

кафедра: Резание материалов и режущих инструментов

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломному проекту на тему:

Особенности работы кругов при алмазно-искровом
шлифовании материалов

Заведующий кафедрой
Руководитель проекта

(проф. Семко М.Ф.)
(доц. Беззубенко Н.К.)

Консультанты:

по технике безопасности
по экономической части
Проектировал студент

(Бабак И. М.)
(Смоловик Р.Ф.)
(Цобель М.)

1975г.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Стр.

<p>I. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. ИЗЫСКИВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ.....</p>	6
<p>I.1. Основные пути интенсификации процесса шлифования за счет введения в зону обработки дополнительной энергии</p>	7
<p style="padding-left: 20px;">I.1.1. Абразивно-электрохимическое шлифование.....</p>	8
<p style="padding-left: 20px;">I.1.2. Абразивно-электроискровое шлифование (новый метод)</p>	8
<p>I.2. Требования, предъявляемые к алмазным кругам при различных способах шлифования.....</p>	11
<p style="padding-left: 20px;">I.2.1. Общие требования, предъявляемые к алмазным кругам.....</p>	13
<p style="padding-left: 20px;">I.2.2. Особые требования, предъявляемые к кругам при алмазном шлифовании.....</p>	15
<p style="padding-left: 20px;">I.2.3. Особые требования, предъявляемые к кругам при алмазно-искровом шлифовании.....</p>	17
<p style="padding-left: 20px;">I.2.4. Состав металлических связок.....</p>	17
<p>I.3. Физико-химико-механические явления при взаимодействии тел — алмаза и связки.....</p>	20
<p style="padding-left: 20px;">I.3.1. Теоретическая основа закрепления зерна в связке</p>	20
<p style="padding-left: 20px;">I.3.2. Способность разных металлов на соединение с алмазом.....</p>	20
<p style="padding-left: 20px;">I.3.3. Влияние типа связки на удержание зерна.....</p>	21
<p style="padding-left: 20px;">I.3.4. Влияние Al_2O_3 в алмазных кругах на металлические связках.....</p>	23
<p style="padding-left: 20px;">I.3.5. Влияние металлизации на работоспособность алмазного круга.....</p>	24
<p>I.4. Особенности износа кругов при алмазно-искровом шлифовании материалов.....</p>	28
<p style="padding-left: 20px;">I.4.1. Механизм износа алмаза.....</p>	28
<p style="padding-left: 20px;">I.4.2. Износ алмазных кругов.....</p>	30
<p style="padding-left: 40px;">I.4.2.1. Влияние обрабатываемого материала на износ алмазных кругов.....</p>	30

1.4.2.2. Влияние электроэрозионного действия на износ алмазных кругов.....	32
1.5. Разрушение материалов.....	33
1.6. Обрабатываемость различных материалов.....	35
1.6.1. Обрабатываемость магнитотвердых материалов.....	35
1.6.2. Обрабатываемость твердого сплава.....	42
1.6.3. Обрабатываемость стали.....	44
<i>ОГЛАВЛЕНИЕ</i>	
2. ИССЛЕДОВАНИЕ АЛМАЗНО-ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ (экопериментальная часть).....	472
2.1. Обоснование темы, цель и задачи исследований.....	472
2.2. Методика проведения исследований.....	494
2.2.1. Оборудование для проведения исследований.....	494
2.2.2. Контрольно-измерительные приборы.....	536
2.2.3. Определение производительности обработки и удельного расхода алмаза.....	568
2.3. Выбор наиболее производительного способа обработки..	6041
2.3.1. Сравнение различных способов интенсификации процесса алмазно-абразивной обработки.....	6041
2.3.2. Выбор электрических режимов алмазно-искрового шлифования.....	6677
2.3.3. Алмазно-искровое шлифование при использовании различных источников технологического тока... ..	6820
2.3.4. Влияние различных факторов на шероховатость обработанной поверхности.....	7022
2.4. Алмазно-искровое шлифование кругами на различных связках.....	7024
2.5. Выводы.....	88 ³⁷ ₃₉
<i>6. Литература</i>	
3. ЭКОНОМИКА.....	89
3.1. Затраты на научно-исследовательскую работу.....	89
3.1.1. Прямая производственная заработная плата.....	89

3.1.2. Начисления на соцстрах.....	90
3.1.3. Затраты на приборы и оборудование.....	90
3.1.4. Расходы, связанные с приобретением и эксплуатацией кругов.....	92
3.1.5. Определение затрат на сырье и материалы.....	92
3.1.6. Затраты на электроэнергию.....	93
3.1.7. Общеинститутские расходы.....	94
3.2. Экономическое обоснование и сопоставление технических вариантов.....	94
3.2.1. Расчет экономической эффективности электроэрозионной обработки сплава ЮНК24Т2, стали ШХ15 и твердого сплава ВК15.....	96
3.2.1.1. Расчет штучного времени.....	96
3.2.1.2. Затраты на инструмент.....	97
3.2.1.3. Расчет исходных данных для сравнения обрабатываемости сплава ЮНК24Т2.....	98
3.2.1.4. Расчет исходных данных для сравнения обрабатываемости стали ШХ15.....	99
3.2.1.5. Расчет исходных данных для сравнения обрабатываемости твердого сплава ВК15.....	101
4. О Х Р А Н А Т Р У Д А.....	107
4.1. Производственная санитария.....	108
4.1.1. Промышленная вентиляция и отопление.....	108
4.1.2. Промышленное освещение.....	110
4.1.3. Противопожарная техника.....	111
4.2. Техника безопасности работы оборудования.....	112
4.3. Расчет защитного заземления.....	114
5. Л И Т Е Р А Т У Р А.....	118

I. ИСЫСКАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

По мере прогресса техники идет непрерывное улучшение, с одной стороны, эксплуатационных характеристик материалов — их прочности, твердости, ударной вязкости, жаропрочности, стойкости к коррозионным средам и, с другой стороны — повышение производительности и экономичности их обработки.

Создано большое количество различных по принципу действия рабочих процессов размерной обработки, каждый из которых находит свою эффективную область применения в зависимости от свойств обрабатываемого материала и требований к качеству поверхности.

В последние 15 лет созданы новые сверхтвердые инструментальные материалы — синтетические алмазы. С применением их в качестве шлифовальных зерен удалось значительно повысить производительность шлифования труднообрабатываемых материалов.

Создание новых способов обработки резанием ведется в направлении изменения характера приложения механического воздействия на срезаемый слой, использования других видов воздействия и, прежде всего, электрических, тепловых и химических процессов, а также применения комбинированных методов обработки, основанных на совмещении таких видов воздействия, как механическое, тепловое, химическое и электрическое.

Комбинированные методы, основанные на совмещении алмазно-абразивного шлифования, электрохимического растворения электроэрозийного действия, дают значительное повышение производительности труда при незначительных капитальных затратах.

I. I. Основные пути интенсификации процесса шлифования за счет введения в зону обработки дополнительной энергии

Одним из путей интенсификации процесса обработки является передача обрабатываемому материалу из окружающей среды различных видов энергии - химической, тепловой, механической, электрической и др. Известно, что наибольший эффект использования энергии может быть получен в случае подвода ее непосредственно в то место, где должна быть совершена работа. При шлифовании, в качестве такой дополнительной энергии используют волновую и электрическую. [4]

Из-за сложностей дополнительных устройств и из-за вредностей высокочастотных колебаний для человеческого организма, широкое распространение волновая энергия не нашла.

Электрическая энергия может быть использована в зоне обработки в форме: 1) электрической; 2) энергии электрических разрядов; 3) тепловой.

Учитывая доступность электрической энергии и простоту ее подвода в зону шлифования, следует отметить перспективность комбинированных процессов с использованием электрического тока.

В зависимости от формы дополнительной энергии, используемой в зоне обработки, процессы объединяются в группы по следующим видам:

1. Абразивно-электрохимическое шлифование.
2. Абразивно-электроискровое шлифование.
3. Абразивно-электротермическое шлифование.

Разновидности процесса определяются формой напряжения (или тока), подводимого в зону шлифования: постоянный ток, пульсирующий, переменный, импульсный и др.

I.1.1. Абразивно-электрохимическое шлифование

Изучению процесса электрохимического шлифования с абразивными и алмазными кругами посвящено много исследований. Процесс основан на введении постоянного или переменного тока в зону резания с низким напряжением (2-10 в) и выбираются такие механические режимы, чтобы не образовывалось искрение между деталью и кругом. В качестве СОЖ применяется электролит. Были разработаны специальные связки для кругов, специализированные источники технологического тока, начат выпуск электроалмазных шлифовальных и заточных станков.

Однако электрохимическое шлифование не получило широкого распространения из-за ряда недостатков:

1. Снижение производительности с течением времени из-за пассивирования обрабатываемой поверхности.
2. Неприемлемость крупнозернистых кругов в связи с необходимостью обеспечения малой величины межэлектродного зазора.
3. Высокая химическая активность (корродирующая способность) и негибридность рекомендуемых электролитов.

Несмотря на кажущуюся перспективность совмещения механического и электрохимического воздействия на обрабатываемый материал, процесс оказался недостаточно эффективным.

I.1.2. Абразивно-электроискровое шлифование (новый метод)

Этот процесс основан на введении в зону шлифования дополнительной энергии в форме электрических разрядов от электроимпульсного генератора. Процесс осуществляется токопроводящими алмазными или абразивными кругами на обычных шлифовальных станках (с изоляцией круга и детали, через которые подводится ток). Обработка производится в среде СОЖ - диэлектриков или слабых электролитов (например, вода + 5% соды), подаваемых поливом и засасываемых в зону резания шерохова-

той поверхностью вращающегося круга.

Между металлической связкой круга и обрабатываемым материалом образуется тончайшая электрическая прослойка. При определенном напряжении происходит пробой диэлектрика, при этом процессе образования электроскопических разрядов весьма стабилен.

По данным Пелатинка Л.С. на аноде происходит более спокойное плавление металла, чем на катоде. Эти данные относятся к разрядам на неподвижных электродах. Вполне возможно, что характер действия разряда при вращающихся электродах будет иметь свои особенности, что должно быть наиболее целесообразно использовано в новом процессе.

Как показывают результаты экспериментов, проведенных на кафедре "Резание материалов" ХИИ, обрабатываемая деталь может быть и катодом и анодом в зависимости от характера процесса шлифования и желаемого результата. Действие электрических разрядов на деталь и на круг следующее:

Действие на деталь

На обрабатываемой поверхности появляются лунки, уменьшаются навалы по краям царапин, образуемых режущими зёрнами, изменяются физико-механические свойства срезаемого слоя, в ряде случаев имеет место предразрушение металла на определенную глубину, разрушается и удаляется срезаемая стружка - все это вместе взятое облегчает процесс резания металла. При этом надо отметить, что мощность разрядов всегда можно выбрать такой, чтобы глубина предразрушения не превышала толщины срезаемого слоя и чтобы обработанная поверхность совершенно не имела следов повреждений.

Электрические разряды оказывают определенное воздействие на обрабатываемую поверхность и на поверхность шлифовального круга, в результате чего и удастся интенсифицировать процесс шлифования.

Известно, что при протекании искрового разряда основным носителем энергии является самофокусируемый поток электронов, действующих на анод. Каждый электрон, имеющий определенную массу, производит высокоскоростной удар на поверхность анода с выделением большого количества тепла. Кроме того анод подвергается действию энергии передаваемой излучением термической (газокинетической) бомбардировке, а также действию энергии передаваемой факелом аноду.

За счет фокусированного действия тепла происходит плавление металла и выброс его ударной волной с образованием лунки.

Характер процессов выделения энергии на катоде существенно отличается от того, что происходит на аноде. Катод подвергается ионной бомбардировке, действию тепла излучением (тепловая газокинетическая бомбардировка поверхности), кроме того на него действует энергия факела возникающего на аноде. Так же как и на аноде, на катоде образуются лунки. Однако опыты показывают, что структура анодного и катодного пятен различная.

Действие на шлифовальный круг

Удаляются частично металл и продукты шлифования, находящиеся на связке круга и на абразивных зернах, т.е. предотвращается засаливание шлифовального круга. При определенных электрических режимах удается стабильно поддерживать определенное выступание зерен над связкой и тем самым устранить контакт связки с обрабатываемым металлом, уменьшить силы трения в зоне обработки. Все это позволяет существенно повысить режущую способность шлифовального круга.

Описанный метод интенсифицированного шлифования хотя и является новым, однако в основе его лежат известные принципы алмазно-абразивного и электроскорового воздействия на металл.

1.1.3. Абразивно-электротермическое шлифование

Этот метод обработки прогнозируется на основе анализа возможных сочетаний механической энергии с другими ее видами, в данном случае тепловой энергии, возникающей в зоне контакта электропроводящего режущего зерна с обрабатываемым материалом при пропускании через них электрического тока.

Можно утверждать, что выделяющееся в зоне стружкообразования тепло резко изменит физико-механические свойства металла и соответственно улучшит его обрабатываемость. Тепло, вводимое в зону обработки будет действовать как на обрабатываемый металл, так и на режущие зерна, но учитывая высокую теплоемкость абразивного материала можно так подобрать величину дополнительной энергии, чтобы получить существенное снижение твердости только у обрабатываемого металла.

В качестве электропроводящих зерен могут быть использованы зерна карбида кремния зеленого (удельное сопротивление $3 \cdot 10^5 + 3 \cdot 10^7$ ом.см) или синтетические алмазы с повышенной электропроводностью (электропроводность $1,49 \cdot 10^{-2}$ (ом.см) $^{-1}$).

Достаточной электропроводностью обладают поликристаллы алмаза типа баллас, имеющие в своем составе промежуточную металлическую фазу.

1.2. Требования, предъявляемые к алмазным кругам при различных способах шлифования

Алмазные круги состоят из алмазных зерен и связки. В зависимости от способов шлифования и свойств обрабатываемого материала можно применять алмазные круги с алмазами разной прочности, зернистости и связки с различными физико-механическими свойствами.

Общие требования, предъявляемые к алмазным кругам /18/:

1. Плотное-прочное закрепление алмазных зерен с одной стороны и, в то же время, обеспечение своевременного вскрытия новых зерен и наиболее полное их использование до момента вырывания из связки - с другой стороны.
2. Каропрочность связок должна быть достаточной для сохранения формы рабочей поверхности алмазного слоя и прочной фиксации алмазных зерен при температурах, развивающихся в процессе резания.
3. Спектаемость при температуре, не превышающей 800-850⁰С во избежание снижения качества синтетических алмазов.
4. Наибольшая способность к схватыванию с обрабатываемым материалом и засаливанию.
5. Высокая теплопроводность.
6. Оптимальная зернистость и концентрация алмазов в зависимости от механических режимов.

Особые требования, предъявляемые к кругам при алмазном шлифовании

1. Круг должен иметь свойство самозатачиваения.
2. Прочность удержания единичного зерна в связке шлифа должна быть равна прочности самого зерна.

Особые требования, предъявляемые к кругам при алмазно-искровом шлифовании

1. Прочность удержания единичного зерна в связке должна быть максимальной и выше прочности самого зерна.
2. Связки должны иметь определенную электроэрозионную стойкость.
3. Электропроводность и теплопроводность связки должна быть высокой.

