

УДК 621.923

Ю.Г. Гуцаленко, ст. науч. сотрудник

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,

ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

gutsalenko@kpi.kharkov.ua

РАСЧЕТНЫЕ ОЦЕНКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭРОЗИИ В ФОРМИРОВАНИИ РЕЛЬЕФА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ АЛМАЗНО-ИСКРОВОМ ШЛИФОВАНИИ

На основе формализованной модели эрозионного следа электрического разряда аналитически описаны результаты микроскопических исследований поверхностной наследственности алмазно-искрового шлифования. Предложена концепция, расчетная схема и выполнена оценка возможного сглаживания шероховатости в условиях щадящего электроэрозионного воздействия на обрабатываемую поверхность при работе шлифовальным кругом с развитым режущим рельефом.

Ключевые слова: *шлифование, электрический разряд, эрозия, сглаживание шероховатости.*

Введение и постановка задачи. Разработка и развитие расчётно-экспериментальных подходов к форморазмерному описанию удаления материала в результате электрической эрозии на рабочих поверхностях алмазно-искрового шлифования (АИШ) необходимы для постановки и решения задач оптимизации и управления в использовании этого прогрессивного технологического метода с учетом электрофизической специфики, отличающей его от предшествующих альтернатив, основными из которых являются ординарное и электрохимическое алмазное шлифование. Накопленный в НТУ «ХПИ» опыт микроскопических исследований поверхностей после электроэрозионного воздействия в процессе АИШ позволил предложить и выполнить некоторые расчетные оценки участия электрической эрозии в формировании рельефа обработанной поверхности и перейти на этой основе к представляемой здесь разработке концепции и организационно-технологических рекомендаций по совершенствованию цикла АИШ со специальным сглаживанием окончательной шероховатости поверхности.

Опыт расчётно-экспериментального описания объема электроэрозии при АИШ. В работе [1] на основании данных микроскопической визуализации реальных объектов АИШ и номинальной формализации единичной эрозионной лунки вытянутым полуэллипсоидом вращения (полусфероидом) предложена зависимость для приближенной оценки среднего ее объема V^* в частотном диапазоне следования электрических импульсов от $f = 8$ кГц до $f = 66$ кГц, использующая независимые расчетно-экспериментальные результаты конкретизации общей геометрической формализации (рисунок 1) при $f = 8$ кГц, формульная запись [1] которой в рамках принятой модели ($B = 2H$) эквивалентна виду:

$$V^* = \frac{\pi(8,384 - 0,048f)^2}{24f} (LH^2 / f=8\text{кГц}) \tag{1}$$

Последующий расчет абсолютных величин объемов поверхностных слоев шлифуемой детали, разрушенных в процессе АИШ электрической эрозией, определяется [1] на основе данных визуального микроскопического контроля плотности ее следов на поверхности обработки, объем каждого из которых считается равным средней оценке (1), соответственно средней площади проекции следа $F = 0,5\pi B \cdot H$ после импульсной электрической нагрузки зоны шлифования с $f = 8$ кГц. При этом модель [1] исходит из пропорциональности длины лунки L (рисунок 1) времени действия электрического импульса $\tau_{и}$, когда, при фиксированной скважности следования импульсов $\mu = (f \cdot \tau_{и})^{-1}$, неизменных макрогеометрии режущего контакта и его кинематических параметрах

$$L \cdot f = \text{const.} \tag{2}$$

Согласно экспериментальным данным [1] уменьшение $\tau_{и}$ (увеличение f), соответственно (3), приводит к снижению глубины и площади единичных эрозионных лунок для каждого из режимов от $f = 8$ кГц до $f = 66$ кГц, причем изменение k_H глубины лунки H в экспериментах с материалами, весьма существенно отличающимися по тепло- и электрофизическим свойствам, с достаточной для приближенных расчётов

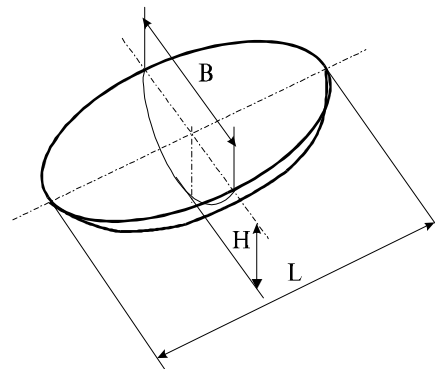


Рисунок 1 – Модель эрозионной лунки

точною могут быть аппроксимированы единой прямой

$$k_H = 1 - k \cdot (f - f_0) \quad (3)$$

где f_0 – значение f в начале координат зависимости $k_H = k_H(f)$, $f_0 = 8$ кГц; $k = \Delta|k_H|/|\Delta f|$ – угловой коэффициент, $k = 0,006$ кГц⁻¹. Выражение (1) опирается также на зависимость $k_F = k_B \cdot k_f^{-1}$, следующую из (2) и с учетом тождественности (3) зависимости $k_B = k_B(f)$, определяемой равенством $B = H$ в принятой полусферической геометрической модельной версии вытянутого полуэллипсоида (рисунок 1).

