

М302157
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
С С С Р

МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО
ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ ИМЕНИ Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

КАЛАШНИКОВ Александр Тимофеевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ И
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АЛМАЗНО-
ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ

(Специальность 05.03.03 - обработка материалов
резанием)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1977

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
С С С Р

МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО
ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ ИМЕНИ Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

КАЛАШНИКОВ Александр Тимофеевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ И
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АЛМАЗНО-
ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ

(Специальность 05.03.03 – обработка материалов
резанием)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

М 302154

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1302157

Калашников А. Т. Исследование

Москва - 1977

Работа выполнена в Харьковском ордена Ленина поли-
техническом институте им. В.И.Ленина

- Научные руководители - доктор технических наук,
 профессор М.Ф.СЕМКО
 - кандидат технических наук,
 доцент Н.К.БЕЗЗУБЕНКО
- Официальные оппоненты - доктор технических наук,
 Л.Б.ДМИТРИЕВ
 - кандидат технических наук,
 доцент Л.М.ТЕРЕЩЕНКО
- Ведущее предприятие - Экспериментальный научно-иссле-
 довательский институт металло-
 режущих станков (ЭНИМС)

Защита диссертации состоится " " 1977 г. на
заседании специализированного Совета К-053.15.15 по техноло-
гии машиностроения МВТУ им. Н.Э.Баумана по адресу:
Москва, 107005, 2-я Бауманская ул., 5.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверен-
ных печатью, просим направлять по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ
им. Н.Э.Баумана.

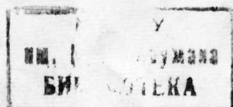
Автореферат разослан " " 1977 года.

Учёный секретарь Совета,
кандидат технических наук,
доцент

Р.К.МЕЩЕРЯКОВ

Зак. №247 Подп. к печ. 25.04.77. Л. 736 Типография МВТУ. Тир. 100 экз.

● ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темн. Задачи интенсификации машиностроительного производства, повышение его эффективности, поставленные на XXV съезде КПСС предопределяют развитие и внедрение принципиально новых технологических процессов, всемерное совершенствование методов обработки металлов и других материалов.

Одним из перспективных направлений, обеспечивающих повышение производительности и улучшение качества обработки, является применение комбинированных способов, основанных на сочетании резания и электро-физико-химическом воздействии на деталь и инструмент. В связи с этим разработка новых комбинированных способов эффективной обработки, изучение их технологических возможностей и физических особенностей является важной актуальной задачей.

Одним из новых комбинированных методов обработки токопроводящих материалов является разработанный при участии автора в Харьковском политехническом институте способ алмазно-искрового шлифования (АИШ), защищенный авторским свидетельством № 494130. Предварительные исследования нового способа показали его высокую эффективность при обработке твердых сплавов, высоколегированных труднообрабатываемых сталей и других материалов. Вместе с тем отсутствие сведений об основных закономерностях нового способа шлифования и его технологических возможностях не позволяют в настоящее время широко внедрять этот процесс в производство.

Целью работы является исследование основных закономерностей процесса АИШ и определение основных условий, обеспечивающих наиболее полную реализацию возможностей нового метода шлифования труднообрабатываемых материалов для значительного повышения производительности, улучшения качества поверхности и снижения себестоимости обработки.

Методы исследования. Теоретические исследования проводились на основе теории шлифования с учетом электрофизического фактора, связанного с введением в зону обработки импульсного технологического тока высокой частоты в средах на водной основе. В экспериментальных исследованиях для решения поставленных задач применялись как специально разработанные методики (отстрел шлифуемого образца, изучение закономерностей микрорезания специальных образцов и др.), так и широко применяемые в исследо-

вательской практике методы: металлографии, электронной микроскопии, профилометрии, механический метод определения остаточных напряжений I-го рода. Применялись статистические методы планирования экспериментов с использованием ЭВМ для выполнения вычислительных работ.