1.2.1. Общие требования, предъявляемые к алмазным кругам

При выполнении всех требований достигается максимальная производительность с минимальным удельным расходом алмазов. Но такие оптимальные условия практически не возможно осуществить.

Как видно, в связи предъявляются противоречивые требования: обеспечение своевременного вскрытия новых зерен^и в тоже время прочная фиксация алмазных зерен в процессе резания. Как правило, в инструменте, применяющемся в настоящее время, такие условия выдержать довольно сложно. Часто удовлетворяются лишь некоторыми из этих условий в ущерб остальным.

С введением дополнительной энергии в зону резания, мы получаем возможность выполнить все эти требования. Можно выбрать металлические жаропрочные связки, где прочное закрепление алмазных зерен гарантируется. А электроэрозионное действие электрического тока обеспечивает вскрытие новых зерен и этим исключает возможность засаливания круга.

Температура в зоне резания не должна превышать 850°C , т.к. микротвердость алмазов при этом сильно уменьшается /17/. На рис. 1.1 представлена температурная зависимость твердости алмаза.

Зернистость и концентрация алмазов в круге влияет на производительность шлифования и удельный расход алмазов. Серебренник и Куринин /30/ определили силы удержания зерен связкой методом пропахивания в зависимости от зернистости алмазных кругов на бакелитовой и керамической связке (АСОБІ-100% и АС КІ-100%). (рис. 1.2.)

График показывает, что более крупные зерна прочнее удерживаются связкой. Когда зернистость выше стружка лучше выводится из зоны резания, т.к. зерно больше выступает над связкой.

Концентрация алмазов влияет на количество режущих кромок одно-

$H \frac{MH}{M^2}$

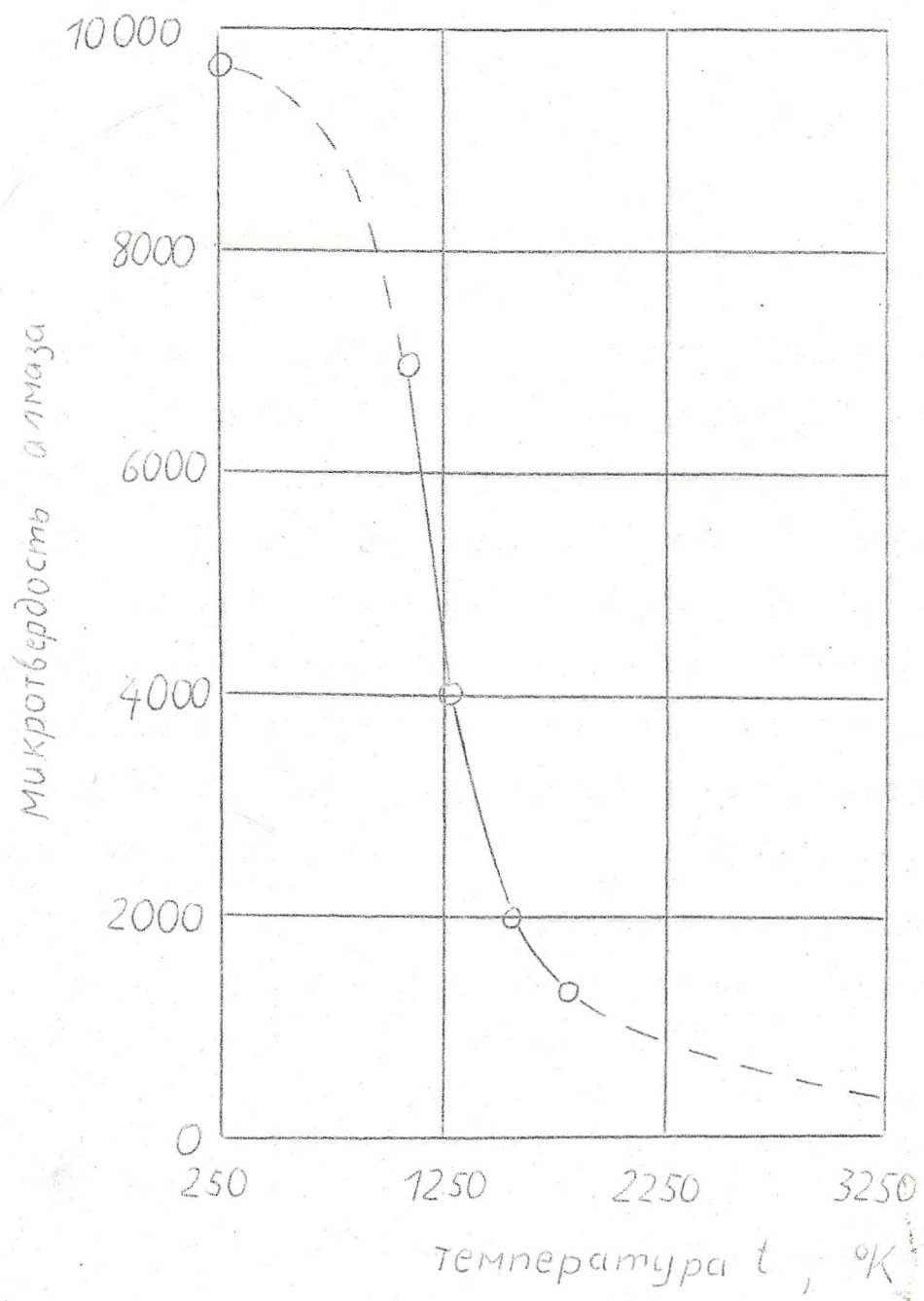


рис. 1.1

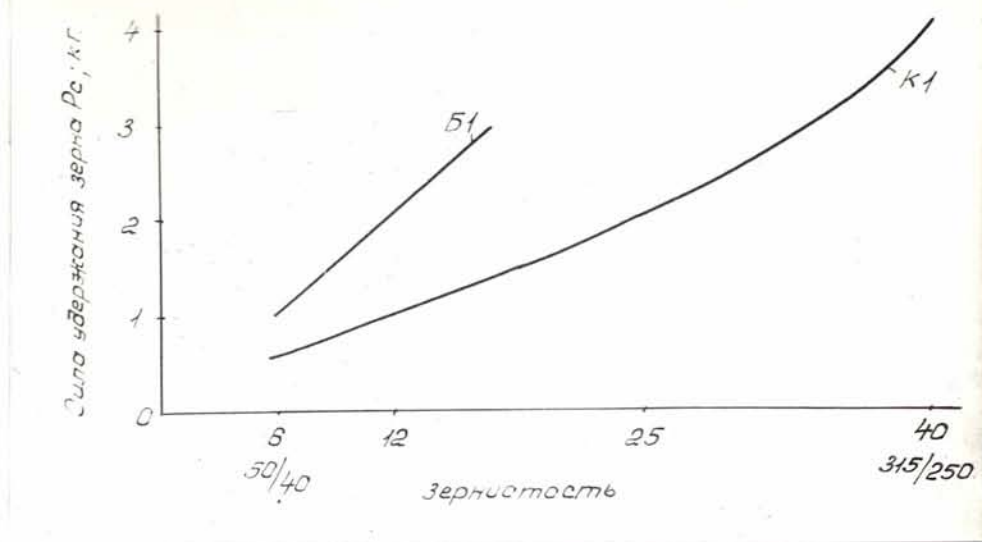


рис. 1.2.

одновременно вступающих в работу. Сила резания распределяется на все резущие кромки и с увеличением концентрации алмазов в круге уменьшается удельная сила на зерно. Одновременно уменьшается выпадание зерен из связки и соответственно уменьшается удельный расход алмазов, но существует оптимальная концентрация алмазов для которой удельный расход минимальный, а производительность — максимальная.

Склонность к засаливанию зависит от обрабатываемого материала и от связки круга. Круги на бакелитовых и керамических связках менее склонны к засаливанию, чем круги на металлических связках. Универсальной металлической связки не существует для обработки всех материалов. Поэтому надо выбрать оптимальную связку в зависимости от обрабатываемого материала.

1.2.2. Особые требования, предъявляемые к кругам при алмазном шлифовании

При алмазном шлифовании существуют особые требования к кругу. Это, в первую очередь, свойство самозатачивания. Металлические связки имеют склонность к засаливанию и поэтому применяется обычно органические связки. Удержание алмазных зерен в органической связке не высокое и связка сама быстро разрушается. Свойство самозатачивания

выполняется за счет повышенного удельного расхода алмазов.

В.Сердюк в своей диссертации /31/ по исследованию удержания
единичного алмазного зерна в органической связке, считает, что мак-
симальная работоспособность алмазно-абразивного инструмента возможна
тогда, когда выполняется следующее условие $\frac{P_{уд}}{P_3} \sim 1$

где $P_{уд}$ - прочность удержания единичного зерна в связке,

P_3 - прочность самого зерна.

При вырывании алмазов зернистостью 315/250 марок АСО, АСР, АСВ,
А, АСС, АССМ из связки Б1 получены следующие результаты

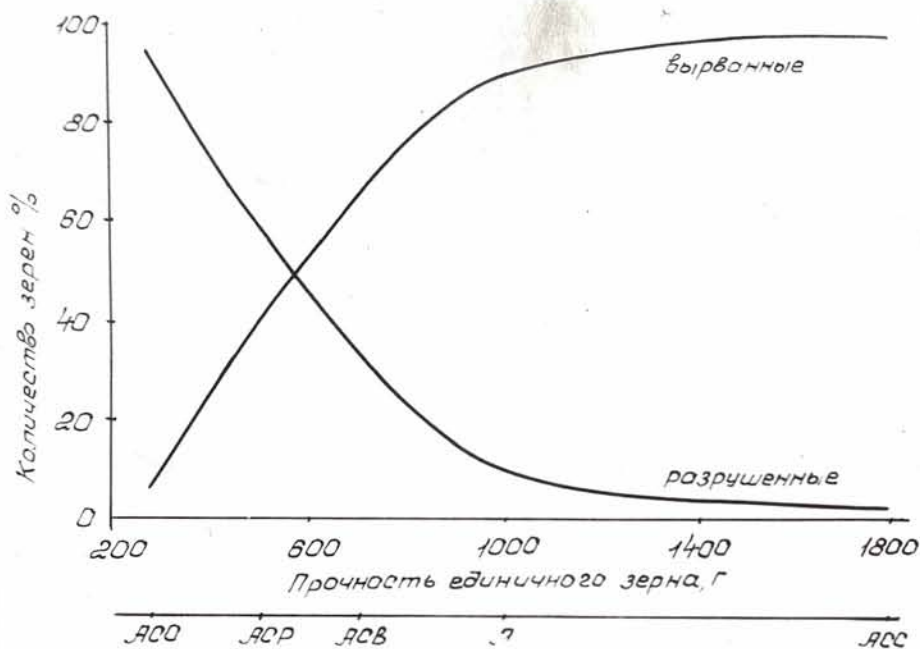


рис. 1.3

Коэффициенты использования алмазов следующие: для марки АСР $\frac{P_{уд}}{P_3} = 0,88$,
а для марки АСС - $\frac{P_{уд}}{P_3} = 0,06$

В кругах на бакелитовой связке не целесообразно применять высокие
прочные алмазы марки АСС, т.к. алмазные зерна вырываются из связки,
когда они еще не потеряли режущие свойства.

1.2.3. Особые требования, предъявляемые к кругам при алмазно-искровом шлифовании

При алмазно-искровом шлифовании прочность удержания единичных зерен в связке должна быть максимальной. Прочность алмазных зерен должна быть высокой и целесообразно применять алмазные зерна марок АСС и АСК. Правка круга происходит с помощью эрозионного действия электрических импульсов (см. раздел - износ алмазных кругов). Поэтому условие самозатачивания выполняется с выбором правильного электрического режима.

С применением связок, которые обладают высокой электро-эрозионной стойкостью, можно увеличить электрический режим и тем самым увеличить производительность обработки. Удельный расход при этом не увеличится.

Высокая температура, образующаяся в зоне резания, требует хорошей теплоотвод и, следовательно, высокую теплопроводность связки. В связи с течением электрического тока через связку круга необходимо применять связки с высокой электропроводностью.

1.2.4. Состав металлических связок

Промышленностью СССР выпускаются различные круги на различных связках. Эти связки представляют собой композиции металлов, легированные различными элементами или их соединениями. В качестве основных материалов для связок применяются, медь, олово, алюминий, цинк, железо, кадмий, кобальт, никель.

С целью получения связки высокой прочности, жаростойкости, электроэрозионной стойкости применяются многокомпонентные системы, упрочненные различными дисперсионными добавками. Упрочняющими добавками могут быть окиси алюминия, кремния, хрома, магния, титана и другие тугоплавкие окиси.

В таблице 1.1. представлены различные металлические связи, их состав и основная область применения.

Таблица 1.1.

Состав металлических связей и основная область применения

№	Связка	Состав, %	Основная область применения	Завод изготов.
1	2	3	4	5
I	MI	Cu -80, Sn -20	ЭХШ, хонингование, профильное шлифование	ИСМ, ТЗАИ, ПЗАИ, ЛЗАИ, "Ильич"
2	M3	Cu -81, Sn -14, Fe ₂ O ₃ -5	резки и шлифование мрамора	ИСМ
3	M15	Cu -64, Sn -16, Ag -1% стекло - 19	Э Х Ш	ТЗАИ
4	MK	Cu -64, Sn -16, электрокорунд -20	шлифование	ТЗАИ
5	MI		шлифование	"Ильич"
6	M5	Al -49, Cu -15, Zn -25, Sn - 5,5, Si -1,5, Cr -0,5, Mg -3,5	шлифование	"Ильич", ТЗАИ
7	M5-5	Al -44, Cu -25, Zn -20, Sn -5 Mn -1, Si -5	шлифование	ТЗАИ
8	M5-8	Al -56, Cu -32, Si -10, Mn -2	шлифование	
9	MPI	Al -44, Cu -25, Zn -20 Sn -5, Si -5, Ti -0,4, Mg -0,6	пористость 10-35% шлифование грубой хонингование	ПЗАИ
10	MVI	Al -44, Cu -25, Zn -20, Sn -5, Si -5, Ti -0,4, Mg - 0,6	Заточка инстру- мента	ПЗАИ
II	MV2	Al -47,5, Cu -48, Sn -4, -0,3, Ti -0,2	Заточка инстру- мента	ПЗАИ

1	2	3	4	5
ТМ	Cu -65,6, Sn-16,4, Al-5,6 Zn -7, Тура-5,4	Заготовка инструм. грубое шлифование		ТЭАН
ТМ2	Al-38, Zn-23, Al ₂ O ₃ -14,5, Cu-14, Sn-5,5, Mg-3, Cr-0,5, Si -1,5			
МО3	Co-93, Cd-6, FeS-I	Обработка природных строительных матери- алов.		ИСМ
МО4	Al-42, Cu-24, Sn-4, Zn-20, Si-5, Ti-I, нитрид бора - 4	Шлифование твердого сплава, стали, стекла		ИСМ
МО7		Шлифование твердого сплава, зубообработ. инструментов		ИСМ
МО13	Al-25, Cu-25, Zn-15, Si-5, карбид бора-30%	Заготовка инструмента, глубинное шлифование		ИСМ
МО13Э		Э X Ш		ИСМ
МС1, МС2, МС3, МС6, МС8, МС15	Медно-оловянистая осно- ва с добавками силика- тов (соединения кремния) для повышения твердости МС6: Cu-68, Sn-17, CuF ₂ -15 - высокая температурная смазка	шлифование конин-		ИСМ, ЛЭАН
МЖ	Cu-32, Sn-8, Fe-5I, Ni-9	Резки и шлифование строительных мате- риалов		ИСМ
СЭШ-I		ЭШлифование, уд.электропроводность близка к и нерв- совая плотность		ОКТЬ - Пермь

1.3. Физико-химико-механические явления при взаимодействии тел - алмаза и связки

1.3.1. Теоретическая основа закрепления зерна в связке

Для успешного использования алмазных кругов особенно важно найти материал связки, который имеет хорошие связывающие свойства к алмазам. Механическое заклинивание алмазных зерен не дает достаточное использование всего объема зерна при шлифовании и за счет остаточного явления вырывается большое количество зерен из связки.