Модель деформации шероховатости поверхности электрической эрозией при АИШ.

Относительно малые по высотным характеристикам электроэрозионные вмешательства в картину микропрофиля шлифованной поверхности ($H < R_z$) сглаживают её рельеф и, если и не приводят к уменьшению R_z (при неполном перекрытии эрозионными пятнами обработанной поверхности), то наверняка снижают величину среднего арифметического отклонения профиля R_a .

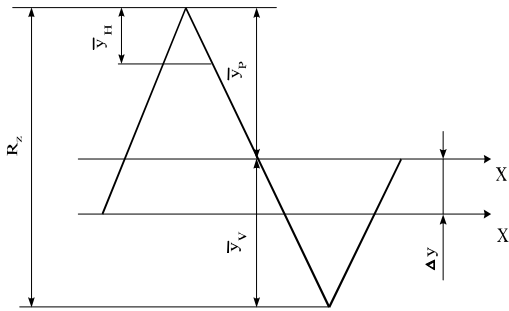


Рисунок 2 – Расчетная схема сглаживания шероховатости

В работе [2] рассмотрена геометрическая интерпретация электроэрозионного разрушения поверхности обрабатываемого материала в пределах глубины абразивно-алмазного механического формирования ее шероховатости при АИШ. В расчетной схеме [2] (рисунок 2) величины наибольших отклонений от средней линии X являются средними значениями пяти наибольших выступов и впадин профиля, по которым рассчитывается параметр R_z шероховатости поверхности, y_n – известная величина линейного электроэрозионного съема,

установленная расчетным или экспериментальным путём, или их комбинацией, и являющаяся величиной приведенной (т.е. средневзвешенной в объёме поверхностного слоя), отсчитываемой от уровня выступов y_p , с понижением положения средней линии профиля поверхности на Δy . Вид и масштаб изменения относительных оценок [2] сглаживания шероховатости поверхности до уровня с характеристикой R'_a , по определению тождественной R_a , но полученной комбинированным методом, при алмазно-искровом шлифовании сочетающем механическое резание и эрозионный съём обрабатываемого материала, в диапазоне соответствующей полноте R_a четверти R_z иллюстрирует рисунок 3 [2]: с увеличением отношения y_n/R_a от 0 (обработка без электроэрозии) до 1 расчетное значение параметра R_a , соответственно

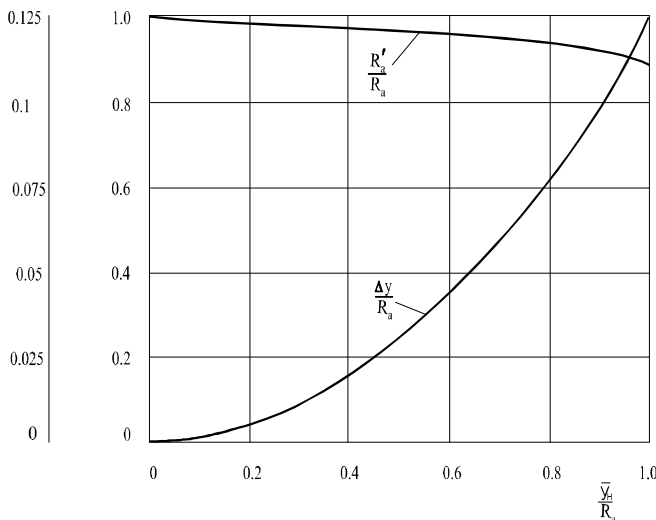


Рисунок 3 – Относительное изменение шероховатости

интенсификацией электроэрозионных процессов на обрабатываемой поверхности, по глубине геометрической наследственности соизмеримых с шероховатостью поверхности при шлифовании в отсутствие эрозионного воздействия на нее.