Научная новизна. Предложен новый способ повышения эффективности шлифования труднообрабатываемых материалов алмазными кругами на металлической связке за счет введения в зону резания импульсного высокочастотного технологического тока в среде слабопроводящих жидкостей (обычных шлифовальных СОЖ).

Видимую и подтверждено экспериментально положение о предразрушающем воздействии электроразрядов на обрабатываемый материал, что облегчает условия его резания алмазными зернами круга.

Установлена и доказана возможность эффективной правки алмазного круга за счет действия электроразрядов непосредственно в зоне шлифования и определены условия, при которых обеспечивается минимальный износ круга.

Изучено влияние механических, электрических режимов и других условий на эффективность АИШ. Получена математическая модель процесса АИШ (при обработке твердого сплава со сталью). Определены условия положительного влияния электроразрядов на качество обработанной поверхности.

Практическая ценность. Проведенные всесторонние исследования физических особенностей АИШ, изучение влияния механических и электрических режимов на его технико-экономические показатели позволяют дать научно-обоснованные рекомендации для промышленного внедрения предложенного метода с целью повышения производительности и улучшения качества обработки.

Результаты исследования внедрены на ряде машиностроительных заводов, в частности на Харьковском заводе штампов и прессформ, на Белгородском литейно-механическом заводе и на Полтавском заводе искусственных алмазов с экономической эффективностью более 50 тысяч рублей в год.

Координационным планом ГКНТ Совета Министров СССР предусматривается в 1976-1980 гг. широкое внедрение АИШ в промышленности как на базе существующего оборудования при его значительной модернизации, так и путем разработки и создания специальных станков и источников технологического тока (генераторов).

Апробация работы. Основные положения работы доложены на ряде всесоюзных, республиканских и внутривузовских научно-технических конференциях и семинарах. Работа обсуждена и одобрена на заседаниях кафедры резания материалов ХПИ им. В.И.Лелюка, Харьков, декабрь 1975 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 7 статей и получено одно авторское свидетельство на изобретение.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 6-ти глав, общих выводов и приложений. Текст изложен на 200 страницах машинописного текста, содержит 62 рисунка, 10 таблиц, библиография включает 157 источников.

Во введении вскрывается актуальность исследования физических особенностей и технологических возможностей нового интенсифицированного способа АИШ труднообрабатываемых материалов в плане решений XXV съезда КПСС по увеличению роста производительности труда и резкого повышения эффективности всего общественного производства и машиностроения в частности.

В первой главе дан литературный обзор основных направлений повышения эффективности алмазного шлифования твердого сплава и стали и описывается новый способ интенсифицированного АИШ.

В настоящее время алмазный инструмент получает все более широкое применение не только на чистовых, но и на черновых операциях шлифования. Однако при черновых операциях, связанных со съемом больших припусков, достижимая в настоящее время производительность алмазного шлифования является недостаточной, а удельный расход алмазов при работе кругами на органических связках достигает значительной величины. Высокие режущие свойства алмазов при этом используются крайне незначительно. Так, по данным Т.Н.Доладзе и Г.В.Бокучавы при шлифовании некоторых сталей и титана алмазными кругами на бакелитовой связке используются от 2 до 6% режущих свойств алмазов.

Повышение эффективности алмазного шлифования твердых сплавов и в особенности высоколегированных сталей возможно за счет применения более прочных алмазов марки АСВ, АСК, АСБ, АСПК при прочном удержании их металлической связкой. Существенным недостатком алмазных кругов на металлических связках при шлифовании сталей и некоторых других материалов является их большая склонность к засаливанию и трудоемкость правки.

Одним из наиболее эффективных методов интенсификации шлифования алмазными кругами на металлических связках является введение в зону резания дополнительной энергии электрического тока в среде электролитов. Этот метод известен как алмазно-электролитическое шлифование (АЭШ). Дополнительные электрохимические и электрофизические процессы, возникающие при этом в зоне обработки способствуют улучшению обрабатываемости материала и частично-автоматической регенерации рабочей поверхности круга. Однако достичь эффективного правящего воздействия на круг в этом случае не удастся, так как с увеличением напряжения источника технологического тока процесс переходит в электроэрозионный, что по данным многих исследователей увеличивает износ круга.