Только химическое соединение поверхностного слоя алмазных зерен со связкой дает прочное удержание зерна в связке. Алмазы имеют в воздухе сильно загрязненную поверхность и только при высоких температурах ($t = 700^{\circ}\text{C}$) в вакууме 10^{-7} тор достигается чистая поверхность алмаза [21].

Михаэль Свил опубликовал в 1969 году обзор литературы о методах связки алмаза с другими веществами [33]. Существуют разные методы и патенты на них, но все они основаны на первоначальной зачистке поверхности алмаза и смачивание с металлом.

1.3.2. Способность разных металлов на соединение с алмазом

Особое значение имеют работы Найдича и Колесниченко по исследованиям смачивания алмаза и графита жидкими металлами [22].

Исследования проводились методом погружения капли в вакууме $1,33 \text{ кг/м}^2$ или в водороде для легколетучих металлов. Температура всех опытов меньше 1200°C , так как при этой температуре начинается графитизация алмаза.

Для всех металлов измерялся краевой угол θ и по уравнению

$W_A = \sigma_{ж} (1 + 0,005 \cos \theta)$ рассчитывалась работа адгезии W_A металла к алмазу, причем $\sigma_{ж}$ — поверхностное натяжение жидких металлов.

Так же, как и для графита, смачивание алмаза можно ожидать в тех случаях, когда металл интенсивно химически взаимодействует с углеродом. Сильные связи с углеродом металлоподобного характера образуют все переходные металлы, т.е. элементы с дефектор в d или f электронном слое.

Достаточно прочные соединения с ионной составляющей связи образуют с углеродом сильные электроположительные элементы (элементы с малым потенциалом ионизации), т.е. элементы в левой части периодической системы Менделеева, щелочные и щелочно-земельные.

Ряд непереходных металлов, как $Cu, Ag, Au, Ge, Sn, In, Sb, Pb$ не смачивают алмаз.

Переходные металлы интенсивно смачивают поверхность алмаза. Даже незначительные добавки (1%) хрома или титана в переходные металлы увеличивают работу адгезии этих сплавов к алмазу от 50-300 до 1500-3000 $кг/см^2$. таб. 1.2.

Из этого можно сделать вывод: материалом связи для алмазных инструментов могут быть сплавы из медь-хром или медь-олово-титан. Для успешного применения этих элементов необходимо проводить работу в высоком вакууме ($1,33$ $ин/м^2$). Для сплавов медь-хром возможно проведение технологических операций в очищенном водороде.

1.3.3. Влияние типа связи на удержание зерна

Алмазные шлифовальные круги применяются в промышленности почти исключительно на бакелитовой связке, хотя удержание зерна в этой связке значительно слабее, чем в связке на металлической основе. Это связано со сложностью правки круга, так как круги на металлической связке

Таблица 1.2.

Краевые углы и адгезии чистых металлов
и сплавов к алмазу

№	Металл состав масс, %	°C	Краевой угол	эрг/см ³	Среда
1.	Cu	1150	145	230	Вакуум
2.	Ag	1000	130	450	"
3.	Au	1150	150	90	"
4.	Ge	1150	116	360	"
5.	Sn	1150	125	190	"
6.	In	800	138	100	"
7.	Sb	900	120	180	Водород
8.	Pb	1000	110	240	"
9.	Cu + 10 Sn	1150	130	180	Вакуум
10.	Cu + 20 Sn	1150	130	190	"
11.	Al	800	150	110	"
12.	Al	1000	75	1010	"
13.	Cu + 2 B	1150	35	2360	"
14.	Cu + 10 Ti	1150	0	2680	"
15.	Cu + 5 Ti	1150	110	850	"
16.	Cu + 0,3 Cr	1150	37	2340	"
17.	Cu + 0,5 Cr	1150	22	2500	"
18.	Ag + 0,5 Ti	1000	45	1150	"
19.	Ag + 2 Ti	1000	5	1820	"
20.	Sn + 0,2 Ti	1150	30	840	"
21.	Sn + 0,5 Ti	1150	27	845	"
22.	Sn + 1 Ti	1150	10	890	"
23.	Cu + 10 Sn + 3 Ti	1150	0	1050	"
24.	Cu + 20 Sn + 0,5 Ti	1150	7	1100	"
25.	Cu + 20 Sn + 2 Ti	1150	0	1090	"

не выполняют условия самозатачивания. Введение электрического тока в зону резания может давать такие условия, что алмазный круг на металлической связке с затачивается или правка круга выполняется в течение нескольких минут.

Исследование сил удержания брусков на различных связках методом пропахивания показало, что удержание алмазных зерен в металлической связке действительно значительно больше, чем в санелитовой связке. По данным работы /30/, наименьшими силами удержания характеризуются бруски на металосиликатных связках МС2 - 4, 22 кг; МС8 - 3,7 кг; МС15 - 2,67 кг и на металлических связках М1 - 2,4 кг, М5 - 1,64 кг. Наименьшая сила удерживания у брусков на органических связках - М1 - 1,62 кг, Б2 - 0,62 кг, Б3 - 0,48 кг, Б4 - 0,44 кг.

1.3.4. Влияние Al_2O_3 в алмазных кругах на металло-керамические связки

Испытания алмазных кругов, изготовленных на связках состоящих из $Cu-Sn-Ti-Al_2O_3$, показали, что прочность алмазоносного слоя очень велика, мощность резания резко возрастает до 1,5-1,6 квт /28/.

С увеличением содержания окиси алюминия от 5 до 30% увеличивает предел прочности при изгибе и удельная ударная вязкость, а также твердость от 20 до 53 НРС. (рис. 1.4.)

Лучшие результаты показала связка МС2 с содержанием окиси алюминия 15%

При шлифовании твердого сплава Т15К6 алмазным кругом АСВ12, МС2-100% при скорости резания $V_{кр} = 16$ м/сек удельный расход $q = 0,22$ мг/мм³ этот результат полностью совпадает с результатами полученных на кафедре резания материалов ХПИ им. В.И. Ленина. Когда производительность на связке М1 была 260 мм³/мин при удельном расходе 2,9 мг/г, на связке МС2 производительность получилась 370 мм³/мин и удельный расход

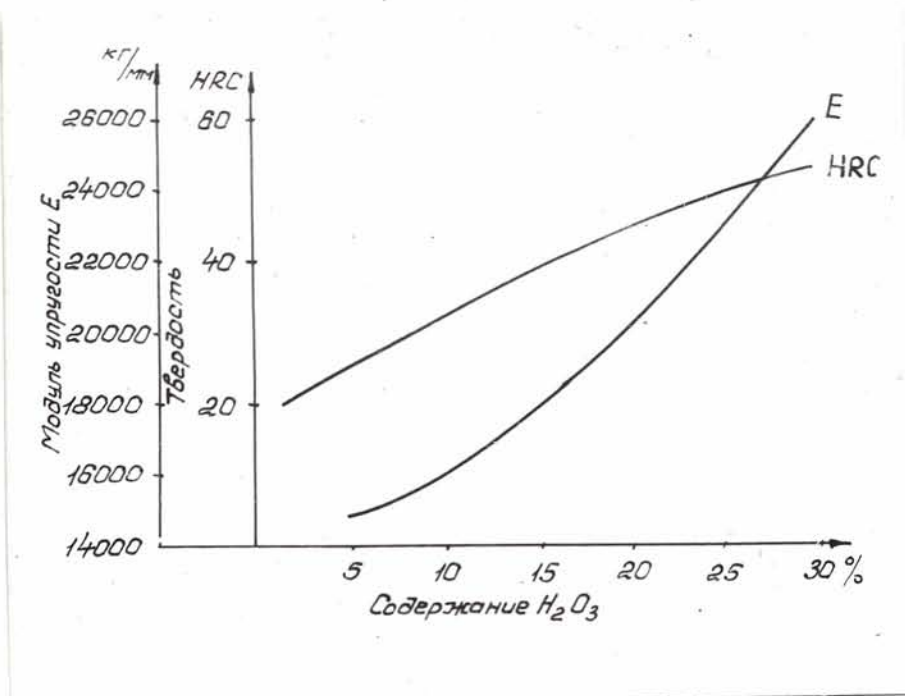


рис. 1.4.

ность 0,3 мг/г. Эти результаты достигали при обработке магнитного сплава ЮНК35Т5 с применением импульсного тока $f = 22$ кГц. Как говорилось выше, удержание алмазного зерна в связке МС2 достигало наибольших величин при измерении силы удержания методом пропазивания. Это свидетельствует о том, что применение алмазных кругов на связке МС2 очень эффективно и удельный расход в первую очередь зависит от силы закрепления зерна в связке.

1.3.5. Влияние металлизации на работоспособность алмазного круга

Металлизация алмазных зерен осуществляется как химическим способом, так и электрическим покрытием алмазных поверхностей металлическим слоем. Для покрытия применялся никель, медь, олово. После этого изготавливают круги по обычной технологии.

Во многих советских и зарубежных статьях отмечается преимущество этих кругов особенно на бакалитовой связке.

Сердюк В.М. исследовал в своей диссертации /31/ усилие вырыва

от глубины его заделки на бакелитовой связке БІ для алмазных
марки АСС и металлизированных марки АССМ. (рис. 1.5)

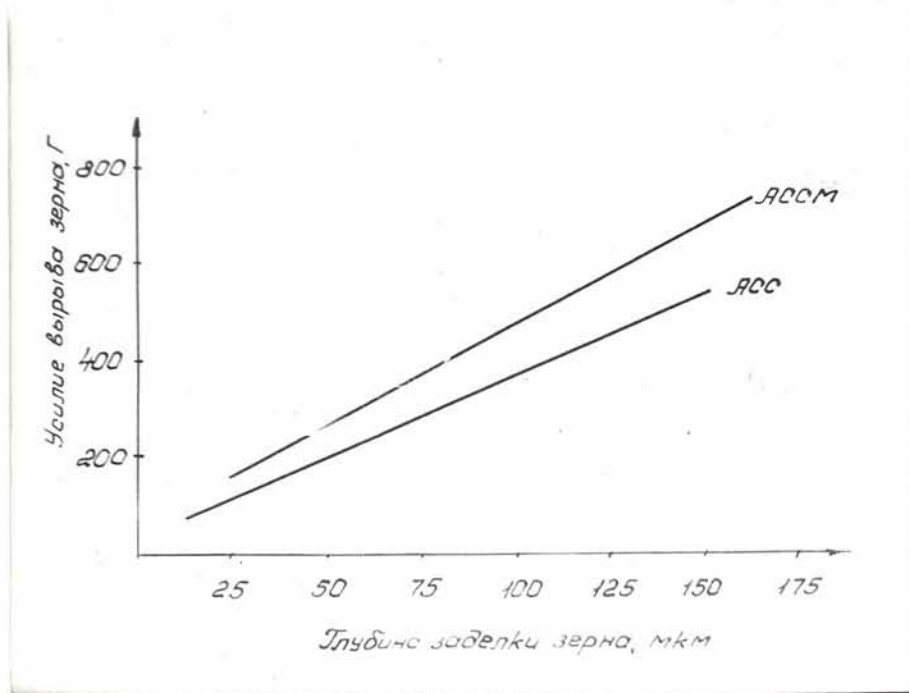


рис. 1.5.

Металлизация алмазов обеспечивает незначительное повышение проч-
ности закрепления зерен.

В работе /34/ отмечается, что при шлифовании кругами из алмазов с
металлическим покрытием в точке контакта круга с деталью выделяется боль-
шее количество тепла, однако лучшая теплопроводность алмазных колец с
металлическим покрытием обеспечивает более низкую температуру остальной части
рабочей поверхности круга, чем при шлифовании кругом с алмазами без та-
кого покрытия. Этот факт особенно влияет на круги с бакелитовой связкой,
у которых теплопроводность низкая и тепловое разрушение связки начинается
при температуре 250-300°C. Круги с алмазами без металлического покрытия имеют на
рабочей поверхности алмазов на 20-35% меньше, чем круги с алмаза-
ми с таким покрытием. (рис. 1.6.)

Такой результат свидетельствует о том, что закрепление металлизиро-
ванных зерен в связке лучше, чем алмазных зерен без металлизации.

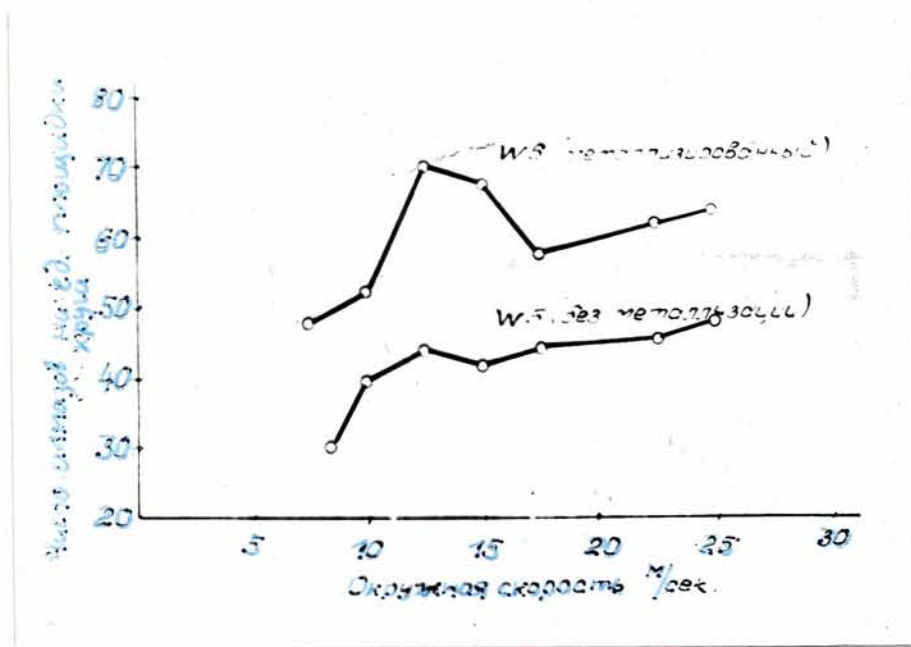


рис. 1.6.

