

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.207	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 4.102	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2018 Issue: 01 Volume: 57

Published: 30.01.2018 <http://T-Science.org>

Boris Bogutskiy
Postgraduate,
Sevastopol State University,
Russian Federation
bogutskibv@yandex.ru

Sergei Bratan
Professor, Ph.D.,
Sevastopol State University,
Russian Federation
serg.bratan@gmail.com

SECTION 7. Mechanics and machine construction.

ANALYSIS OF EXISTING MODELS AND DEVELOPMENT STRATEGIES FOR ELECTROCHEMICAL GRINDING PROCESS CONTROL (ECG)

Abstract: The article analyzes the existing models of electrochemical grinding and the development of optimal process control strategies.

Key words: electrochemical grinding, optimization, mathematical model, grinding wheel, grain, grinding.

Language: Russian

Citation: Bogutskiy B, Bratan S (2018) ANALYSIS OF EXISTING MODELS AND DEVELOPMENT STRATEGIES FOR ELECTROCHEMICAL GRINDING PROCESS CONTROL (ECG). ISJ Theoretical & Applied Science, 01 (57): 38-45.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-01-57-7> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2018.01.57.7>

УДК 658.512

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ И РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИЙ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ШЛИФОВАНИЯ (ЭХШ)

Аннотация: В статье приведен анализ существующих моделей электрохимического шлифования и выработка оптимальных стратегий управления процессом.

Ключевые слова: электрохимическое шлифование, оптимизация, математическая модель, шлифовальный круг, зерна, шлифование.

Введение

Одной из основных задач машиностроения и приборостроения является повышение производительности технологических процессов на основе комплексной автоматизации, создают автоматизированных производств и программно-управляемого оборудования.

Требование повышения производительности при обработке таких деталей сочетается с требованием повышения качества обработки поверхностей и снижения себестоимости их изготовления. Одновременное достижение этих показателей может быть обеспечено только за счет применения новых прогрессивных методов обработки и оптимального управления технологическими операциями.

Анализ литературных данных [1, 2, 3, 4, 5, 6] позволяет сделать заключение, что одним из основных направлений создания управляемого процесса является применение комбинированных методов обработки. Совмещение процессов

существенно повышает возможность управления, так как увеличивается число управляющих воздействий и варьируемых входных переменных.

К числу наиболее перспективных методов обработки прецизионных поверхностей, следует отнести разработанный В. И. Гусевым [7] анодно-механический способ, получивший развитие в трудах Ф. В. Седыкина, Б. Р. Лазаренко [8], а именно такую его разновидность, как электрохимическое шлифование (ЭХШ) инструментом на токопроводящей связке.

Данный способ формообразования обеспечивает 4...6 квалитет точности и шероховатость поверхности $Ra=0,1$ мкм, процесс лишен большинства недостатков присущих остальным методам финишной обработки, и является наиболее эффективным для формообразования прецизионных поверхностей. Внедрение в промышленность ЭХШ длительное время сдерживалось отсутствием специальных



Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.207	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 4.102	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

кругов и высокоточного оборудования, работающего в полуавтоматическом и автоматическом цикле. В настоящее время абразивная и станкостроительная промышленность располагают такими возможностями, что создает материальную базу для рассматриваемого метода.

Дальнейшее расширение сфер использования метода сдерживается отсутствием методик оптимального управления этими процессами, построенными на применении физических адекватных математических моделей.

Материалы и методы исследования

Сложность выработки стратегии рационального управления для ЭХШ заключается в сложности самих физических процессов образования поверхностей, связанных с большим числом технологических факторов, с помощью которых можно изменять параметры этого процесса. Ведь кроме обычных режимных параметров, присущих традиционным методам шлифования, в процессе ЭХШ можно целенаправленно изменять напряжение, плотность тока, межэлектродный зазор, степень пассивации поверхности.

Разработка методики оптимального управления процессом ЭХШ включает в себя ряд последовательных задач, которые с учетом вышеизложенного могут быть представлены в виде блок-схемы (рис.1) технологического процесса

Для обработки плоских поверхностей наибольшее распространение получила схема плоского шлифования периферией круга на проход. Остановимся на анализе построения алгоритмов электрохимического шлифования при данной схеме обработки.