Основными причинами, вызывающими повышенный износ круга при АЭШ, по мнению автора, являются физико-химические особенности возникновения и протекания электрических разрядов в электролитах сильной концентрации в случае применения постоянного технологического тока. По-видимому требуется принципиально новый подход к идее использования широких возможностей электрического тока в качестве дополнительной энергии для интенсификации процесса шлифования. При этом необходимо, чтобы вводимая в зону обработки энергии электрического тока оказывала определенное контролируемое воздействие одновременно и на деталь, и на круг.

Это достигается в новом способе АИШ, при котором с целью интенсификации обработки в зону резания вводится дополнительная энергия электрического тока в форме электрических импульсов высокой частоты (десятки кГц) от электроимпульсных генераторов. В зону обработки подается жидкость - диэлектрик или электролит слабой концентрации (от 10^{-3} ом^{-1} до $10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$), в частности, в качестве рабочей среды могут быть использованы обычные шлифовальные СОЖ: 0,5-3%-ные водные растворы соды, эмульсии и др.

Электрические разряды оказывают электроэрозионное воздействие на деталь, стружку и на рабочую поверхность круга. Интенсификация процесса шлифования при этом достигается в результате предразрушающего эрозионного воздействия на обрабатываемый материал, снижая его сопротивление резанию, а также за счет эффективного правящего воздействия на круг.

Вторая глава посвящена методике проведения исследований.

Исследования проводились при шлифовании образцов из металлокерамического твердого сплава ВК20 и износостойкой штамповой стали Х64М, а также специальных образцов из твердого сплава ВК20 совместно со сталью (HRC40...45) при соотношении поверхностей 1:2, на модернизированном для АИШ плоскошлифовальном станде мод.ЗГ71. В качестве источников технологического тока применялись электронно-полупроводниковый высокочастотный генератор униполярных импульсов ВГ-3В и транзисторный широкодиапазонный генератор ШТИ-40-440. Шлифование осуществлялось с применением в качестве рабочей среды 3%-ного раствора соды в воде, подаваемого в зону обработки поливом.

Обработка производилась по схеме как жесткого, так и упругого шлифования. Упругое шлифование осуществлялось с помощью специально сконструированного и изготовленного рычажного приспособления, устанавливаемого на магнитную плиту плоскошлифовального станка.

В опытах использовались круги АИШ 250х16х5х75 из алмазов марки АСВ на металлической связке М1, 50... 150%-ной концентрации и зернистости в диапазоне 100/80...315/250. Все круги были изготовлены на Опытном заводе ИСМ АН УССР.

В процессе исследований в зависимости от изучаемых параметров процесса применялась следующая аппаратура и приборы: шероховатость поверхности измерялась на профилометре-профилографе модели 201; микрорельеф обработанной поверхности, особенности износа алмазных зерен и связки круга изучались с помощью электронного микроскопа ЭМ-5 и оптических микроскопов МИМ-7 и МИР-2; микроскоп МИМ-7 использовался и при проведении металлографических исследований; контроль электрических параметров осуществлялся с помощью электронного осциллографа С1-19, ваттметра Н237 и стрелочных приборов (вольтметров, амперметров и др.); измерение износа круга производилось индикаторным приспособлением и с помощью специально разработанного прибора для бесконтактных измерений; расчеты, связанные с определением остаточных напряжений и математическим планированием экспериментов производились на ЭВМ: "МИР-2", "Наири" и М222. Для решения поставленных задач применялись как известные и широко применяемые в исследовательской практике методы, так и специальные методы, разработанные автором для решения таких вопросов, как исследование состояния обрабатываемого материала

в зоне резания (мгновенной контактной поверхности) с помощью специального устройства для отстрела образца в процессе шлифования; изучение усилий при микрорезании с помощью специально сконструированного приспособления и тензометрической аппаратуры; исследование режущей способности круга с помощью специального рычажного приспособления для шлифования по упругой схеме.