Рекомендации для эрозионного сглаживания шероховатости в цикле АИШ. Как это следует из основанных на анализе экспериментальных данных модельных представлениях, сглаживающий эффект относительно малых по высотным характеристикам единичных электроэрозионных вмешательств в картину формирования шероховатости обработанной поверхности является наследственностью действия относительно высокочастотных электрических импульсов, возбуждающих

по расчетной схеме (рисунок 2), снижается и составляет 88% от полученного при обработке без электроэрозии, при этом понижение Δy , соответственно

$$R'_a = \frac{(16 \cdot R_a^2 - \bar{y}_H^2)^2}{256 \cdot R_a^3} \quad (4)$$

по расчетной схеме (рисунок 2), снижается и составляет 88% от полученного при обработке без электроэрозии, при этом понижение Δy , соответственно

$$\Delta y = \frac{\bar{y}_H^2}{8 \cdot R_a} \quad (5)$$

по расчетной схеме (рисунок 2), составляет 0,125 R_a ; и так далее с дальнейшей

относительно маломощные электрические разряды, правящее действие которых на анодную поверхность металлической связки круга в высокопроизводительных процессах из опытной практики недостаточно для поддержания стабильно высокой развитости режущего рельефа алмазно-абразивного инструмента, обеспечивающей основные организационно-технические, технологические и экономические преимущества АИШ. Поэтому использование в цикле АИШ электрических режимов, щадящих обрабатываемое твердое тело в зоне его непрерывной сплошности ниже линии впадин шероховатости поверхности, следует рекомендовать в заключительной фазе обработки, непосредственно перед выхаживанием или в его начале, до события (5), с расчетным наступлением которого необходимо отключить возбуждающую в зоне шлифования электрические разряды импульсную поддержку электрического потенциала между токопроводной связкой инструмента и металлом объекта обработки:

$$[\bar{y}_n] = 4(k_s / k_n) R_a, \tag{5}$$

где k_s – коэффициент, учитывающий заданный техническими требованиями уровень шероховатости $[R_a]$ ($k_s < 0,25$) или, в общем случае, $[R_z]$ ($k_s < 1$); при $R_a \leq [R_a]$ или $R_z \leq [R_z]$ соответственно, т. е. когда заданный уровень шероховатости обеспечивается на основных технологических переходах без проведения специальных мероприятий, в рассматриваемом дополнительном сглаживании шероховатости нет необходимости ($k_s = 0$); k_n – положительный коэффициент, учитывающий надежность практического воспроизводства необходимого уровня $[\bar{y}_n]$ и расчетно-экспериментальной модели управления его обеспечением; в отсутствие достаточных статистических данных из реального опыта, с учетом некоторого априорного резервирования надежности, в предварительных назначениях рекомендуется принимать $k_n = 0,5$.

Эрозионное сглаживание шероховатости при АИШ предполагает выполнение соотношения:

$$H \leq [\bar{y}_n] \tag{6}$$

Поскольку величина $[\bar{y}_n]$ предопределена заданием $[R_a]$ или $[R_z]$, то осуществимость (6) обеспечивается необходимым понижением H . Частотное регулирование импульсного действия электрического тока в зоне АИШ предоставляет большие возможности для этого. Так, в экспериментальных условиях [1] изменение частоты следования электрических импульсов от $f = 8$ кГц до $f = 66$ кГц при АИШ твердого сплава ВК8 почти обратно пропорционально понижает объем суммарного эрозионного съема в пятнах контактов электрических разрядов на поверхностях равной площади, с некоторым отставанием относительного уменьшения съема от относительного роста частоты, примерно на 15-30% в границах диапазона управления частотной характеристикой электрических импульсов; при этом с увеличением f снижается вероятность P_s разрядного разрешения импульса (таблица 1).

Таблица 1 – Интенсивность электроэрозионного съема при АИШ твердого сплава ВК8

Частота следования электрических импульсов, кГц	8	22	44	66
Относительный съем электрическим эродированием, %	100	46,3	26,2	14,1
Средний масштаб разрядного разрешения электрических импульсов, %	100	90	55	25

Существенные возможности понижения H предоставляет также реализация кинематико-геометрической схемы АИШ с повышенной скоростью перемещения обрабатываемой поверхности относительно инструментальной, когда энергия электрических разрядов реализуется с удлиненными и потому менее глубокими эрозионными следами. Характерным примером в этом направлении является технологическая практика внутришлифовального станка-полуавтомата модели 3М227ВРФ2 (3М227ВЭРФ2) с конструктивно обеспечиваемой частотой вращения изделия до 1200 об/мин.