В большей части работ, связанных с оптимизацией операций шлифования учитывается один из элементов режима [9, 10, 11]. Однако существуют алгоритмы, учитывающие два и три технологических фактора [12, 13, 14, 15]. Для плоского шлифования периферией круга наиболее широкое распространение получили алгоритмы управления вертикальной и продольной подачами.

За выходные величины принимается либо скорость перемещения стола V_c , либо вертикальная подача шлифовальной бабки S_H и продольная подача стола V_{ci} . Ставится задача построения такого рабочего цикла, при котором минимизируется машинное время обработки или затраты на изготовление детали при требуемом качестве обработки поверхностей. При этом программа управления задается в виде зависимости съема материала (скорости съема), от величины припуска на обработку. В свою очередь величина максимального съема материала определяется какими-либо ограничениями, например, шероховатостью обработанной поверхности, точностью размеров, глубиной дефектного слоя, предельным уровнем вибраций и так далее.

При построении алгоритмов управления в соответствии со спецификой технологических процессов определяют: количество этапов шлифования и этапов выхаживания в пределах цикла обработки детали, последовательность осуществления указанных этапов, вид выхаживания (размерное или временное). Величину припуска, снимаемого на каждом из этапов выхаживания или значение времени на этапе выхаживания.

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.207	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 4.102	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	



Рис. 1 - Последовательность оптимизации параметров технологического процесса.

На рис. 2 приведены некоторые наиболее распространенные из традиционных алгоритмов управления $V=f(I)$ (скорости съема от припуска) без учета ограничений по критериям качества. Самым простым является алгоритм управления вертикальной подачей S_H постоянной скоростью перемещения стола V_{Cl} и этап выхаживания (рис. 2,а).

Широкое распространение получил алгоритм $V=f(I)$, состоящий из двух этапов шлифования и этапа выхаживания (рис.2,б). Этап чернового шлифования идет с постоянной скоростью перемещения стола V_{C2} , а этап чистового шлифования – со скоростью V_{Cl} [16, 17].

Иногда на этап чистового шлифования для сокращения времени снижения натяга в упругой системе станка производится отвод шлифовальной бабки от заготовки на величину натяга.

На рис. 2, в, приведен цикл, называемый «циклом с двойным выхаживанием». Этот цикл включает в себя этап чернового шлифования (RG) с подачей шлифовальной бабки S_{H1} , этап размерного выхаживания (SFG), этап чистового шлифования с подачей шлифовальной бабки S_{H2} (FG) и этап второго размерного выхаживания (SFG2).

Наиболее прогрессивными из традиционных рабочих циклов являются циклы, в которых на этапах шлифования вертикальная подача шлифовального круга плавно снижается по определенному закону. Примером таких циклов может служить цикл, приведенный на рис. 2,г. При реализации рассматриваемого алгоритма за счет плавного снижения съема материала удастся исключить этап выхаживания из цикла.

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИИ (Russia) = 0.207	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 4.102	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