Для сокращения объема исследований и более полного выявления взаимодействия факторов использовались математические методы планирования экспериментов.

Третья глава посвящена исследованию влияния электрических разрядов на состояние обрабатываемого материала в зоне резания.

Отличительной особенностью АИШ является использование явления электроэрозии для интенсификации процесса механического резания и для поддержания режущей способности круга.

Физическая природа электрической эрозии к настоящему времени детально изучена и изложена в работах Б.Р. и Н.И.Лазаренко, Б.Н.Золотых, А.С.Зингермана и других советских и зарубежных ученых.

Так как в процессе АИШ электрические разряды возникают по наименьшему расстоянию между электродами (кругом и деталью) в точках, характеризующихся максимальной напряженностью электрического поля, то наиболее вероятными инициаторами разрядов будут стружки, образующиеся при резании-парапении обрабатываемого материала алмазными зернами круга. При этом если энергия разряда будет превышать некоторую её величину, необходимую для полного разрушения иницирующей разряд стружки, то у её основания на поверхности резания будут образовываться лунки, которые в совокупности будут оказывать эрозионное воздействие на обрабатываемый материал, изменяя его физико-механические свойства.

Расчеты, проведенные по сопоставлению массы единичных стружек и массы материала, удаляемого под воздействием разряда показывают, что даже при минимальной (используемой при АИШ) энергии разрядов ($W_{и} = 10 \text{ мДж}$) масса материала лунки, удаляемой единичным разрядом, значительно превышает массу тех единичных стружек, вероятность образования которых максимальна. Следовательно, практически все стружки, иницирующие электрические

разряды, полностью сгорают, с образованием у своего основания лунки.

Эти выводы получили экспериментальное подтверждение при воздействии одиночными электрическими разрядами различной энергии на тонкие проволочки, размеры которых сопоставимы с размерами микростружек, срезаемых при шлифовании.

В месте действия разряда в результате микрозакалочных процессов возникают фазовые напряжения, превышающие предел прочности материала, что может привести к образованию микротрещин и следовательно снижению механической прочности срезаемого слоя. Такое явление можно назвать эффектом охрупчивания срезаемого слоя. С другой стороны, в зависимости от места действия разряда по отношению к режущему зерну, можно ожидать, что определенные участки обрабатываемого материала будут срезаться в размягченном состоянии. Такое совокупное воздействие разрядов на поверхность резания можно считать предразрушающим воздействием, облегчающим процесс механического резания.

Для экспериментальной проверки высказанных выше предположений изучалась мгновенная контактная поверхность специальных образцов после их быстрого отвода (отстрела) из зоны обработки при шлифовании с током и без тока. На контактной поверхности образцов при шлифовании с током наблюдаются следы эрозионного воздействия, предшествующие срезанию этих участков алмазными зернами круга. Металлографические исследования этих образцов показали наличие на контактной поверхности отдельных прерывистых оплавленных участков, образующих в зоне контакта круга и детали некоторый измененный слой переменной глубины.

Было сделано предположение о снижении условного напряжения при срезании алмазными зернами отмеченного выше измененного слоя материала на контактной поверхности образца. Экспериментальные исследования микрорезания (царапания) показали, что в результате эрозионного воздействия тангенциальная сила резания снижается, что подтверждает сделанное предположение о снижении механической прочности измененного поверхностного слоя, что является предпосылкой для интенсификации процесса алмазного шлифования труднообрабатываемых материалов.

В четвертой главе изложены результаты изучения состояния рабочей поверхности круга и его режущей способности в процессе АИШ.