Влияние металлизации алмазов на работоспособность оценивается во всех работах положительно, но результаты исследования колеблются в широких пределах. Способы металлизации и металлы неодинаковые. Сила адгезии алмазов к металлу зависит от внешних условий (давления, температуры) и от самого металла [22], как уже отмечали выше. Кроме этого влияет вес нанесенного металла по отношению к исходному весу алмазов [2].

Применение металлизированных никелем и медью алмазов в кругах с металлической связке MO4 при обработке твердого сплава совместно со сталью повышает работоспособность инструмента в пять раз, в кругах с связке MO13 применение алмазов, металлизированных никелем, при обработке твердого сплава повышает работоспособность инструмента в два раза, в то время как металлизация этих кругов медью практически не влияет на их работоспособность. Оптимальной степенью металлизации

... инструмента на связках И04 и И013 является 20% от массы алмазов.
Металлизация осуществлялась электролитическим путем с наложением
ультразвука. (рис. 1.7)

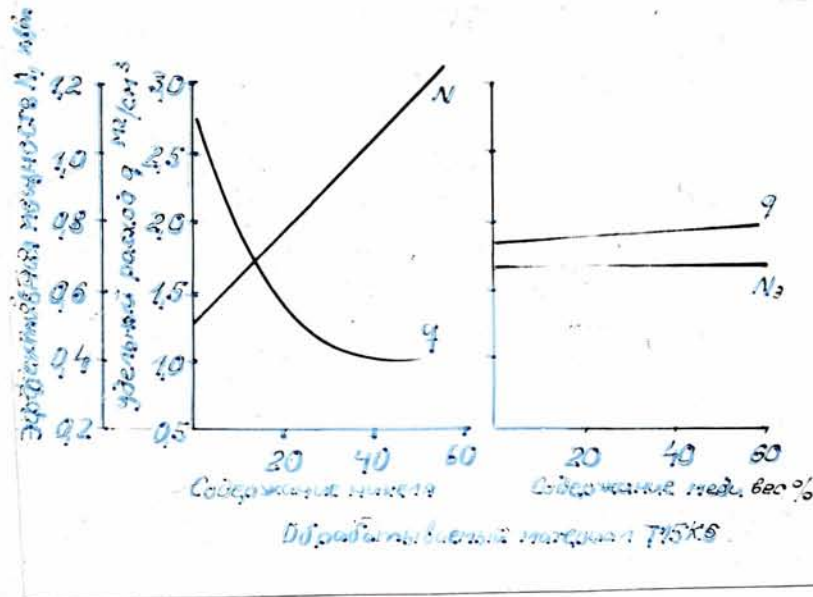


рис. 1.7.

Металлизация также влияет на механические свойства абразивного
шляка /2 /: увеличивается предел прочности при изгибе, предел прочно-
сти при срезе и ударная вязкость, а уменьшается твердость.

И в о д. Металлизация алмазных зерен успешно применяется для повы-
шения работоспособности алмазных кругов только тогда, когда выбирает-
ся оптимальный вариант осуществления этого процесса и материал метал-
лизации в зависимости от обрабатываемого материала и силы адгезии
к алмазу.

I.4. Особенности износа кругов при алмазно-искровом шлифовании материалов

Сущность процесса алмазно-искрового шлифования предопределяет более сложные условия работы и износа кругов, чем при обычном шлифовании. Так как шлифовальный круг состоит из зерен и связки, мы различаем 2 вида износа круга - износ шлифовальных зерен и износ связки круга.

I.4.1. Механизм износа алмаза

В настоящее время можно считать установленным, что в зависимости от условий резания, алмазы подвергаются различным по природе видам износа - адгезионному, абразивному, диффузионному, химическому, окислительному и др. При этом, в одних случаях одним из видов износа является преобладающим суммарный, а в других случаях он определяется совокупностью нескольких видов износа.

Адгезионный износ

Удаление инструментального материала с контактных поверхностей режущего инструмента вследствие срыва и отрыва, вызванных адгезионными явлениями, принято называть адгезионным износом. При измерении адгезии между алмазом и металлом было найдено, что адгезия между ними в воздухе весьма слаба, в то время как у тщательно очищенных поверхностей в вакууме адгезия довольно сильная.

Как показали опыты Лосадзе и Бокучава /17/, адгезионный износ зависит в первую очередь от обрабатываемых материалов.

Абразивный износ

Механизм абразивного износа состоит в том, что твердые включения обрабатываемого материала внедряются в контактные поверхности инструментального материала. Абразивный износ может проявляться в том

случае, если твердость включений выше твердости поверхностных слоев материала инструмента. При шлифовании твердых сплавов с высокими скоростями резания карбиды не успевают нагреваться полностью, в то время как контактные поверхности алмаза разогреты до высокой температуры. В этих условиях твердость карбидов при комнатной температуре оказывается выше, чем твердость алмаза при температуре плавления твердых сплавов.

в) Диффузионный износ алмаза

Высокие температуры шлифования, контактирование абразивных зерен со свежесобранной поверхностью обрабатываемого металла, химическое родство между материалом абразива и обрабатываемым металлом в ряде случаев могут настолько интенсифицировать процесс диффузионного переноса, что он может стать доминирующим в износе абразивного инструмента.

Отличительной особенностью поверхностей, образовавшихся в результате диффузионного износа, является их высокая гладкость и класс чистоты.

г) Окислительный износ алмаза

Алмазно-искровое шлифование связано с наличием высоких локальных температур, возникающих в результате электроэрозионных и электроконтактных явлений. Электронномикроскопическое исследование В.А.Залоты /12/ показывает, что на тех участках, где протекают электроэрозионные процессы, вследствие высоких температур, наличия водорода и атомарного кислорода, преобладает графитизация и окисление алмазных зерен.

д) Комбинированный износ

При изменении условий резания один вид износа может переходить в другой и функции преобладающих видов износа могут меняться. Возможны

случаи, когда одновременно проявляются несколько видов износа, интенсивность примерно одинакового порядка.

1.4.2. Износ алмазных кругов

Износ шлифовального круга не только зависит от режущей способности единичного абразивного зерна, но и в значительной мере от связи и закрепленных в ней зерен. При алмазном скоровом шлифовании износ кругов зависит также от действия электрических импульсов на связку, т.е. от электроэрозионной стойкости связки.

Как отмечает Серебряник /30/ в статье об износе алмазных и бонзональных кругов, износ кругов при шлифовании зависит от отношения сил связания, оказывающих разрушающее действие на рабочую поверхность круга, к силам удержания зерен в связке, которые зависят в свою очередь от материала связки и при прочих равных условиях от размеров зерна.

1.4.2.1. Влияние обрабатываемого материала на износ алмазных кругов

В качестве показателя износа Лопадзе /17/ применял следующее.

а) коэффициент шлифования K_3

$$K_3 = \frac{V_M}{V_3}$$

где V_M — объем снятого материала,

V_3 — объем изношенной части абразивного зерна.

Коэффициент шлифования K_3 применительно к единичному абразивному зерну

б) коэффициент шлифования K_M абразивного круга

$$K_M = \frac{V_M}{V_{0.и}}$$

где $V_{0.и}$ — объем изношенного абразивного материала.

Величина эффективности

$$\mathcal{E} = \frac{K_k}{K_3} \cdot 100\%$$

Таблица 1.3.

Обрабатываемый материал	Коэффициент шлифования		Эффектив- ность, Э
	единичным зерном K_3	абразивным кругом K_k	
Серый чугун СЧ 12-8	2500000	1820	0,07
В и к е л ь	1860	16	0,86
Сталь 40	1953	36	1,9
Технический титан ВТ1	1540	48	3,1
Каропрочный сплав ХН70ВМТЮ	610	38	6,2
Молибден ВМ1	292	33	8,9

Как видно из таблицы 1.3. в зависимости от обрабатываемого материала и скорости резания коэффициент шлифования для единичного алмазного зерна при данной толщине среза изменяется в широких пределах от нескольких сотен до нескольких миллионов. Из сопоставления коэффициентов шлифования, следует, что коэффициенты шлифования для единичного алмазного зерна значительно выше, чем для алмазного круга.

Величина эффективности в определенной степени характеризует относительное качество связи для заданных условий обработки. Идеальной связкой является та, для которой величина Э приближается к 100%. Практически, как показывает опыт абразивной обработки, качественными корундовыми и карборундовыми кругами, эффективность Э может достигать 20-30%. Это значит, что применение сапфировой связи не выгодно, т.к. используется только несколько процентов, а при обработке чугуна - всего лишь 0,07% режущих свойств алмазов.

Такой же результат получен при регенерации алмазов из шлама
 В/ при обработке стали 45 в алмазными кругами на бакелитовой связке.

Таблица 1.4.

Марки алмазов	Удельный износ мг/г	Кол-во алмазов навести шлама мг/г
ЭД (повышенной хрупкости)	6,5	5,2
ЭР (меньшей хрупкости)	2,5	3,1
ЭВ (прочные, уменьшенной хрупкости)	1,61	1,0

Эти результаты показывают, что алмазные зерна вырываются или
 ломаются в процессе шлифования, если они еще не потеряли своей режу-
 щей способности. Это подтверждает результат, что 75% алмазных зерен
 ЭВ было больше 50 мкм, после регенерации при использовании зернисто-
 сти 125/100.

1.4.2.2. Влияние электроэрозионного действия на износ алмазных кругов

При алмазном шлифовании износ кругов зависит в значитель-
 ной степени от электроэрозионного действия электрических импульсов на
 связку круга. Эти действия зависят от электроэрозионной стойкости
 шлама и от электрических режимов.

Единичным разряд электрического тока удаляет некоторый объем
 непроводной связки и образует лунку (кратер), размер которой за-
 висит, в основном, от энергии электрического разряда и физических
 свойств материала связки.

Если алмазы не электропроводны, они не подвергаются электро-
 эрозии и электрические разряды повторяются с заданной частотой, последо-
 вательно удаляют материал связки, вскрывая закрепленные в ней кристаллы.

На работоспособность алмазных кругов при электро-искровом шлифовании влияет электропроводность алмазных зерен /13/. Так как электроискровая обработка выполняется в жидкой среде и сопровождается электродинамическим эффектом, кристаллы, вскрытые более чем на половину своего поперечного сечения, выбиваются из связки. И только кристаллы поверхностного слоя, вскрытие которых не превышает 1/3 поперечного сечения, достаточно прочно закреплены и обладают нормальной работоспособностью.

Проведенные эксперименты при использовании алмазных зерен марки АСК в связке МС6 доказали, что. Бруски, изготовленные из алмазов ЭК160/125 с удельной электропроводностью $2,33 \cdot 10^{-9} \text{ (ом.см)}^{-1}$ (электропроводностью обычных синтетических алмазов) имеют на поверхности следы от выбитых алмазов, а также глубокие кратеры вокруг оставшихся кристаллов. На ровной, без кратеров площадке обработанного бруска, изготовленного из алмазного порошка с удельной электропроводностью $1,49 \cdot 10^{-2} \text{ (ом.см)}^{-1}$ выступающие части кристаллов прочно закреплены по длине всего своего поперечного сечения.

1.5. Разрушение материалов

Согласно современным представлениям существует различные типы разрушения /16/: а) хрупкое, б) пластическое (вязкое), в) усталостное.

Рассмотрим процесс микрорезания отдельным шлифовальным зерном /16/. В процессе шлифования зерна производят массовые микрорезания, т.е. царапание поверхностного слоя материала. При царапании происходит пластическая деформация металла впереди царапающего элемента, по бокам от него и ниже линии среза. Перемещение царапающего элемента, сопровождающееся снятием стружки, возможно при наличии скальвающих напряжений, больших истинного сопротивления материала срезу.

Процесс тонкого высокоскоростного шпорорезания шлифования зернами
проводится значительным повышением температуры деформируемого
материала, что обеспечивает повышение его пластичности. Но если увели-
чение скорости деформации не сопровождается повышением температуры,
то упрочняется металл и снижается его пластичность.

Как правило, крупное разрушение является внутримикроструктурным
и распространяется вдоль кристаллографической плоскости - называемой
плоскостью скола. Неадекватность обусловлена повторным приложением нагрузки
как следствие этого, изменением механических свойств материала
вещица.

При алмазной обработке сталей происходит пластическое деформи-
рование и срез стружек, которые состоят из соединенных между собой
элементов. Подобные "суставчатые" стружки, со слабо связанными эле-
ментами, образуются и при алмазной обработке твердых сплавов, что
свидетельствует о величии среза и в этом случае.

При шлифовании твердых сплавов алмазными кругами на бакелитовой
основе силы резания в 4-5 раз больше сил, возникающих при шлифовании
алмазными кругами из зеленого карбида кремния. Меньшие силы резания
говорят о низких силах трения и, соответственно, уменьшении темпера-
туры в зоне резания. Коэффициент теплопроводности алмаза в 10 раз
больше, чем у абразивных материалов. Здесь можно сказать, что plasti-
ческая деформация при алмазном шлифовании происходит в большей степе-
ни, чем при абразивном шлифовании.

Алмазно-искровое шлифование связано с образованием искры в зоне
резания. Высокая температура искры расширяет обрабатываемый материал.
Пластическая деформация материала увеличивается и обеспечивает улучше-
ние разрушения поверхностного слоя материала.

1.6. Обрабатываемость различных материалов

Для каждого материала существуют определенные методы обработки в зависимости от физико-механических свойств материала. Методы обработки выбирают по многим факторам, таким как класс точности, шероховатость поверхности, производительность и износостойкость инструмента. Правильный выбор метода обработки и инструмента имеет большое влияние на производительность обработки.

1.6.1. Обрабатываемость магнитотвердых материалов

В современной электротехнической промышленности применяется большое количество постоянных магнитов, изготовленных из сплавов со специальными электрофизическими свойствами. К таким свойствам, в частности, относятся магнитотвердые материалы типа ЮНК24, ЮНК245, ЮНК25БА, ЮНК35Т5 и т.д.

Из-за крупнозернистой структуры повышенной твердости (НРС45+56), высокой механической прочности (2,8-3,4 кг/мм²), а также высокой крупности, механическая обработка магнитных сплавов лезвийным инструментом практически невозможна.

Дополнительный принудительный нагрев детали несколько расширяет технологические возможности использования лезвийных инструментов, но усложняет оборудование и не исключает изменения магнитных свойств сплавов. Значительные припуски (3-5 мм на сторону) литейных постоянных магнитов снимаются, в основном, шлифованием абразивными и алмазными кругами.