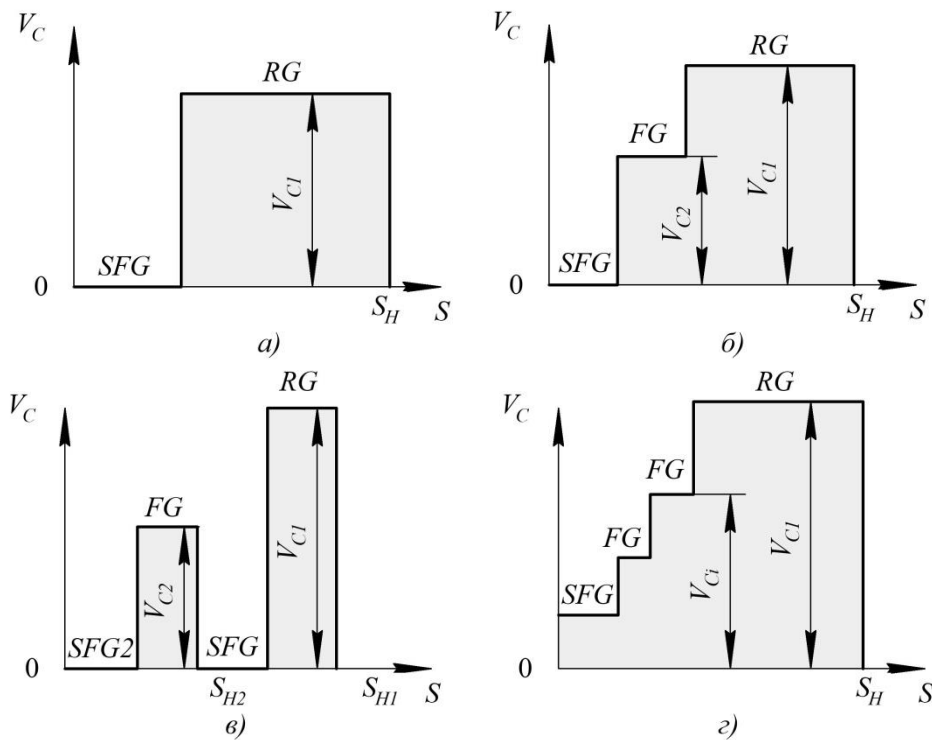


Рис. 2 - Традиционные алгоритмы управления поперечной подачей шлифовальных станков.

Основными преимуществами традиционных алгоритмов является простота их конструктивного осуществления. Однако системы автоматического управления (САУ), реализующие данные алгоритмы имеют существенные недостатки: в них отсутствуют сведения о состоянии технологической среды и выходной регулируемой величины, а также не осуществляется ее коррекция, если она отклоняется от заранее предписанных значений.

В результате воздействия на объект возмущений происходит существенный разброс качественных показателей обрабатываемых деталей, в силу чего при реализации традиционных алгоритмов не могут быть одновременно получены удовлетворительно качественные показатели обработки изделий и высокая производительность станков. Тенденция здесь такова: более высокая стабильность и более высокое качество обеспечиваются за счет уменьшения интенсивности съема материала, т.е. за счет снижения производительности станков.

Известен ряд алгоритмов управления, у которых на отдельных этапах цикла обработки детали производится автоматическое регулирование одной из выходных величин и в то же время содержатся этапы неуправляемого процесса - выхаживания. К таким алгоритмам управления, прежде всего, следует отнести алгоритмы управления, разработанные в Московском станкостроительном институте [18]. Этот алгоритм (рис. 3, а) включает в себя быстрый подвод шлифовального круга, в течение

времени, врезание шлифовального круга в обрабатываемую деталь при экспоненциально возрастающей во времени радиальной силе, до момента времени t_1 , соответствующего заранее заданному значению силы $F_{y_{max}}$. Устанавливается процесс шлифования в течение времени t_2 при автоматическом поддержании на заданном уровне регулируемой силы $F_{y_{max}}$ и естественное выхаживание в течение времени t_4 . Одна из улучшенных модификаций этого алгоритма предусматривает ускоренное выхаживание на участке t_4 . Последнее достигается за счет быстрого отвода шлифовального круга от детали, что позволяет скачкообразно уменьшить натяг в системе.

Построение алгоритма управления с учетом совокупности ограничений приводит к граничному алгоритму, отражающему предельные возможности существующего технологического процесса по машинному времени с учетом обеспечения заданного качества. Пример такого алгоритма приведен на рис. 3, б.

При реализации граничного алгоритма управления значительная часть припуска снимается с предельно допустимой скоростью съема материала. Именно за счет этого времени уменьшается машинное время на обработку.

Рассмотренные принципы построения алгоритмов возможно совершенствовать. Это можно осуществить, например, путем оптимизации процесса, т.е. существует оптимальная скорость съема материала при

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.207
ESJI (KZ) = 4.102
SJIF (Morocco) = 2.031

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260

которой на станке возможно обрабатывать максимальное количество деталей. Указанный алгоритм не учитывает ряда технологических факторов, изменение которых в процессе обработки оказывает влияние на выходные показатели процесса. Например, изменение диаметра круга за период его эксплуатации приводит к изменению скорости износа шлифовального круга, силы резания и так далее.