Существо процесса АИШ предопределяет более сложные условия работы и износа круга, чем при обычном алмазном шлифовании без тока, так как наряду с механическим фактором в рассматриваемом процессе на связку круга и алмазные зерна оказывает воздействие электрофизический фактор, обусловленный электроэрозионными процессами.

Установлено, что в процессе АИШ в результате эрозионного воздействия разрядов на связку круга формируется благоприятный рельеф его рабочей поверхности, при котором, благодаря необходимому выступанию зерен, устраняется трение связки круга об обрабатываемую поверхность детали и обеспечивается нормальное стружкообразование. Кроме того оплавление поверхностного слоя связки способствует лучшему закреплению в ней алмазных зерен в результате заполнения пустот и других дефектов в месте заделки зерна.

Износ отдельных алмазных зерен обуславливается сложным воздействием механического и электрофизического факторов. В результате силового воздействия происходит раскалывание, выкрошивание и вырывание зерен из связки, а наличие более высоких локальных температур в зонах действия разрядов приводит к интенсификации таких видов износа как абразивный, адгезионно-усталостный и диффузионный. Прямое воздействие разрядов, которому подвергаются отдельные зерна, приводит к локальной их графитизации и появлению микросколов. Электрические разряды оказывают кроме того косвенное воздействие на алмазные зерна. В результате создается новый более развитый микрорельеф, повышается и поддерживается режущая способность зерен.

Сравнительные исследования режущей способности алмазного круга при шлифовании твердого сплава и стали, с током и без тока, проведенные с применением упругой схемы, показали, что в процессе АИШ, благодаря правящему воздействию разрядов на круг и предразрушающему на деталь, удельный съем (производительность) повышается в 5-6 раз при некотором примерно на 10-20% повышении удельного расхода алмаза.

Были определены значения оптимальной энергии электрических разрядов в зависимости от зернистости и концентрации для алмазных кругов на связке МІ. За критерий оптимизации параметров электрических режимов был принят удельный расход алмазов при условии поддержания высокой режущей способности круга.

Результаты экспериментов приведены в таблице I. Шлифовались образцы из стали Х6Ф4М кругами зернистости 100/80...315/250 50, 100 и 150%-ной концентрации при частоте импульсов напряжения 8 и 22 кГц и скважности 1,5.

Таблица I

Оптимальные значения среднего тока (числитель) в А и средней энергии разрядов (знаменатель) в МДж

Зернистость	Ч а с т о т а , кГц					
	8			22		
	К о н ц е н т р а ц и я , %					
	50	100	150	50	100	150
100/80	<u>6</u>	<u>5</u>	<u>4</u>	<u>8</u>	<u>6,5</u>	<u>5,5</u>
	10,5	8,7	7,0	5,1	4,2	3,5
160/125	<u>16</u>	<u>8</u>	<u>7</u>	<u>13</u>	<u>10</u>	<u>9</u>
	25	20	17	11,8	9,2	8,2
200/160	<u>16</u>	<u>13</u>	<u>10</u>	<u>21</u>	<u>17</u>	<u>14</u>
	46	37	32	22	18	15
250/200	<u>26</u>	<u>22</u>	<u>18</u>	<u>30</u>	<u>25</u>	<u>20</u>
	82	69	56	40	34	28
315/250	-	<u>35</u>	<u>28</u>	-	-	-
		130	105			

С увеличением зернистости увеличивается межэлектродный промежуток, уменьшается вероятность его пробоя и возникновения разрядов, что приводит к уменьшению среднего тока. Вместе с тем при большей зернистости и меньшей концентрации алмазов, в связи с увеличением расстояния между зернами, требуется удалять больший объем связки из межзернового пространства. Поэтому при большей зернистости и меньшей концентрации алмазов для эффективной работы круга требуется большая энергия разрядов.