По трудоемкости обработки литейные постоянные магниты разбивают на 3 группы:

- 1) легкообрабатываемые (ЮНК15, ЮНК18, ЮНК24, ЮНК24Б);
- 2) средней трудности (ЮНК25БА, ЮНК25А);

Таблица 7.4.а

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
СПЛАВОВ ДЛЯ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

Состав	Химический состав, %					Предел прочности кг/мм ²			Твер- до- сть HRC	Модуль упруго- сти, E кг/мм ²	Удель- ный вес г/см ³	Дельнов электр. сопротив. S ом.мм ² /м
	Ni	Al	Co	Cu	Ti	растя- жения	изгиба	скатия				
ЮИДК 35Т5	15	8	34	4	5	10,7	15	123	157	19840	7,3	0,69
ЮИДК 24Т2	14	9	24	4	2	20	15,9	143	52	19380	7,25	0,62
ЮИДК 24	14	9	24	4	0,3	29,8	29,2	192	49	19850	7,35	0,49

2) труднообрабатываемые (ЮИДКЗБТ5)

Большинство изделий шлифуется по 2-3 классу точности. Чистота поверхности 6-7, на доводочных операциях 8-10.

Оптимальным абразивным инструментом при обработке сплавов ЮИДК24, ЮИДК25А и ЮИДКЗБТ5 является круг на керамической связке ЭБ40МС2КБ.

Высокая трудоемкость технологии процесса обработки из-за необходимости снятия всего припуска после литья только шлифованном, большой расход шлифовальных кругов из-за интенсивного износа абразивных зерен, приводят к удорожанию производства постоянных магнитов. Кроме того, при абразивном шлифовании постоянных магнитов имеют место сколы, выкрашивание кромок, трещины и т.п. дефекты, приводящие к браку деталей.

Известны удачные попытки применения электро-химико-механической (одно-механической, электроабразивной и электроалмазной) обработки магнитных сплавов на следующих операциях: анодно-механической и электроабразивной порезки заготовок и прорезки пазов /14/, электрохимического фасонного профилирования вращающимся металлическим диском /19/, электрохимического промывания отверстий металлическим электродом /15/, фасонного шлифования торцев абразивного /15/ или алмазного /14,38/ кругов на металлических связках или применение абразивное неэлектропроводного инструмента с дополнительным катодом-инструментом /19/, внутреннего предварительного шлифования неабразивносным инструментом /20/ и др.

По имеющимся данным, при обработке сплавов типа ЮИДК электрохимико-механическими методами обработки можно интенсифицировать съём материала в 3-7 раз, а на отделочных операциях в десятки-сотни раз в сравнении с абразивно-алмазным шлифованием и электроабразивной обработкой, получить чистоту поверхности 7-9 класса, без дефектов,

сохранением исходной структуры поверхностного слоя и магнитных свойств материала.

В Новосибирском НИИ были проведены исследования по определению условий поверхностной абразивной, алмазной, электроабразивной и электроалмазной шлифовки на шестом и первом магнитотвердых сплавов В/.

В таблице 1.5 приведены результаты этих опытов при обработке сплава ВДК24, ВДК25ВА и ВДК35Т5.

Шлифовались образцы с контактной площадью 1 см² при $P_{уд} = 5$ кг/см² и $V_{рез} = 22$ м/сек кругами следующих характеристик: алмазные круги В25 М1-100%, абразивные круги В25 СМ2К и В25 С3 I-52%. В качестве электролита применялся водный раствор 5% KNO_3 , 5% NuF . Напряжения генераторного тока при электроабразивной и электроалмазной обработке составляло 76.

На рис. 1.8. представлены сравнительные показатели алмазной, абразивной, электроабразивной и электроалмазной обработки сплава ВДК35Т5, а на рис. 1.9. показано влияние рабочего напряжения на удельный съем металла и плотность тока при электроалмазной и электроабразивной шлифовке.

Проведенные исследования подтверждают эффективность и перспективность электроалмазного шлифования магнитотвердых материалов. По сравнению с абразивным шлифованием съем металла возрастает в 5-10 раз (для указанных условий), а по сравнению с электроабразивным в 1,5-2 раза. Микротвердость поверхностного слоя и микродефекты после электроалмазной обработки значительно меньше, чем после абразивной, а шероховатость поверхности ниже в среднем на I класс и составляет $\nabla 9$.

Электроалмазное шлифование магнитных сплавов характеризуется также отсутствием засаливания поверхности круга и чрезвычайно низким

Наименование показателей	Обозначение	Единица измерения	алмазное			образивное			электро-образивное			электро-алмазное		
			ЮНДК 35Т5	ЮНДК 24	ЮНДК 256А	ЮНДК 35Т5	ЮНДК 24	ЮНДК 256А	ЮНДК 35Т5	ЮНДК 24	ЮНДК 256А	ЮНДК 35Т5	ЮНДК 24	ЮНДК 256А
Удельный объем	Q	мм ³ /мин·см ²	1,8	2,4	1,62	28	45	59	133	156	160	252	280	257
плотность тока	i	а/см ²	—	—	—	—	—	—	63	71	75	127	125	127
объемный выход потока	Q	мм ³ /а·мин	—	—	—	—	—	—	2,11	2,2	2,13	2,1	2,25	2,15
механич. мощность	W _м	квт	0,07	0,08	0,07	0,37	0,37	0,38	0,22	0,29	0,30	0,08	0,08	0,10
электрич. мощность	W _э	—	—	—	—	—	—	—	0,44	0,50	0,52	0,84	0,87	0,94
Уд. мощность механ.	N _м	дж/мм ³	2320	2000	2600	780	493	380	99	112	113	13	17	23,2
Уд. мощность электрич.	N _э	—	—	—	—	—	—	—	127	131	203	200	185	196
Суммарная мощность	ΣN	—	2320	2000	2600	780	493	330	286	303	322	219	202	219
Доля механ. мощности	ΔN _м	%	100	100	100	100	100	100	34,6	37	35,1	8,7	8,4	10,6
микротверд. поверхности	H _в	кг/мм ²	724	707	634	743	782	642	612	612	48,3	634	665	454

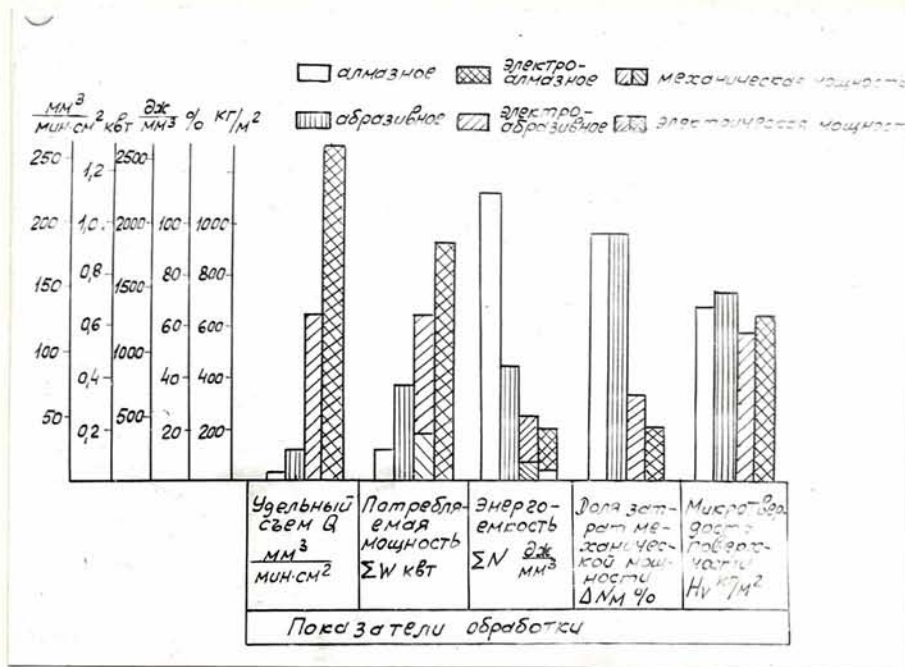


рис. 1.8.

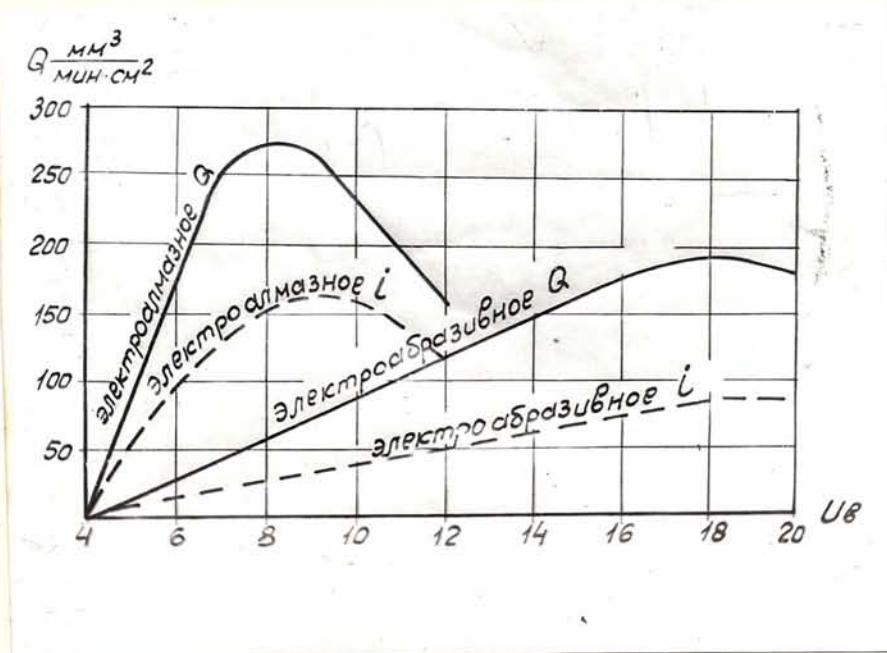


рис. 1.9.

дельным расходом алмаза (в среднем 0,1 мг/г).

В Новосибирском НИИ проведены исследования обрабатываемости различных материалов при алмазной и электроалмазной шлифовке [26]. Результаты обработки магнитных сплавов ВМН24, ВМН35Т5 и др. марок сплавов алмазным кругом АСР125/100 ИВ-100, с удельным давлением 5 кг/см² приведены на рис. 1.10.

При алмазной шлифовке наблюдается значительная разница в скорости различных материалов. Наихудшей обрабатываемостью обладают ферритные сплавы. Съем сплава ВМН35Т5 при $V = 22$ м/сек достигает всего 1,5 мм³/мин.см² или в 207 раз ниже, чем съем чугуна, в 50 раз ниже, чем съем твердого сплава ВК8 и в 7 раз ниже съема сплава ВМН24.

Электроалмазное шлифование позволяет значительно интенсифицировать съем материалов, причем возрастание происходит диспропорционально и обрабатываемость магнитных сплавов практически приближается к обрабатываемости твердого сплава ВК8.

Данные по обработке исследуемых материалов при $V = 22$ м/сек приведены в табл. 1.6, которая наглядно иллюстрирует значительную эффективность электроалмазной обработки магнитных сплавов.

Сравнительные технико-экономические показатели различных технологических схем обычных и комбинированных способов обработки магнитных сплавов приведены в табл. 1.6.

Анализируя данные, приведенные в табл. 1.6, следует отметить, что наилучшие технико-экономические показатели имеет электро-химико-механическая размерная обработка и поэтому основное направление научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ должно быть уделено этому способу обработки.

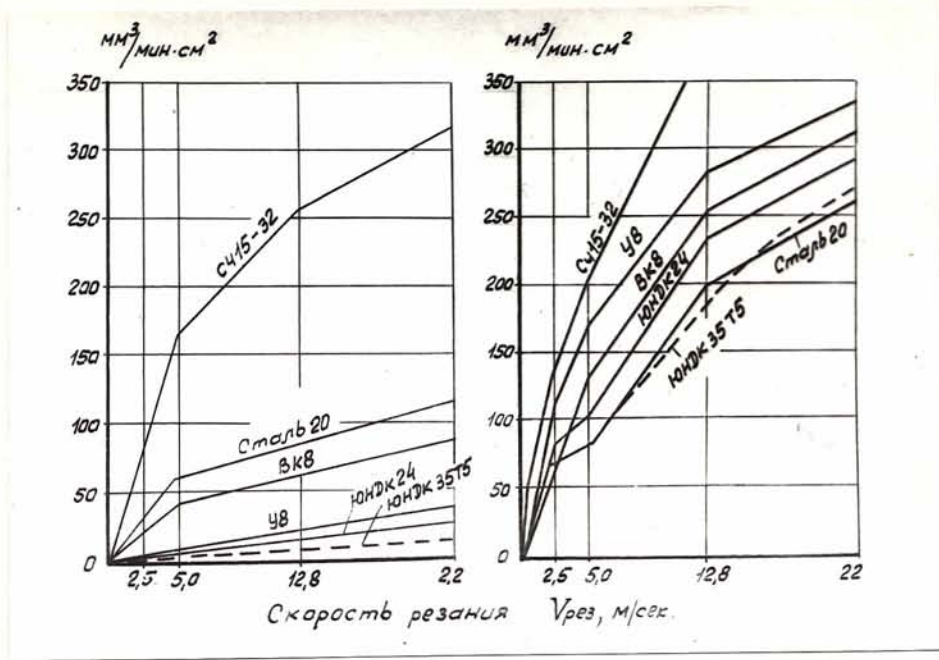


рис. 1.10.

таб. 1.6.

Обработка взвешенный материал	Удельное давление кг/см ²	Увеличение уд. съема по сравнению с алмазной обработкой в число раз	Удельный съем мм ³ мин·см	Съем прихо- дящий ся на алма- зную обработку	Удель- ный расход алма- за мг/г	Удель- ная про- извод. мм ³ мин·см	Увеличен. уд. произ- водит. по сравнен. с алмаз- ной обра- бот. в число раз	Чистота поверхно- сти	
								Rz мк	Класс
ЮНДК35Т5	5	184	276	99,5	—	—	—	—	9
ЮНДК24	5	30	304	97	0,74	636	10	1,4	9
Сталь У8	10	11,3	340	91	0,55	815	4,1	1,5	9
ЭК4376	20	4,8	124	79	1,38	306	4,8	1,1	9
ВК8	15	2,7	458	62	0,36	670	1,7	1,5	9
Сталь 20	5	2,5	262	60	—	—	—	6,2	7
СЧ15-32	10	1,4	538	30	0,54	903	1,1	5,6	7

1.6.2 Обрабатываемость твердого сплава

Твердые сплавы применяются в промышленности как материалы режущих инструментов. Их физико-механические свойства приведены в табл. 17.

Таблица 17.

Твердые сплавы	Твердость HRA	Микро- твердость H кг/мм ²	Красно- твердость H _к °C	Предел прочности	
				при изгибе кг/мм ²	при сжатии кг/мм ²
Вольфрам-кобальто- вые	87-90	1400-1800	800	100-155	300-350
Титано-вольфрам- овые	87-92	1400-1800	850-950	90-150	350-400

Режущие инструменты имеют четко определенные геометрические формы, поэтому алмазное точение можно применять только в отдельных случаях. Единственный метод обработки является шлифование твердого сплава. Но так как микротвердость карбида вольфрама довольно высокая, алмазные круги из электрокорунда быстро изнашиваются и теряют режущие свойства. Температура в зоне резания при этом высокая и образуются микротрещины в твердом сплаве. С применением алмазных кругов понижается температура в зоне резания и из-за отсутствия микротрещинок твердосплавного инструмента повышается в 1,5-2 раза. Поэтому алмазная заточка твердосплавного инструмента нашла широкое применение.