Эти изменения оказывают существенное влияние на точность обработки, шероховатость поверхности, режущую способность инструмента и штучное время. Следовательно, для оптимизации алгоритмов при составлении целевой функции необходимо учитывать большее число технологических факторов.

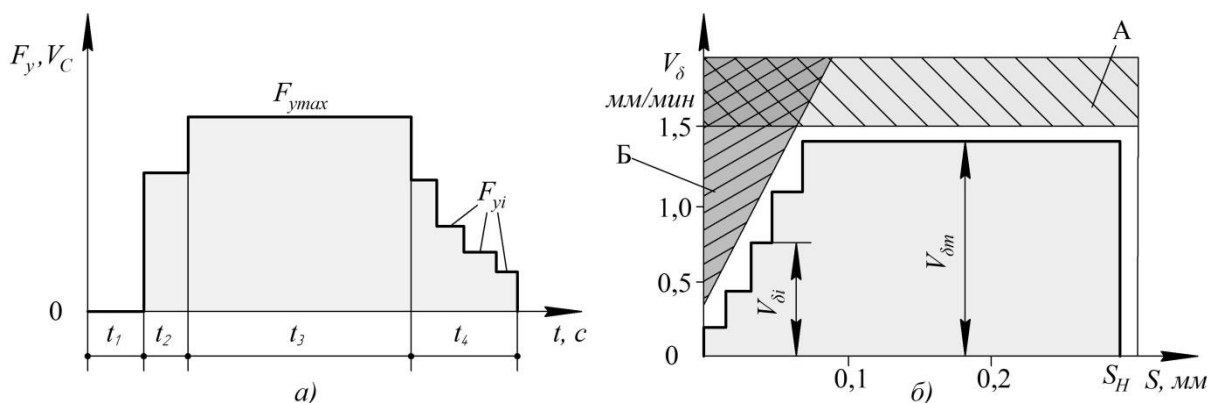


Рис. 3 - Граничный алгоритм управления поперечной подачей:

а) Общий вид граничного алгоритма; б) Области ограничений граничного алгоритма (А и Б – области ограничений соответственно по упругим деформациям $S_{y,\delta}$ и по глубине прижогов h_δ)

Существует множество подходов, обеспечивающих максимальную производительность обработки поверхности при требуемом качестве изготовления детали. Однако, данные алгоритмы, не могут быть непосредственно использованы при ЭХШ периферией круга, так как не учитывают ряда технологических факторов, присущих данному процессу, изменение которых может привести к существенному повышению эффективности обработки. К таким факторам относится технологическое напряжение. Следовательно, для построения алгоритмов управления процессом ЭХШ необходимо иметь математическую модель процесса, включающую математические соотношения между показателями качества и совокупностью режимных параметров, математические выражения ограничений и критерия оптимальности. При составлении моделей необходимо учитывать, что процессы обработки являются динамическими, то есть развивающимися во времени. Только в этом случае можно корректно описать изменения условий обработки методы моделирования абразивного и электрохимического шлифования.

Производительность ЭХШ зависит от активности протекания процессов микрорезания зернами и электрохимического удаления материала [3, 5]. Изучение этих процессов отечественными и зарубежными исследователями накопило достаточный опыт. Анализ данных работ позволяет четко выделить

два подхода, связывающие процесс микрорезания съемом припуска. К первому относятся исследования, основанные на принципе копирования поверхности шлифовального круга в материале заготовки. При этом на поверхности инструмента выделяются режущие профили без выделения отдельных зерен. По набору этих профилей с учетом кинематики шлифования, строится приведенный режущий профиль, который копируется на заготовке. Недостатком этого подхода является отсутствие учета упругопластических деформаций металла, разделение профиля на режущие, скользящие, давящие и не режущие зерна.

Другим подходом является моделирование поверхности инструмента как совокупности случайно расположенных зерен определенной геометрии. Модели, основанные на этом подходе, более точны, но значительно более громоздки.