Установлено, что полярность подключения круга в процессе АИШ не оказывает существенного влияния на изменение режущей способности и износ круга, так как вращение его с высокой скоростью сглаживает полярный эффект и даже в некоторых случаях вызывает изменение полярности эрозии. Целесообразнее круг подключать в качестве анода.

Процесс АИШ протекает наиболее эффективно при некотором

оптимальном количестве (1-2 л/мин) рабочей жидкости, подаваемой в зону обработки, что связано с некоторыми особенностями физико-химических явлений процесса эрозии в среде слабопроводящих шлифовальных СОЖ.

Пятая глава посвящена исследованию оптимальных условий плоского АИШ с целью определения оптимальных значений механических режимов ($S_{пр}$, S_n , t), величины среднего тока ($I_{ср}$) и зернистости алмазного круга (Z). За критерий оптимизации принята удельная себестоимость съема 1 см³ обрабатываемого материала $C_{уд}$, которая определялась для каждого опыта по результатам замеров удельной производительности Q в мм³/мин и удельного расхода алмазов q в мг/г.

Опыты проводились при шлифовании твердого сплава ВК20 совместно со сталью У8 на станке 3Г71 кругами из алмазов марки АСВ различной зернистости на металлической связке М1 100%-ной концентрации. Скорость круга не изменялась и составляла 35 м/с. В зону обработки подавался 3%-ный содовый раствор со скоростью 1,5 л/мин. Источником технологического тока являлся генератор ВГ-3В.

Исследования проводились с применением математического планирования экстремальных экспериментов. Был принят центральный композиционный рототабельный план 2-го порядка с "ядром" в виде полурепублики типа 2^{K-1} плана ПФЭ, где K - число факторов, равное 5.

После математической обработки на ЭВМ результатов экспериментов были найдены коэффициенты уравнений, адекватно описывающих область определения исследуемых факторов ($S_{пр}$ 3... 15 м/мин; S_n = 0,3... 1,5 мм/ход; t = 0,03... 0,15 мм; $I_{ср}$ = 3... 19А; Z = 100/80... 315/250). Получены следующие зависимости для удельного расхода алмазов (q) и удельной себестоимости ($C_{уд}$) при АИШ:

$$\hat{q} = 2,24 + 0,14X_1 + 0,17X_2 + 0,27X_3 + 0,33X_4 - 0,3X_5 - 0,16X_1X_2 + 0,1X_1X_3 - 0,12X_1X_4 - 0,18X_1X_5 + 0,24X_2X_3 + 0,14X_2X_4 + 0,08X_2X_5 + 0,17X_3X_4 + 0,31X_3X_5 - 0,1X_4X_5 + 0,15X_1^2 + 0,2X_2^2 + 0,12X_3^2 + 0,09X_4^2 - 0,11X_5^2;$$

$$\hat{C}_{уд} = 7,14 - 2,39X_1 - 2,92X_2 - 2,16X_3 + 0,93X_4 + 0,41X_5 + 1,2X_1X_2 + 1,28X_1X_3 + 0,54X_1X_4 - 0,76X_1X_5 - 1,25X_2X_3 + 0,56X_2X_4 - 0,46X_2X_5 + 0,71X_3X_4 - 0,47X_3X_5 - 0,22X_4X_5 + 1,22X_1^2 + 1,19X_2^2 + 0,86X_3^2 - 0,27X_4^2 - 0,39X_5^2.$$

Анализ полученных зависимостей показал, что на удельный расход алмаза наибольшее влияние оказывают глубина резания, рабочий ток и зернистость. С увеличением глубины резания, рабочего тока, а также продольной и поперечной подачи удельный расход алмаза увеличивается, а с увеличением зернистости - уменьшается. На величину удельной себестоимости обработки наибольшее влияние оказывают продольная, поперечная подачи и глубина резания, с увеличением которых удельная себестоимость обработки снижается. Увеличение же рабочего тока и зернистости круга приводит к возрастанию удельной себестоимости шлифования.