Существует много исследований в области алмазного шлифования твердого сплава. Галицкий В.Н. и Муровский В.А. /8/ исследовали влияние различных металлических связок на обрабатываемость твердого сплава ВК8 при плоском шлифовании кругом АПН и Т15К6 кругом в качестве СОЖ применяли 3% содовый раствор. (рис. 1.11.)

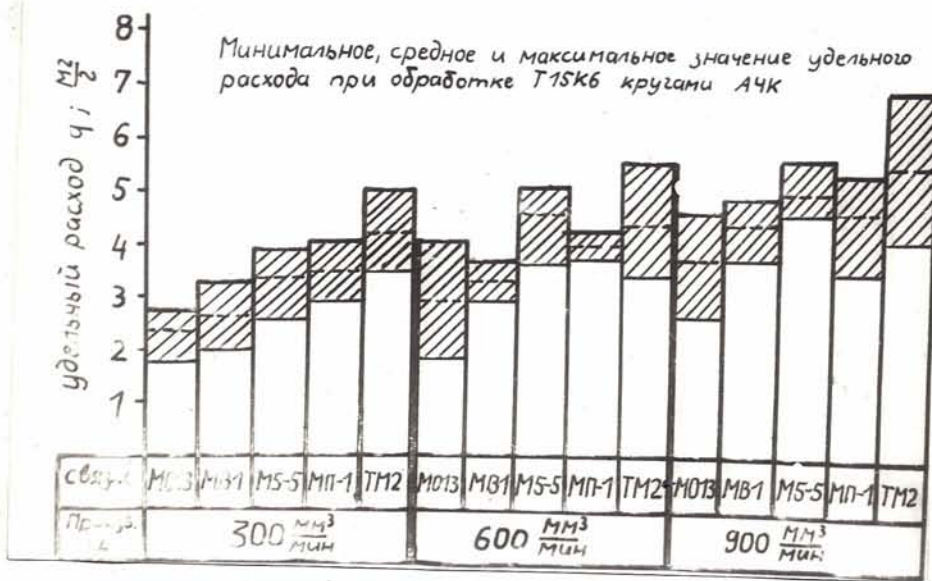


рис. 1.11.

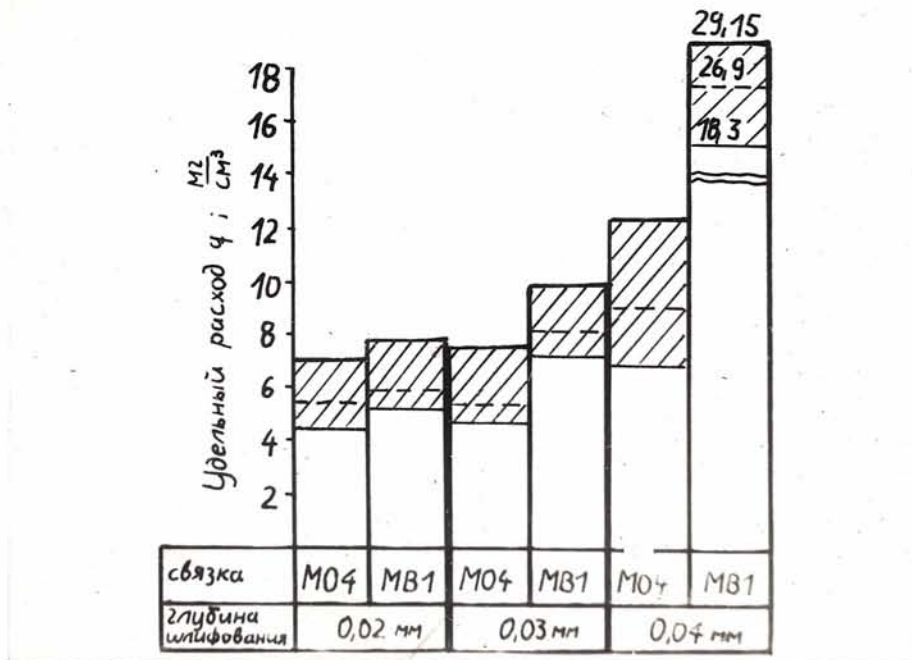


рис. 1.12.

Круги АЧК на связках ИТ, ИТ5, ИТ, ИС1, ИС6 даже при минимальной производительности шлифования (300 м³/мин) обладают высокой работоспособностью и быстро засаливаются. Наиболее высокой работоспособностью на всех исследуемых режимах обладают круги АЧК на связках ИО13 и И1, у которых удельный расход абразивов в зависимости от заданной производительности не превышает 2-5 мг/см³. Связки ИО13 и ИВ1 (основа связки медь-алюминий-цинк) работают в режиме самовозбуждения.

Для обработки твердых сплавов в условиях плоского шлифования шероховатей круга рекомендуют применять алмазные круги на связках ИА и ИВ1 (основа медь-алюминий/цинк). Круги на связках ИТ, ИТ5, ИС2, ИС5 (основа медь-олово) склонны к засаливанию и применять их нецелесообразно. (рис. 1.12.)

1.6.3 Обрабатываемость стали

Сталь обрабатывается всеми методами, которые известны для обработки материалов. Но закаленная сталь обрабатывается только шлифовальным или алмазным точением. Для шлифования стали широко применяют круги из корунда, электрокорунда, бора, кремния и др. абразивных материалов. Твердость абразивного материала достаточно высокая по сравнению со сталью. Ненос этих кругов в сравнении с алмазными, довольно высокий, но т.к. стоимость абразивного круга низкая, это не влияет на стоимость обработки. Но когда речь идет о размерной точности обработки, алмазное шлифование имеет большое преимущество.

Уменьшение стоимости алмазных кругов позволило расширить применение алмазных кругов при шлифовании закаленных сталей. Затраты на обработку уменьшаются, в основном, за счет увеличения производительности.

Результаты исследования Бабенко О.А. /3/ при шлифовании быстрорежущей стали Р9 кругом АСНМ160/125 ИО4-100% показывают, что при не-

связных кругов для алмазов был очень эффективным. Производительность повышается в 2 раза и затраты на обработку уменьшаются.

Несколько экспериментальных фактов производимости от расчетных показывают высокую размерную однородность обработки. (таб. 1.8.)

Относительная производительность

$$K = \frac{Q_{ф}}{Q_{р}}$$

$Q_{ф}$ - фактическая производительность

$Q_{р}$ - расчетная производительность

таб. 1.8

Диаметр штанга мм	Круг из электрокорунда			Алмазный круг		
	Стоимость круга до правки, руб.	Средн. производи- тельность см ³ /мин	K	Удельный расход алмазов, г/см ³	Средн. производи- тельность см ³ /мин	K
0,05	20	0,06	0,46	2,7	0,13	0,28
0,1	8	0,12	0,46	3,6	0,27	0,28
0,2	4	0,20	0,43	5,2	0,50	0,27
0,3	3	0,29	0,42	7,9	0,80	0,26
0,4	-	-	-	11,0	1,00	0,26

$V_{пр} = 30$ м/сек, $V_{ввд} = 15$ м/мин, $S_{пр} = 1$ мм/мин, СОЖ - 2% раствор NaNO₂

А.А. Сагарда [27] провел сравнительные исследования обработки стальных стержней из алмазов и кубонита на органических и неорганических связках. Результаты испытаний кругов из алмазов и кубонита при высоком алмазовом износе стали и чугуна чашечным кругом представлены в табл. 1.9. Данные из таблицы из кубонита при шлифовании всех на ок стали с различной площадью контакта круга с изделием (производительность обработки погонная) имеют весьма близкие показатели удельного расхода, но алмазные круговые из

Таблица 1.9

Результаты испытания кругов при шлифовании торцом круга закаленных сталей

Характеристика круга	Обрабатываемый металл	Размеры сегмента, мм	Режимы шлифования			Удельный расход абразива		Мощность шлифования, Вт
			пр м/мин	поп мм/дв.ход	производительность мм ³ /мин	мг/г	л ² /см ³	
ИИ25/100-И04			I	0,05	130	4,0	31,3	1000
ИИ25/100-И04			5	0,07	950	8,0	62,6	1400
ИИ25/100-К19	PI8	6x50	I	0,05	130	0,4	3,1	200
ИИ25/100-К19			I	0,07	190	0,5	3,9	500
ИИ25/100-И04			I	0,05	130	0,3	2,3	400
ИИ25/100-И04			I	0,05	110	1,1	8,6	600
ИИ25/100-И04			5	0,07	780	2,3	18,0	900
ИИ25/100-Б1	ИИ15	5x50	I	0,05	110	0,4	3,1	200
ИИ25/100-Б8			I	0,05	110	1,2	9,4	100
ИИ25/100-И04			I	0,05	110	0,2	1,5	200
ИИ25/100-И04			I	0,02	-	-	-	-
ИИ25/100-Б1	Сталь 40X	15x50	I	0,02	130	0,4	3,1	600
ИИ25/100-И04			I	0,02	130	0,4	3,1	600
ИИ25/100-Б8			I	0,02	130	1,8	4,0	300
ИИ25/100-И04			I	0,02	130	0,2	1,5	250
ИИ25/100-И04	СЧ18-36	15x50	I	0,02	130	0,3	2,3	250
ИИ25/100-Б1			I	0,02	130	0,3	2,3	200

синтетических алмазов существенно возрастает с увеличением площади контакта круга с деталью, повышением жесткости и снижением теплопроводности обрабатываемого металла. Так, при шлифовании стали Р18 расход алмазных кругов в 2-4 раза выше, чем при обработке стали ШХ15.

Износ кругов на кулоните с неметаллическим покрытием при обработке с охлаждением интенсивнее, чем износ кругов со металлизированного кулонита.

При обработке стали 40Х алмазным кругом из сплава К04 изнашивается и поэтому детали обработки отсутствуют.

Начало

2. ИССЛЕДОВАНИЕ АЛМАЗНО-КОРРЕКТОР И СОСТАВЛЯ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

2.1. Обоснование темы. Цель и задачи исследования

Механическая обработка труднообрабатываемых материалов связана с большими трудностями и поэтому внедрение новых материалов с улучшенными качествами затрудняется. Новые материалы трудно обрабатывать методами обработки, потому, что общепринятые методы обработки не обеспечивают высокую производительность, а иногда вообще не возможно их применить. Большое время обработки деталей из твердых сплавов или твердого сплава чистого составляет 10-15 мин, из-за значительного прироста и низкой производительности. Пользоваться такой программой можно только двумя путями:

1 - интенсификацией обработки, 2 - Экстенсификацией производства.

Экстенсификация связана с большими капитальными затратами на новое оборудование, создание новых мест и т.д. В то же время применение новых высокопроизводительных методов может позволить повысить

труд в 2-10 раз. Капитальные затраты значительно ниже в сравнении с экстенсификацией производства.

Магнитные сплавы, твердые сплавы и закаленные стали обрабатываются в промышленности в основном абразивным шлифованием.

Производство синтетических алмазов позволило применять алмазные круги, что повышает производительность труда. При обработке твердых сплавов и магнитотвердых материалов.

Применение алмазных кругов не требует дополнительных капитальных затрат. Но алмазное шлифование имеет ряд недостатков:

- 1. Высокая трудоемкость из-за необходимости снятия всего припуска только шлифовальными и низкая производительность обработки.
- 2. Высокий расход шлифовальных кругов, включая алмазные круги на органической связке, где удержание алмазных зерен происходит только за счет механического заклинивания. Применение кругов на металлических связках затрудняется, так как эти круги не имеют свойства самозатачиваемости.
- 3. Большой процент брака из-за сколов, выкрашивания кромок, придогов и других поверхностных дефектов.

В настоящее время определилась тенденция применения методов обработки с введением в зону резания электрического тока.

Эти методы дают возможность применять алмазные круги на металлических связках. Электрохимическое шлифование значительно уменьшает удельный расход алмазов, но повышение производительности обработки, по сравнению с алмазным шлифованием, незначительно. Применение электролитов требует создания специального оборудования.

На кафедре резания материалов ХПИ им. В.И. Ленина разработан высокоэффективный метод интенсификации процесса шлифования за счет введения в зону резания высокочастотного импульсного тока. Исследова-

... проведенные на кафедре, показали, что введение в зону резания импульсного тока позволяет значительно интенсифицировать процесс работы в результате электродвижущего предвзрывания поверхностного круга, за счет удаления продуктов засаливания.

Данная работа состоит из двух частей.

В первой части сравнивались различные способы интенсификации процесса алмазно-абразивной обработки за счет введения в зону резания электрического тока - импульсного и выпрямленного.

Процессы оценивались при шлифовании закаленной стали ШХ15, твердого сплава BK15 и магнитотвердого материала ЮИДК24Т2.

Целью данной части работы является выбор наиболее производительного способа шлифования для каждого материала.

Во второй части исследовалось алмазно-искровое шлифование кругов на различных срезках при шлифовании тех же материалов.

Целью данной части работы является определение оптимальной срезки для каждого из исследуемых материалов и определение электрических режимов обработки при необходимости получения максимального съема.

Работа кругов оценивалась по производительности шлифования, удельному расходу алмаза и шероховатости обработанной поверхности.

В качестве критерия оценки работы кругов принята удельная себестоимость обработки.

не надо

2.2. Методика проведения исследования

2.2.1. Оборудование для проведения исследования

Эксперименты проводились на модернизированном внутримлифовальном станке мод. 3А227 (рис. 2.1 и 2.2). Модернизация станка заключалась в изолировании детали и шлифовального круга от корпуса с обеспечением токопровода от источника технологического тока.