Многочисленные проведенные исследования показывают, что повышению надежности деталей в значительной степени способствует улучшение качества поверхностного слоя. На основании исследований этих авторов можно сделать вывод, что основной комплекс явлений, характеризующих процессы абразивной обработки, изучен. Однако процесс ЭХШ характеризуется большим числом факторов, влияющих на показатели процесса, чем процесс абразивной обработки. Поэтому построение моделей применительно к операциям ЭХШ,

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.207	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 4.102	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

носит более сложный характер из-за тесной взаимосвязи всех факторов и подсистем, чем часто пренебрегают при моделировании.

Исследованиями убедительно доказано, что подобное изучение процесса ЭХШ возможно только на основании анализа процесса взаимодействия зерен инструмента и электрического поля с поверхностью заготовки. Именно эти явления наряду со съемом материала определяют процессы износа шлифовального круга, формирование параметров качества поверхностного слоя.

Процесс взаимодействия зерен шлифовального круга и электрического поля с поверхностью обрабатываемого материала носит стохастический характер и сопровождается сложным комплексом физико-механических и химических явлений. Их полный учет затруднен как в связи с недостаточным теоретическим исследованием самих процессов, так и в связи с их взаимным влиянием. Например, износ абразивных зерен шлифовального круга приводит к снижению точности обработки. Он зависит от кинематики шлифования, сил резания, увеличение которых приводит к вырыванию отдельных зерен из связки, абсолютного значения температуры, ускоряющей химические реакции между компонентами электролита обрабатываемого материала и материала связки абразивного круга [19], что затрудняет и моделирование процесса.

Отсутствие регулируемого профиля у инструмента, наличие отрицательных передних углов у зерен, высокие скорости приводят к повышению контактной температуры, возрастание которой увеличивает глубину дефектного слоя. В работе [20] приведены зависимости для вычисления глубины структурных превращений. При этом видно, что глубина дефектного слоя зависит не только от величины температуры, но и от времени действия теплового источника.

По данным [21] глубина дефектного слоя пропорциональна работе резания, которая является неявной функцией времени. В. Г. Лебедевым получены формулы, в которых время воздействия теплового источника входит в явном виде [22].

Эти зависимости могут быть непосредственно использованы при оптимизации циклов ЭХШ, в которых окончательное формирование поверхности может осуществляться при выключенном технологическом напряжении.

Вместе с физико-механическими и химическими свойствами качество обрабатываемых поверхностей определяется таким важным фактором, как шероховатость.

Кроме чисто экспериментальных методов, которые обычно не вскрывают динамику процесса, существует два подхода, связывающие процесс микрорезания и формирование микрорельефа обрабатываемой поверхности.

К первому подходу относятся исследования, основанные на принципе копирования поверхности шлифовального круга в материале заготовки.

Основным предположением второго принципа является копирование профилей отдельных абразивных зерен с учетом их стохастического расположения на поверхности и по глубине инструмента и положением этих профилей.

Рассмотрение стохастических характеристик процесса взаимодействия абразивных зерен с поверхностью заготовки приводят к зависимостям, связывающим параметры шероховатости с режимами, кинематикой и динамикой шлифования. Модели, основывающиеся на этом подходе, более точны. Они могут быть использованы при разработке комплексной модели ЭХШ, позволяющей решить задачу оптимального управления при обработке прецизионных поверхностей.

Перечисленные модели справедливы для обработки абразивными инструментами и не могут быть непосредственно использованы для расчета интенсивности съема при ЭХШ, так как не учитывают влияние электрического поля. Однако при выводе зависимостей съема материала от технологических факторов может быть использован второй подход, так как он обеспечивает более высокую точность расчета.

Изучая закономерности ЭХШ можно прийти к выводам:

1. На скорость съема превалирующее воздействие оказывают плотность тока, выход по току и электрохимический эквивалент [23].

2. При ЭХШ происходит непрерывное чередование микрорезания и анодного растворения. В разрушении пассивирующей пленки участвуют как режущие зерна, так и зерна, осуществляющие деформирование поверхности без снятия стружки [24].

