако обрабатываемые участки кромки в зонах с угловыми координатами 90 и 270° имеют большую протяженность, чем в зонах 0 и 180° .

Для изучения причин этого явления были проведены статистические исследования протяженности обрабатываемых участков кромки (рис. 8, *б*) и их расположения. В результате установлено, что в среднем верхняя полуокружность кромки обрабатывается на 8–9 участках. При этом зона кромки с угловой координатой 90° принадлежит участкам с наибольшей протяженностью обработки одним зерном (от 51 до 45°), начало которых лежит в одной из двух зон на верхней полуокружности: в диапазоне координат от 88 до 91° или на участке от 43 до 45° . Аналогичная картина отмечается и для нижней полуокружности кромки.

При определении статистических характеристик расстояния траектории зерна до обрабатываемой кромки в точке, где выявлено максимальное число проходов зерен (рис. 8, *в*), были получены значения математического ожидания этой случайной величины и ее медианы, которые соответственно равны $0,01639098920716$ мм и $0,01614668179347$ мм.

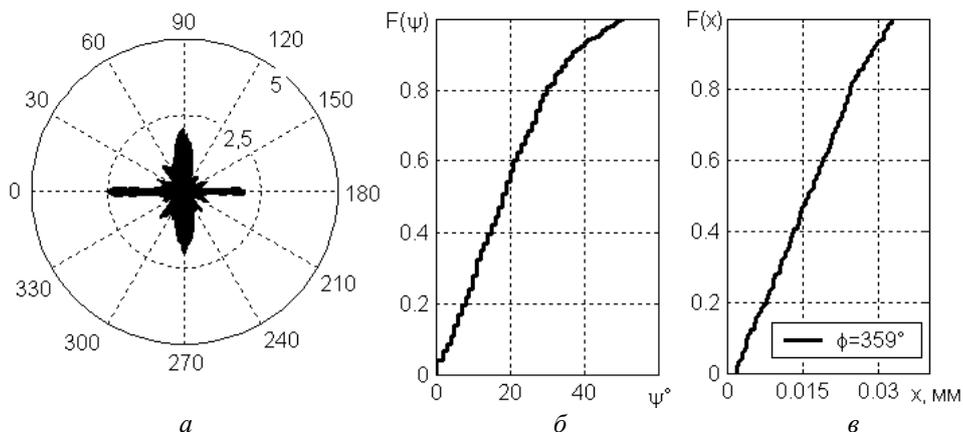


Рис. 8. Результаты статистических исследований обработки кромки пересечения при хонинговании: *а* – средняя частота обработки; *б* – кумулятивная функция распределения длины дуги; *в* – кумулятивная функция распределения расстояния до кромки

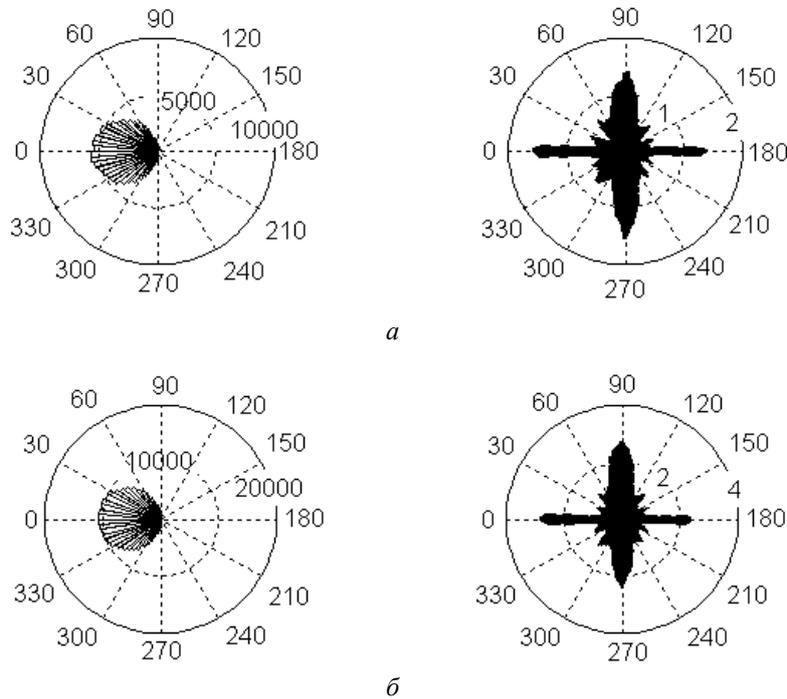


Рис. 9. Влияние ширины брусков на обработку кромки пересечения:
а – 4 мм; б – 8 мм

Сравнение этих значений показывает, что распределение вероятности расстояния между кромкой и траекторией зерна можно принять равномерным.

Таким образом, проведенные исследования показали, что эффективность рассматриваемого способа удаления заусенца на кромке пересечения зависит от количества зерен, ее обрабатывающих – для более качественной обработки кромки требуется большее количество зерен. Одним из возможных и очевидных способов увеличения их числа является применение более широких брусков.

На рис. 9 приведены результаты расчетов по обработке кромки пересечения брусками шириной 4 и 8 мм. Из анализа круговых гистограмм на рис. 8 следует, что увеличение ширины брусков приводит к пропорциональному возрастанию средней частоты обработки кромки пересечения, однако характер обработки различных участков кромки при этом остается неизменным. Кроме того, увеличение числа зерен на бруске вызывает пропорциональный рост числа выходов зерен за кромку пересечения при обработке поверхности отверстия.