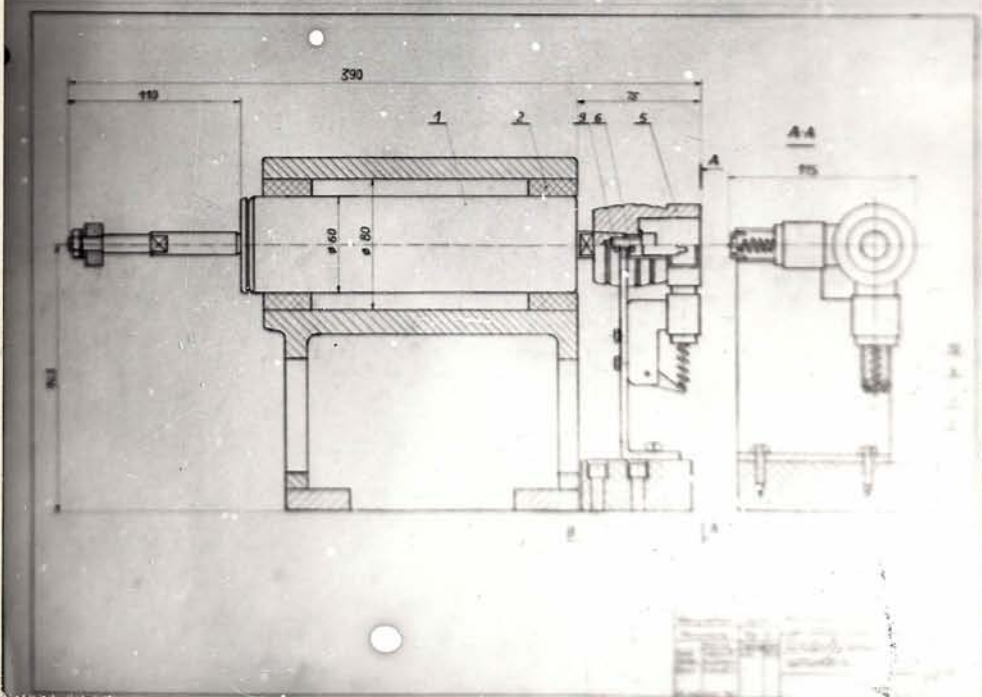
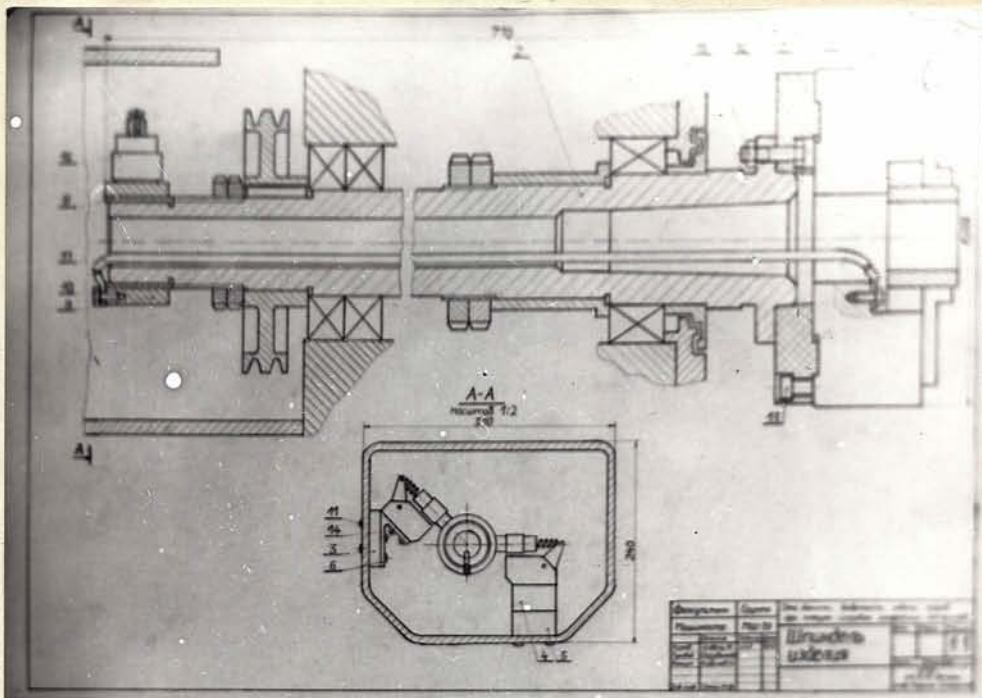


Рис.2.1

Me wudo

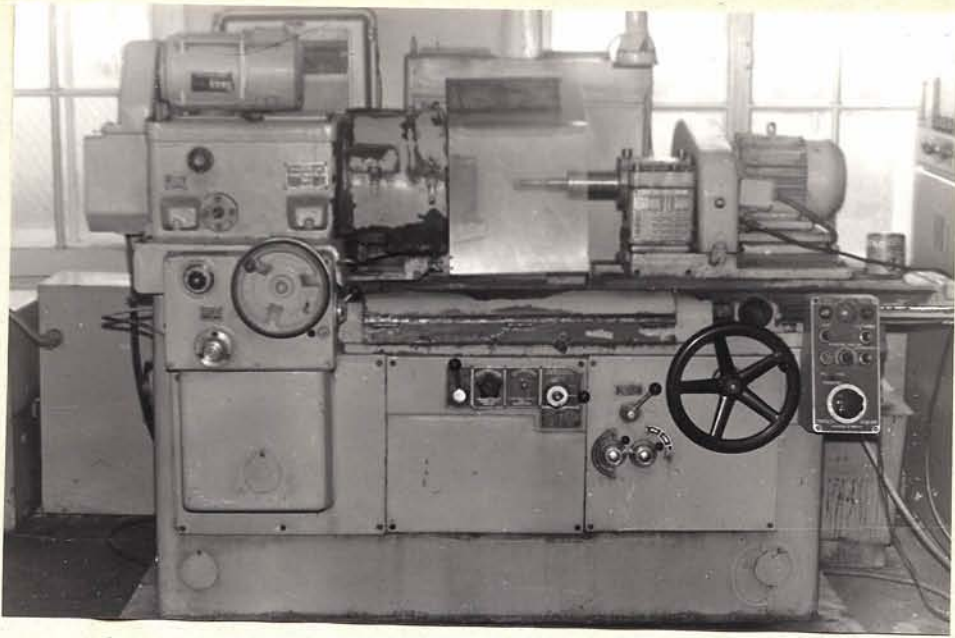


Рис. 2.2 1



Рис. 2.3 2

Шлифовальный шпиндель изолируется от корпуса посредством двух текстолитовых втулок. Деталь с патроном изолируется от шпинделя станины путем замены чугунной планшайбы текстолитовой. Подвод тока осуществляется к кругу и изделию производится при помощи щетки, токопроводящей шины 2, токосъемного кольца и специального штифта 1. Токосъемное кольцо изолируется от шпинделя текстолитовой втулкой.

Основные данные станка 3А227

Диаметр шлифуемого отверстия	- 20-100 мм
Наибольшая длина шлифования	- 125 мм
Наибольшее перемещение бабки и изделия (поперечное) от руки, механическое	- 150 мм 0,9 мм
Диаметр шлифовального круга	- 20-80 мм
Наибольшая ширина шлифовального круга	- 50 мм
Число оборотов изделия	- 180-1200 об/мин
Скорость стола	- 0,4-5 м/мин
Поперечная подача изделия	- 0,05-1,2 мм/мин
Скорость круга	- 1200 об/мин.

не надо

Источники технологического тока:

В качестве источников технологического тока использовали высокочастотный генератор ВГ-3В (рис. 2.3) и выпрямитель электрического тока ВАКГ 630/12 (рис. 2.4).

Характеристика генератора ВГ-3В

Частота униполярных импульсов	- 8 кГц и 22 кГц
Анодный ток	- до 2 а
Импульсный ток	- до 25 а
Число нагрузок	- 2
Связанность	- 1,5-2

не надо

Напряжение питающей сети	- 380 в
Частота питающего тока	- 50 Гц
Номинальное напряжение	- 40±30 в

Система выпрямителя ВАКТ 630/12

Напряжение питающей сети	- 380 в
Частота питающего тока	- 50 Гц
Минимальное выпрямленное напряжение	- 6 и 2 в
Номинальное " "	" 12 и 6 в
Минимальный выпрямленный ток	- 5 а
Номинальный " "	- 630 а

*не
надо*

Установочные круги (рис. 2.5 и рис. 2.6)

1. АПП25x10x3 АСВ125/100 М1-100%
2. " АСР125/100 Б1-100%
3. ПП25x20 ЭБ40 СМ1 К
4. АПП40x10x3 АСК400/315 М1-100%
5. " " М03-100%
6. " " М3-100%
7. " " М12-100%
8. " АСВ250/200 М1-100%

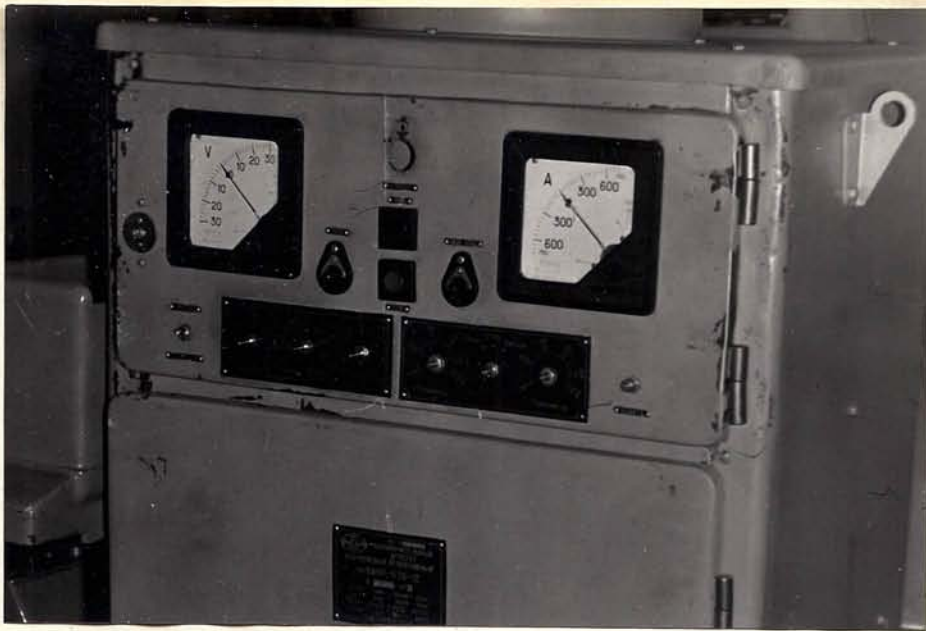
Обрабатываемые материалы

Обрабатывались детали из стали ШХ15, твердого сплава ВК15 и магнетного сплава ОНДК35Т5 и ОНДК24Т3 (рис. 2.7 и 2.8).

2.2. Контрольно-измерительные приборы

Микрометр 0-25 и 25-50 с ценой деления 0,01 мм - для измерения диаметрического износа круга (рис. 2.9).

Штрихмас-индикатор с ценой деления 0,01 мм - для определения объема металла (рис. 2.9).



3
Рис. 2.4



4
Рис. 2.5



5
Рис. 2.6

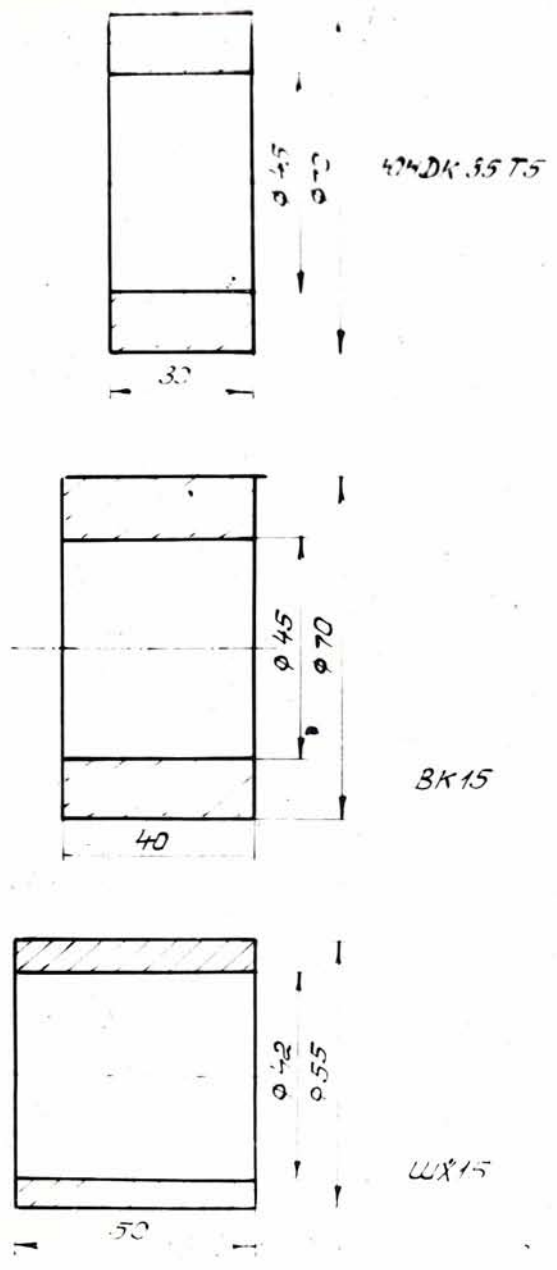


Рис.2.7

the photo



Рис.2.8

Инструментальный микроскоп - для изучения состояния рабочей поверхности круга (рис.2.11)

Верхний фотоаппарат "Зенит"

Кругломер - для определения формы поверхности круга (рис.2.12).

Профилограф-профилометр БЭИ Калибр - для измерения шероховатости обработанной поверхности (рис.2.10).

Условия проведения опытов

Постоянные параметры:

скорость шлифовального круга $V_{кр} = 20$ м/сек,

скорость вращения детали $V_{дет} = 50$ м/мин

продольная подача $S_{прод} = 3$ м/мин

СМ - 3,5-ный содовый раствор

частота импульсов генератора ВГ-3В $f = 22$ итц.

Варируемые параметры:

поперечная подача $S_{поп} = 0,05; 0,075; 0,1; 0,15$ мм/мин

импульсный ток генератора ВГ-3В $I_{и} = 0+45$ а

напряжение генератора ВАКТ $U = 0+16$ в.

2.3. Определение производительности обработки и удельного расхода алмаза

При проведении опытов проводился линейный замер износа круга и металла.

Объем снимаемого слоя определяется по формуле

$$V = \frac{\pi}{4} l (D^2 - d^2)$$

D и d - диаметр образца до и после обработки в мм,

l - длина образца в мм.

то записать

$$V = \frac{\pi}{4} l (D-d)(D+d)$$

(мм³)

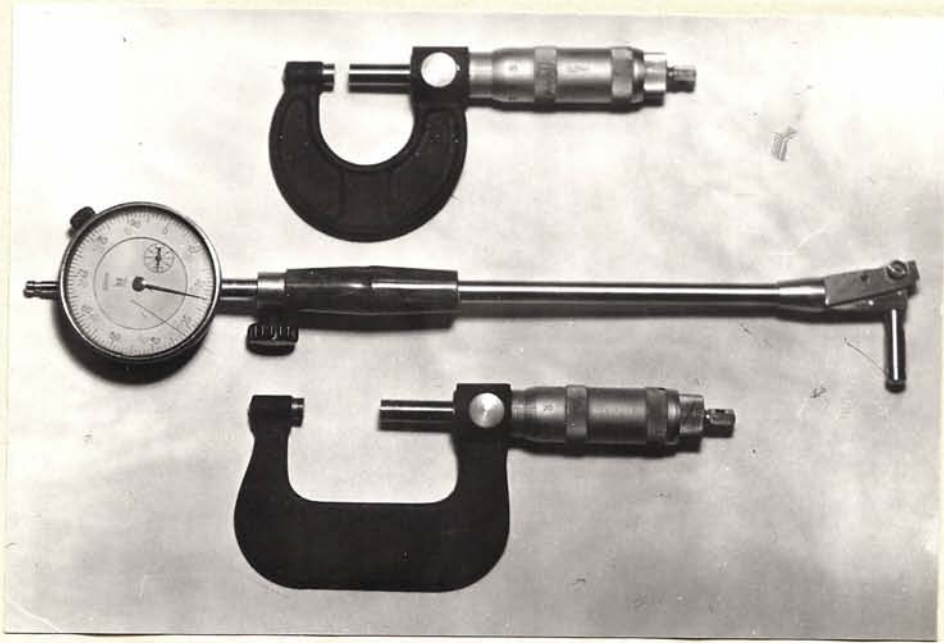


Рис.2.96



Рис.2.107



Pnc.2.11



Pnc.2.12

me mudo

$$-d = \Delta d ; D + d \sim 2d ; V = \frac{\pi}{2} l \Delta d d \text{ (мм}^3\text{)}$$

Производительность обработки определяется по формуле

$$Q = \frac{V}{\tau} \text{ (мм}^3\text{/мин)}$$

τ - время опыта в минутах.