На основании анализа математических моделей, описывающих производительность ЭХШ можно сделать следующее заключение. Во всех ранее выполненных исследованиях допущены существенные упрощения при выводе моделей, описывающих производительность ЭХШ. Существующие зависимости не учитывают стохастический характер процесса, степень пассивации поверхностей обрабатываемой детали, не позволяют оценивать интенсивность съема материала инструментами различных видов на различных деталях, не учитывают временной фактор, то есть являются



Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.207	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 4.102	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

статическими, а следовательно, не могут быть использованы для управления формообразованием при обработке прецизионных деталей.

Выводы.

Существующие методики оптимизации управления процессами абразивной обработки не могут быть непосредственно использованы для построения рабочих циклов при ЭХШ, также они не учитывают ряд технологических особенностей, присущих данному процессу.

ЭХШ отличается расширенными технологическими возможностями в сравнении с традиционными методами финишной обработки. На него также оказывает влияние большое число технологических факторов. К числу таких факторов следует отнести технологическое

напряжение процесса, плотность тока, скорость подачи инструмента и так далее, которые могут быть использованы в качестве воздействий.

Известные математические модели и методики расчета показателей эффективности и качества процесса и учитывают всего многообразия влияющих факторов и динамического характера процесса ЭХШ, что не позволяет их использовать для управления процессом.

На основании вышеизложенного анализа существующих исследований можно утверждать о возможности и перспективности научных исследований, а так же разработок в направлении повышения эффективности ЭХШ прецизионных деталей на основе параметрической оптимизации при автоматическом управлении процессом.

References:

1. Polyakov Z.I., Isakov V.M., Isakov D.V., SHamin V.YU. (2006) EHлектрофизические i ehлектрохимические методы обработки: Uchebnoe posobie. – CHelya-binsk: YUUrGU, 2006. – 89 p.
2. Aver'yanova I.O., Klepikov V.V. (2008) Tekhnologiya mashinostroeniya. Vysokoenergeticheskie i kom-binirannyye metody obrabotki: Uchebnoe po-sobie. – M.: Forum, 2008. – 304 p.
3. Kiselev M.G., Drozdov A.V. (2009) EHлектрофизические i ehлектрохимические методы обработки mate-rialov: Konspekt lekcij. Minsk: BNTU, 2009. – 148 p.
4. Polyanchikov YU.N., Skhirtladze A.G., et al. (2015) EHlek-trohimicheskie i ehлектрофизические методы обработки v sovremennom mashinostroenii. – Volgograd: VolgGTU, 2015. – 240 p.
5. Stekol'nikov YU.A., Stekol'nikova N.M. (2008) Fizi-ko-himicheskie processy v tekhnologii mashino-stroeniya: Uchebnoe posobie. Elec: Izd-vo Elec-kogo gosudarstvennogo universiteta imeni I. A. Bunina, 2008. – 135 p.
6. Kahrizi M. (Ed.) (2012) Micromachining Techniques for Fabrication of Micro and Nano Structures: Rijeka: InTech, 2012. – 300 p.
7. Gusev V.I., Rozhkov L.P. (1932) Avtorskoe svidetel'stvo № 28384 /Vestnik, 1932, № II.
8. Lazarenko B.R. (1961) EHлектрические методы обработки металлов i сплавов. – M.: NTO Mashprom, 1961. – 650 p.
9. Kolesov A.G., Bratan S.M., Roshchupkin S.I. (2016) Pro-gnozirovaniye parametrov kachestva obrabotannykh poverhnostej pri vreznom shlifovanii: Vestnik sovremennykh tekhnologij. 2016. № 3 (3). – p. 39-45.
10. Sorokina N.V. (2005) Povysheniye ehffektivnosti pro-fil'nogo vreznogo almaznogo shlifovaniya na osnove optimizacii tekhnologicheskikh rezhimov obrabotki: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk / Penzenskiy gosudarstvennyy universitet. – 2005. p. 44-53.
11. Pereverzev P.P., Akinceva A.V. (2016) Modelirovaniye i optimizaciya ciklov vnutrennego shlifovaniya v usloviyah avtomatizirovannogo mashinostroi-tel'nogo proizvodstva: Vestnik YUzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Mashinostroeniye. T. 16, № 3. – 2016. p. 44-53.
12. Popova A.V., Til' S.V. (2015) Analiz sovremennykh problem proektirovaniya shlifoval'nykh opera-cij: V sbornike: Nauka YUUrGU Materialy 67-j nauchnoy konferencii. – YUzhno-Ural'skiy gosudarstvennyy universitet. 2015. – p. 1442-1449.
13. Akinceva A.V., Baranov I.V., Krotov I.I., Maleva T.A. (2017) Analiz vliyaniya strukturnykh sostav-lyayushchih cikla na process vnutrennego shlifo-vaniya: Nauka YUUrGU materialy 69-j nauchnoy konferencii : sekcii tekhnicheskikh nauk. – YUzh-no-Ural'skiy gosudarstvennyy universitet. 2017. – p. 563-571.



Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	PIHHI (Russia) = 0.207	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 4.102	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

14. YAg'yaev E.H.EH. (2015) Monitoring tekhnologicheskogo pro-cessa chistovogo shlifovaniya po dinamike iz-meneniya vyhodnyh peremennyh: Sovremennye napravleniya i perspektivy razvitiya tekhnologij obrabotki i oborudovaniya v mashinostroe-nii materialy mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii –2015. – 250 p.
15. YAg'yaev E.H.EH. (2015) Obespechenie maksimal'noj ehffek-tivnosti monitoringa processa chistovogo shlifovaniya na osnove analiza parametrov so-stoyaniya tekhnologicheskoy sistemy. Uchenye za-piski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta № 1 (49). –Simferopol', 2015. – 250 p.
16. Gichan V.V. (1975) Issledovanie vozmozhnosti povy-sheniya proizvoditel'nosti putem optimizacii cikla obrabotki kruglogo vrezno go shlifova-niya: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk. – Kaunas, 1975. – 27 p.
17. Korchak S.N. (1974) Proizvoditel'nost' processa shlifovaniya stal'nyh detalej. – M.: Mashino-stroenie, 1974. – 280 p.
18. Mitrofanov V.G. (1978) Optimizaciya tekhnologicheskogo processa mekhanicheskoy obrabotki: Optimi-zaciya tekhnologicheskikh processov mekhanosbo-rochnogo proizvodstva: Materialy Vsesoyuznoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii. – M.: 1978. – p.36-43.
19. Bokuchava G.V. (1967) Iznos i stojkost' abrazivnogo instrumenta: Avtoref. dis. na soisk. uch. step, doktora tekhn. nauk, – Tbilisi, 1967. – 46 p.
20. Koshin A.A., SHipulin L.V. (2012) Stohasticheskie modeli temperaturnyh i silovyh yavlenij, proiskhodyashchih pri shlifovanii, i ih realiza-ciya sredstvami paralel'nyh vychislenij: Vestnik YUzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Matematicheskoe modeli-rovaniye i programmirovaniye. № 18 (277), 2012. – p. 20-31.
21. Novikov F.V., Ryabekov I.A. (2008) Raschet temperatu-ry shlifovaniya i glubiny ee proniknoveniya v poverhnostnyj sloj obrabatyvaemoj detali: Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tekhnologij. T. 1. № 2 (31), 2008. – p. 9-11.
22. Klimenko N.N. (2000) Kinetika formirovaniya po-verhnosti pri gazotermicheskom napylenii dlya posleduyushchej obrabotki shlifovaniem Tr. Odes. politekhn. un-ta. – Vyp. 2 (11). – Odessa, 2000. – p. 59-61
23. Mogil'nikov V.A. (1981) Izuchenie produktov s"ema materiala pri almazno-ehlektrohimicheskom shlifovanii: EHlektrofizicheskie i ehlektrohi-micheskie metody obrabotki, № 2, 1981. – p. 7-8.
24. Gostev V.V. (1977) Depassiviruyushchaya sposobnost' krugov pri almazno-ehlektroliticheskom shlifova-nii metallov /Stanki i instrumenty, № 9, 1977. – p. 39-40.