С помощью ЭВМ "МИР-2" методом перебора возможных вариантов решений уравнения для Q_c был найден оптимум, т.е. минимум удельной себестоимости поверхности отшлифованной при следующих значениях исследуемых факторов: $S_{пр}=11$ м/мин; $S_n=1,3$ мм/ход; $t=0,14$ мм; $J_{ср}=15,6$ А и $Z=220$ мкм. При таком сочетании факторов $C_{уд}=3,76$ коп/см³, а производительность составляет 2000 мм³/мин.

Графический анализ уравнений регрессии позволил выделить три основных режима АИШ и соответствующие им оптимальные значения исследуемых факторов, которые представлены в табл. 2

Таблица 2
Оптимальные условия для различных режимов АИШ

Режим шлифования	Производительность Q , мм ³ /мин	Оптимальные значения варьируемых факторов				
		$S_{пр}$, м/мин	S_n , мм/ход	t , мм	$J_{ср}$, А	Z , мкм
Мягкий (чистовой)	200	6	0,6	0,06	7	160/125
Средний (оптимальный)	1700	12	1,2	0,12	15	200/160
Грубый (обдирочный)	3300	15	1,5	0,15	19	250/200

Экспериментальная проверка этих режимов при плоском шлифовании твердого сплава НК20 совместно со сталью У8 (соотношение площадей 1:2) показала, что при мягком (чистовом) режиме обеспечивается 8-9 класс шероховатости обработанной поверх-

ности, при среднем режиме - 7-8 класс, а при обдирочном - 5-6 класс.

В шестой главе приводятся результаты исследования качества обработанной поверхности. Изучалось влияние условий АИШ образцов из твердого сплава ВК20 и штамповой стали Х6Ф4М на особенности формирования поверхности: шероховатость, характер (знак), уровень и глубину залегания остаточных напряжений I-го рода.

Электронномикроскопические исследования формирования поверхности показали, что микро- и субмикрорельеф имеет следы как крупного, так и пластического разрушения. При шлифовании с током субмикрорельеф становится более развитым, чем при шлифовании без тока, с направленными следами более мелких рисок - зон разрушения, ширина которых находится в пределах 2,5...10 мкм. Столь незначительные размеры этих зон указывают на размеры деформируемых их микрокристаллов алмазных зерен, образовавшихся в результате косвенного воздействия на них электрических разрядов.

Шероховатость обработанной поверхности практически не изменяется с введением в зону обработки импульсного технологического тока оптимальных параметров. Она определяется, как и при обычном алмазном шлифовании, главным образом характеристиками круга и параметрами механических режимов шлифовании. Это свидетельствует о том, что при АИШ обработанная поверхность в геометрическом смысле формируется преимущественно режущими зернами круга, полностью удаляющими измененный под действием электроэрозии слой материала.

Определение остаточных напряжений в поверхностном слое и распределение их по глубине производилось механическим методом. В общем случае силы резания и теплонпряженность процесса АИШ таковы, что при оптимальном сочетании электрических и механических параметров режима обработки в поверхностном слое образуются остаточные напряжения сжатия, величина которых для сплава ВК20 больше, чем для стали Х6Ф4М и достигает соответственно 140 и 100 кг/мм², глубина залегания остаточных напряжений составляет в среднем 20...50 мкм.

Установлено, что величина среднего рабочего тока оказывает сложное влияние на уровень остаточных напряжений. С увеличением тока до некоторой оптимальной величины (~15...20 а) напряжения сжатия возрастают, что объясняется некоторым сниже-

нием тепловой напряженности процесса благодаря улучшению обрабатываемости материала и высокой режущей способности круга. Дальнейшее увеличение тока приводит к возрастанию роли теплового фактора и уменьшению сжимающих напряжений.

Общие выводы

1. Новый способ АИШ, основанный на сочетании резания и электрофизического (электроэрозионного) воздействия одновременно на деталь и на шлифовальный круг и использованием в качестве рабочей среды обычных шлифовальных СОЖ, является перспективным направлением в обработке труднообрабатываемых конструкционных и инструментальных материалов.