Машинное время τ сглаживания шероховатости в цикле АИШ электрическими импульсами повышенной частоты перед окончательным выхаживанием без электрического тока в зоне обработки можно определить по известному времени τ_H эрозионного понижения поверхности на величину H :

$$\tau = \tau_H \cdot [\bar{y}_n] / H \tag{7}$$

Время τ_H определится из установленной (8) интенсивности $W_{эH}$ (c^{-1}) однослойного насыщения обрабатываемой поверхности площадью S эрозионными следами (из микроскопических исследований аналогично практике [1, 2]):

$$W_{эH} = (P_s \cdot F) / (f \cdot S); \tag{8}$$

$$\tau_H = I / W_{эH}. \tag{9}$$

С учетом (1) и интерпретации эрозионного следа вытянутым полусфероидом (рисунок 1), по опыту и для близких к [1] условий и возможностей организации технологий АИШ

труднообработываемых материалов, в предварительном расчете цикла АИШ можно рекомендовать использование (9) в виде эмпирической зависимости:

$$\tau = 0.5\pi^{-1}(2.096 - 0.012f)^{-2} P_3^{-1} \cdot f^2 S(L^{-1} \cdot H^{-2})_{f=8\kappa\Gamma\mu} [\bar{y}_H] \quad (10)$$

Выводы. Долговременное и с устойчивым темпом понижение уровня связки алмазно-металлической композиции абразивного режущего инструмента воздействием на нее электрических разрядов с управляемыми характеристиками мощности, частоты, скважности, формы (при применении промышленных широкодиапазонных генераторов электрических импульсов) является важнейшей функцией комбинирования в АИШ механического резания-шлифования электрическим действием тока в его рабочей зоне. Впервые представленная техническая идеология организации процесса выхаживания при АИШ без отключения в его начальной фазе электрического тока в зоне шлифования дополнительно поддерживает эту важнейшую функцию благодаря продлению технологического времени непрерывной правки шлифовального круга, пусть и с пониженной для более высокочастотных электрических импульсов вероятностью их разрядного разрешения в зоне шлифования (таблица 1).

Изложенный подход к понижению окончательной шероховатости в цикле АИШ рассматривает использование для этого управляемого эрозионного действия электрических разрядов как дополнительного эффекта в системе традиционных организационно-технологических мероприятий, в основном опирающихся на специальное повышение плосковершинности режущих зерен в заключительной части цикла и проведение завершающего цикл выхаживания в режиме отключения на время его осуществления электрического тока в зоне шлифования.

Широкие технологические возможности АИШ и востребованность этого метода в отечественной и зарубежной механообработывающей промышленности объективно стимулируют продолжение исследований по его дальнейшему развитию, в том числе в представленном направлении совершенствования управления формированием заданной шероховатости обработанной поверхности, особенно [3] с учетом современной актуализации высокоскоростной обработки, поддерживаемой электрофизическими волновыми процессами с высокой стартовой концентрацией и взрывной диссипацией энергии в быстротекущих электрических разрядах.

Библиографический список использованной литературы

1. Гуцаленко Ю.Г. Расчет электроэрозии при алмазно-искровом шлифовании по данным микроскопической визуализации // Вестн. Харьк. гос. политехн. ун-та: сб. науч. тр. — Вып. 66: Новые решения в соврем. технологиях. — Харьков: ХГПУ, 1999. — С. 54–58.
2. Гуцаленко Ю.Г. Влияние микроэрозионных явлений на шероховатость поверхности // Вестн. Харьк. гос. политехн. ун-та: сб. науч. тр. — Харьков: ХГПУ, 1999. — Вып. 65. — С. 145–152.
3. Гуцаленко Ю.Г. Сучасні перспективи алмазно-іскрового шліфування і модернізаційні підходи до універсалізації технологічних систем для його реалізації / Ю.Г. Гуцаленко, Г.К. Крижний, А.А. Аракелян // Міжнар. наук.-техн. конф. "Машинобудування – очима молодих": матеріали конф. Кременчук, 30 жовт. – 1 листоп. 2013 р. — Кременчук: КрНУ ім. Михайла Остроградського, 2013. — С. 144–146.

Поступила в редакцію 20.01.2014 г.

Гуцаленко Ю.Г. Розрахункові оцінки і використання електричної ерозії у формуванні рельєфу обробленою поверхні при алмазно-іскровому шліфуванні

На основі формалізованої моделі ерозійного сліду електричного розряду аналітично описані результати мікроскопічних досліджень поверхневої спадковості алмазно-іскрового шліфування. Запропоновано концепцію, розрахункову схему і виконано оцінку можливого згладжування шорсткості в умовах щадної електроерозійної дії на оброблювану поверхню при роботі шліфувальним кругом з розвиненим ріжучим рельєфом.

Ключові слова: шліфування, електричний розряд, ерозія, згладжування шорсткості.

Gutsalenko Yu.G. Calculated estimates and the use of electrical erosion to the relief formation of machined surface at diamond-spark grinding

On the basis of a formalized model of erosion trace after electrical discharge there are analytically described the results of microscopic researches of surface heredity under diamond-spark grinding. The conception and settlement scheme are proposed, and the estimate is done for the possible roughness smoothing under lenient electroerosion impact on the work surface when working with advanced grinding wheel cutting relief.

Keywords: grinding, electrical discharge, erosion, roughness smoothing.