Поэтому повышение эффективности удаления заусенца на кромке пересечения следует осуществлять не за счет увеличения числа зерен на режущей поверхности брусков.

ВЫВОДЫ

1. Образование заусенца на кромке пересечения происходит на ее левой полуокружности (при движении брусков по обрабатываемой поверхности слева направо). При этом в наибольшей степени подвержена образованию заусенца зона кромки с угловой координатой 0° .

2. При алмазном хонинговании протяженность зоны образования заусенца на кромке пересечения зависит от угла пересечения следов обработки α , определяемого кинематикой формообразующих движений – увеличение этого угла приводит к увеличению протяженности этой зоны.

3. Изучение возможностей способа хонингования [5] показало, что этот способ позволяет удалять заусенец с кромки при каждой смене направления осевого движения брусков за время их задержки у краев отверстия только множеством алмазных зерен, обеспечивая их движение вдоль различных участков кромки пересечения.

4. Рассмотренный способ обработки кромки пересечения во время задержки брусков при реверсе их осевого движения обеспечивает условия для наиболее частой обработки участка кромки с угловой координатой 0° . Также выявлена высокая вероятность обработки участков кромки с угловыми координатами 90 , 180 и 270° . Однако остальные участки кромки пересечения имеют низкую вероятность обработки.

5. Увеличение числа режущих зерен на поверхности брусков не приводит к повышению эффективности удаления заусенцев на кромке пересечения.

6. Повысить эффективность предотвращения образования заусенцев при хонинговании можно путем создания траектории движения зерна, которая обеспечивает условия срезания заусенцев на всей протяженности кромки пересечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муратов К. Р. Повышение эффективности финишной абразивной обработки внутренних цилиндрических поверхностей методом растрового хонингования: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук, Пермь, 2010. 21 с.
2. Чеповецкий И. Х. Механика контактного взаимодействия при алмазной обработке. Киев: Наукова думка, 1978. 228 с.
3. Огородов В. А. Имитационное моделирование процесса хонингования // Станки и инструмент. 2010. № 12. С. 28–33.
4. Огородов В. А. Управление процессом алмазного хонингования // Вестник УГАТУ. 2008. Т. 10, № 1 (26). С. 122–126.
5. Огородов В. А. Предотвращение образования заусенцев при хонинговании // Управление качеством финишных методов обработки: сб. науч. тр. Пермь: Изд. Пермск. гос. техн. ун-та, 1996. С. 95–98.
6. Огородов В. А. Повышение эффективности обработки прецизионных отверстий на операции алмазного хонингования // Современные тенденции в технологиях металлообработки и конструкциях металлообрабатывающих машин и комплектующих изделий: межвуз. науч. сб. / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа: УГАТУ, 2011. С. 119–125.

ОБ АВТОРЕ

Огородов Владимир Алексеевич, доц. каф. автоматизации технол. процессов. Дипл. инж.-мех. (Уфимск. авиац. ин-т, 1975). Канд. техн. наук по технол. произв. ЛА (КАИ, 1985). Иссл. в обл. хонингования.

METADATA

Title: Research of processing of an radial hole edge at honing

Author: V. A. Ogorodov

Affiliation: Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: semper_novi@mail.ru.

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 17, no. 4 (57), pp. 96-105, 2013. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: Simulation of honing is developed and conditions of formation of agnails on edges of crossing of a radial hole with a honing surface are investigated at processing. Possibility of prevention of formation of an agnail on an edge of crossing by means of giving of a track of diamonds is studied at change of a direction of axial movement hon of the configuration coinciding with the form of the hole edge.

Key words: A honing; a edge of radil hole; an agnail; a honing; a track of movement of diamonds; a efficiency of prevention of formation of an agnail.

References (English transliteration):

1. K. R. Muratov, *More effective of finishing abrasive processing of internal cylindrical surfaces by a method raster honing*: The author's abstract. diss. ... Cand. of Tech. Sci., (in Russian). Perm, 2010.
2. I. H. Chepovetsky, *Mechanics of contact interaction at diamond processing*, (in Russian). Kiev: Naukova dumka, 1978.
3. V. A. Ogorodov, "Simulation of honing," (in Russian), *STIN*, no. 12, pp. 28-33, 2010.
4. V. A. Ogorodov, "Control of honing process," (in Russian), *Vestnik UGATU* (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 10, no. 1 (26), pp. 122-126, 2008.
5. V. A. Ogorodov, "Prevention of formation of agnails at honing," in Proc. "Control of quality of methods of finishing processing", (in Russian), Perm State Technical University, Perm, pp. 95–98, 1996.
6. V. A. Ogorodov, "More effective of of processing of precision holes on diamond honing," in *Modern lines in technologies of metal working and designs of machines and completing products*, (in Russian), pp. 119-125, Ufa: UGATU, 2011.

About author:

Ogorodov, Vladimir Alekseevich, Prof., Dept. of Aviation Technology. Dipl. engineer-mechanic (Ufa Aviation Institute, 1975). Cand. of Tech. Sci. (KAI, 1985), Research of processing of an radial hole edge of crossing at honing.