Использование импульсного высокочастотного тока от электроимпульсных генераторов и слабопроводящих жидкостей в качестве рабочей среды позволяет оказывать необходимое контролируемое воздействие одновременно на деталь и на круг.

2. Электротермическое воздействие электрических разрядов на обрабатываемый материал облегчает условия резания снимаемого припуска. Одновременно электроэрозионные процессы способствуют автоматической регенерации рабочей поверхности круга и этим поддерживается длительное время его высокая режущая способность. В результате удается резко интенсифицировать процесс шлифования таких труднообрабатываемых материалов как твердые сплавы и высоколегированные стали.

3. Измененный в результате действия электрических разрядов слой материала полностью удаляется и обработанная поверхность в геометрическом смысле формируется преимущественно режущими элементами круга; шероховатость обработки находится в зависимости главным образом от характеристик алмазного круга и режимов шлифования.

При оптимальных электрических режимах АИШ в поверхностном слое формируются остаточные напряжения сжатия, свойственные обычному алмазному шлифованию.

4. Наиболее полно преимущества плоского АИШ реализуются на режимах полусточковой и обдирочной обработки при съеме больших припусков; удельный съем материала при шлифовании твердого сплава совместно со сталью составляет $1700-3000 \text{ мм}^3/\text{мин}$, а шероховатость обработки — в пределах 7-8 класса. В качестве

инструмента рекомендуется применять круги из алмазов АСВ зернистости I60/I25...200/I60 на металлической связке MI 50 или 100%-ной концентрации.

Чистовое шлифование следует проводить мелкозернистыми кругами с применением выхаживающих проходов при отключенном источнике технологического тока.

5. Параметры электрических режимов процесса ограничиваются износом круга и выбираются в зависимости от его характеристик: связки, зернистости и концентрации. При большей зернистости и меньшей концентрации алмазов требуется большая энергия разрядов.

6. Экспериментально установлено, что полярность подключения круга не оказывает существенного влияния на эффективность процесса. С целью меньшего прямого воздействия разрядов на зерна и меньшего повреждения связки рекомендуется круг подключать к положительному полюсу источника технологического тока. Вместе с тем на эффективность АИШ оказывает влияние количество рабочей жидкости, подаваемой в зону обработки. Оптимальным является расход СОЖ в пределах 1...2 л/мин.

7. Проведенное автором внедрение АИШ на операциях получистовой и чистовой обработки деталей из твердого сплава и труднообрабатываемых сталей на Харьковском заводе штампов и прессформ на Белгородском литейно-механическом заводе, и на Полтавском заводе искусственных алмазов позволило получить экономический эффект более 50 тыс. рублей.

По теме диссертации опубликованы следующие основные работы:

1. Калашников А.Т., Троянов Ю.М. Исследование шлифуемости новых износостойких штамповых сталей. Сб. "Резание и инструмент", вып. I4, 1975, с. 68-72.
2. Семко М.Ф., Беззубенко Н.К., Сальтевский И.С., Калашников А.Т. Интенсифицированный способ алмазно-искрового шлифования. М., ГОСИНТИ, экспресс-информация, вып. II/2, 1975, 4с.
3. Беззубенко Н.К., Калашников А.Т., Сальтевский И.С. Алмазно-искровое шлифование деталей и узлов твердосплавных штампов. М., ГОСИНТИ, экспресс-информация, вып. IO/3, 1975, 2с.
4. Семко М.Ф., Беззубенко Н.К., Сальтевский И.С., Калашников А.Т. Способ абразивной обработки. Авторское свидетельство № 494130, 1975.
5. Калашников А.Т., Сальтевский И.С. Эффективность электроалмазного шлифования труднообрабатываемых материалов. Сб. "Резание и инструмент", вып. I5, 1976, с. 75-76.