Удельный расход алмазов

$$q = \frac{\frac{\pi}{4} B (D_k^2 - d_k^2) \cdot \beta}{Q_y} \text{ мг/г}$$

D_k и d_k - диаметр круга до и после обработки в мм,

B - ширина алмазного круга в мм,

β - коэффициент, учитывающий количество алмазов, находящихся в 1 мм³ рабочей поверхности круга (при 100% концентрации 0,878 мг/мм³),

Q_y - вес обрабатываемого материала в г.

$$Q_y = V \gamma_m \cdot 10^{-3}$$

γ_m - удельный вес обрабатываемого материала в г/см³.

ЮНК35Т5 = 7,3 г/см³

ВК15 = 13,8 г/см³

ВХ15 = 7,85 г/см³

линейн

$$q = \frac{\pi B (D_k - d_k) (D_k + d_k) \cdot \beta}{4 Q_y} \text{ мг/г}$$

$D_k - d_k = \Delta_{\text{ср}}$ - линейный износ круга в мм.

$D_k + d_k \sim 2d_k$ - так как диаметр изменения мал

$$q = \frac{\pi B \Delta_{\text{ср}} d_k \cdot \beta}{2 Q_y} \text{ мг/г}$$

2.3. Выбор наиболее производительного способа обработки

2.3.1. Сравнение различных способов интенсификации процесса алмазно-абразивной обработки

В области финишных методов обработки, где основное место занимает шлифование, наиболее широкое распространение получили комбинированные методы, основанные на введении в зону резания электрического тока. Применение комбинированных методов, как правило, значительно повышает производительность и точность обработки, увеличивает стойкость инструмента и обеспечивает высокое качество обработки по сравнению с отдельными составляющими способами.

Исследовались следующие способы интенсификации процесса алмазно-абразивной обработки:

Введение в зону резания выпрямленного тока прямой полярности ("+" деталь, "-" круг).

Введение выпрямленного тока обратной полярности ("+" круг, "-" деталь).

Введение высокочастотного импульсного тока.

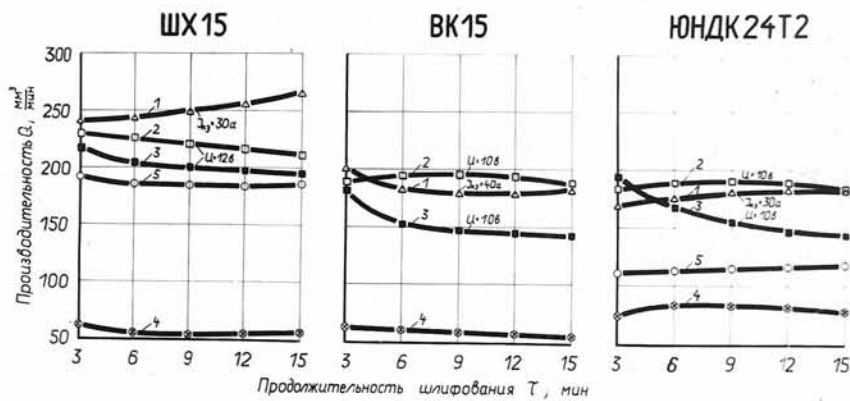
Исследовались все три способа интенсификации процесса алмазного шлифования при обработке стали ШХ15, твердого сплава ВК15 и магнетитового материала ШДК24Т2.

Для выявления преимуществ интенсифицированных способов обработки были проведены опыты при обычном шлифовании абразивными и алмазными кругами (рис. 2.13).

Все эксперименты проводились при одинаковых механических режи-

Самый низкий съем оказался у абразивных кругов и алмазных кругов на органической связке при шлифовании всех исследуемых материалов.

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ИНТЕНСИФИКАЦИЙ ПРОЦЕССА АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

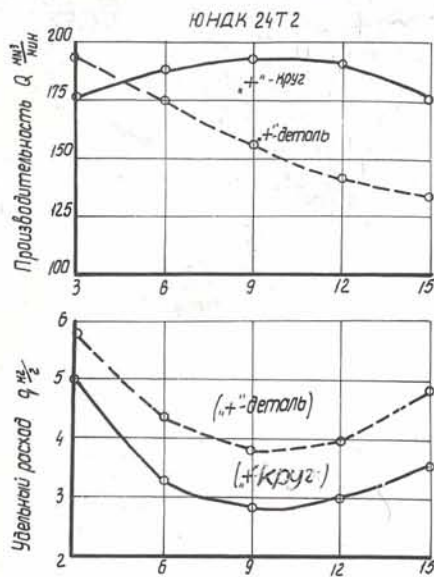


Условия обработки:
 круг АПП 25×10×3, $V_{кр} = 20 \text{ м/сек}$, $V_{дет} = 50 \text{ м/мин}$,
 $S_{прод} = 3 \text{ мм/мин}$, $S_{поп} = 0,05 \text{ мм/мин}$
 СОЖ-3% содовый раствор

Условные обозначения:
 1 - алмазно-искровое с импульсным током $f = 22 \text{ кГц}$
 2 - шлифованье с выпрямленным током (+ круг)
 3 - АСВ 125/100 М1-100 (+ деталь)
 4 - алмазное (АСР 125/100 Б1-100)
 5 - абразивное (ЭБ 40 СМ1)

Способ	Q, мм³/мин	q, мм²/мин
1	250	5,5
2	220	4,5
3	200	3,5
4	180	3,0
5	150	2,5

Рис. 2.13 8



ЮНДК 24Т2
 Условия обработки круг АПП 25×10×3-АСВ 125/100-М1-100.
 $V_{кр} = 20 \text{ м/сек}$ $V_{дет} = 50 \text{ м/мин}$ $S_{прод} = 3 \text{ мм/мин}$
 $S_{поп} = 0,05 \text{ мм/мин}$; $U = 10 \text{ в}$; сожс - 3%
 содовый раствор.

Матер. дуралюминий (или бронза в крайнем случае)
 $D = 50-60 \text{ мм}$ (диаметр)
 $L = 100-120 \text{ мм}$ (длина)

← не надо

Рис. 2.14

Введение в зону резания электрического тока убедительно показывает преимущество интенсифицированных способов обработки. Однако при шлифовании стали ШХ15 более производительным оказался процесс алмазно-искрового шлифования с импульсным током. При шлифовании валов ВК15 и ЮДК24Т2, при данных механических режимах обработки, шлифование с выпрямленным током обратной полярности ("+" - круг) и высокочастотным импульсным током занимает конкурирующее положение.

Шлифование с использованием тока прямой полярности ("+" - деталь) в обработке всех исследуемых материалов оказалось менее приемлемым.

График (рис. 2.14) характеризует процесс шлифования сплава В35Т5 с выпрямленным током при прямой и обратной полярности.

Для обеспечения одинакового состояния рабочей поверхности инструмента, перед проведением опытов, алмазный круг подвергался правке в ту же сторону полярности тока.

Шлифование с прямой полярностью тока сопровождается потерей алмазным кругом режущей способности вследствие затупления зерен и налипания рабочей поверхности.

При алмазно-искровом шлифовании с обратной полярностью тока резонный контакт связки круга с обрабатываемой поверхностью отсутствует из-за выгорания отходов шлифования, налипающих на связку и алмазные зерна. Съем металла стабилизируется в результате поддержания электрическим током зазора между вершинами алмазных зерен и поверхностью детали.

Кроме того, при шлифовании с прямой полярностью тока имеет место повышенный расход алмазов.

Таким образом, выявлено преимущество шлифования с обратной полярностью тока. Наряду с высоким и стабильным съемом металла, процесс сопровождается более низким удельным расходом алмазов.

рис. 2.14

Дальнейшие исследования проводили при более высоких значениях частотной подачи.

На рис. 2.15⁹ показан график, характеризующий процесс шлифования шва ДНДК24Т2 при различных способах обработки.

Обычное шлифование кругами на металлической связке, даже после электроэрозионной правки, характеризуется быстрой потерей режущих свойств круга из-за интенсивного засаливания рабочей поверхности. Уже 6-8 минут работы резание практически прекращается.

Интенсивное засаливание является результатом адгезионного сцепления при контакте алмазных зерен и связки круга с обрабатываемым материалом.

Алмазные круги на органической связке оказались также непригодны из-за очень низкой производительности и, практически, разрушения кругов.

Шлифование абразивными кругами приводит к высокому износу кругов при низкой производительности.

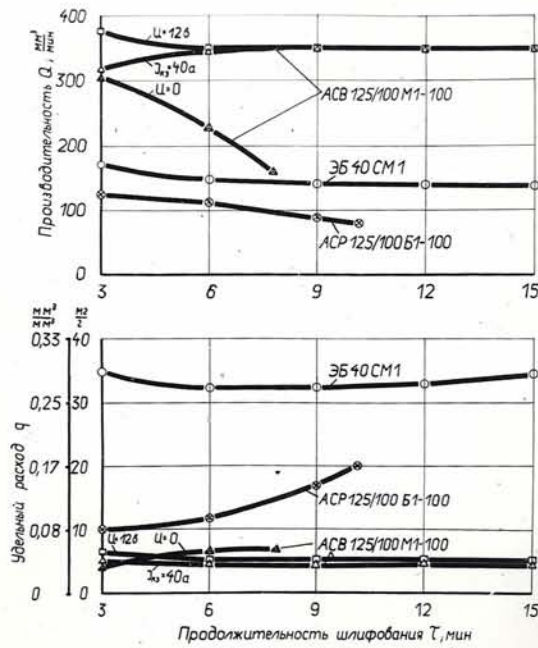
При $S_{\text{поз}} = 0,1$ мм/мин, где шлифование алмазными кругами практически невозможно, наиболее очевидна эффективность применения электрического тока.

Введение в зону резания высокочастотного импульсного тока или постоянного тока обратной полярности позволило значительно интенсифицировать процесс шлифования алмазными кругами на металлической связке.

Производительность алмазно-искрового шлифования магнитотвердого шва ДНДК25Т2 в 2,5-3 раза выше абразивного при значительном (в 8-10 раз) уменьшении износа шлифовальных кругов.

При оценке любого технологического процесса механической обработки ставится цель получения максимальной производительности с обеспечением необходимого качества обработанной поверхности.

ХАРАКТЕР ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ОБРАБОТКИ

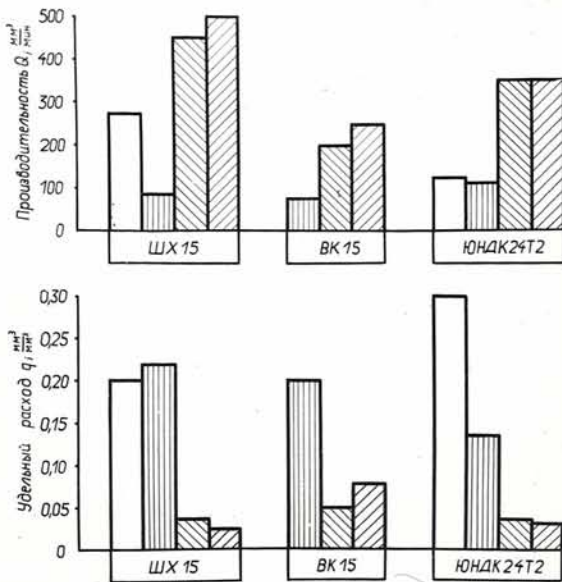


Условия обработки:
 круг АП 25×10×3, обрабатываемый материал: ЮНДК 24Т2,
 $V_{ср} = 20 \text{ м/сек}$; $V_{ш} = 50 \text{ м/мин}$; $S_{прод} = 3 \text{ м/мин}$; $S_{поп} = 0,1 \text{ мм}$
 СОЖ - 3% содовый раствор

Область:	Центр:	Исполнитель:
Дата:	Лист:	Всего листов:
Проверено:	Инженер:	Конструктор:

9
Рис. 2.15

ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ



Условия обработки: круг АП 25×10×3, $V_{ср} = 20 \text{ м/сек}$, $V_{ш} = 50 \text{ м/мин}$,
 $S_{прод} = 3 \text{ м/мин}$, СОЖ - 3% содовый раствор

Условные обозначения:

- алмазно-искровое с импульсным током $f=22 \text{ кГц}$
- АСВ 125/100 М1-100 с выпрямленным током
- алмазное шлифование (АСР 125/100 Б1-100)
- абразивное шлифование (3Б 40 СМ 1)

Область:	Центр:	Исполнитель:
Дата:	Лист:	Всего листов:
Проверено:	Инженер:	Конструктор:

10
Рис. 2.16

70
На рис. 2.16 показана сравнительная диаграмма обрабатываемости
ШХ15, твердого сплава BK15 и магнитнотвердого сплава 6НДК25Т2
различными способами при достижении максимальной производительности
при затратах I25/100.

Процессы оценивались по производительности обработки и износо-
устойчивости кругов.

Наиболее высокий съем всех исследуемых материалов при самом
высоком износе инструмента получен при алмазно-искровом шлифовании
с значительным предпочтением высокочастотному импульсному току.

Алмазно-искровая обработка обеспечивает, в сравнении с абразив-
ной обработкой, повышение съема металла в 2-3 раза только за счет
увеличения глубины резания в 1,5-2 раза.

Диспропорция в значениях глубины шлифования и съема металла
объясняется высокой стойкостью алмазных кругов на металлических связ-
ках в сравнении с абразивными кругами на керамических связках.

Съем металла при алмазно-искровом шлифовании noticeably ста-
вится во времени, резание происходит очень спокойно. Придогов, трещин,
сколов кромок и вырывов с поверхности при алмазно-искровом шлифова-
нии не наблюдалось.

Данные рентгвоструктурного анализа показали, что с введением
импульсного резания электрического тока процесс шлифования протекает с
меньшей напряженностью.

При алмазно-искровом шлифовании в поверхностном слое детали
возникают сжимающие напряжения. Это свидетельствует о том, что меха-
ническое резание происходит без значительных пластических деформаций
и малой теплонапряженностью процесса.

При абразивном шлифовании возникают растягивающие напряжения и,
вследствие теплонапряженности процесса, сколы, прижоги и трещины.

2.3.2. Выбор электрических режимов алмазно-искрового шлифования

Основными электрическими параметрами алмазно-искрового шлифования являются:

1. В высокочастотном импульсном токе — частота, длительность импульса и величина тока;

2. В постоянном токе — плотность тока и напряжение.

На рис. 2.17¹¹ показано влияние электрических режимов алмазно-искрового шлифования магнитного сплава ЮНДК 24Т2 при работе от высоко-

частотного генератора импульсных токов ВГ-3В и выпрямителя ВД630/12.

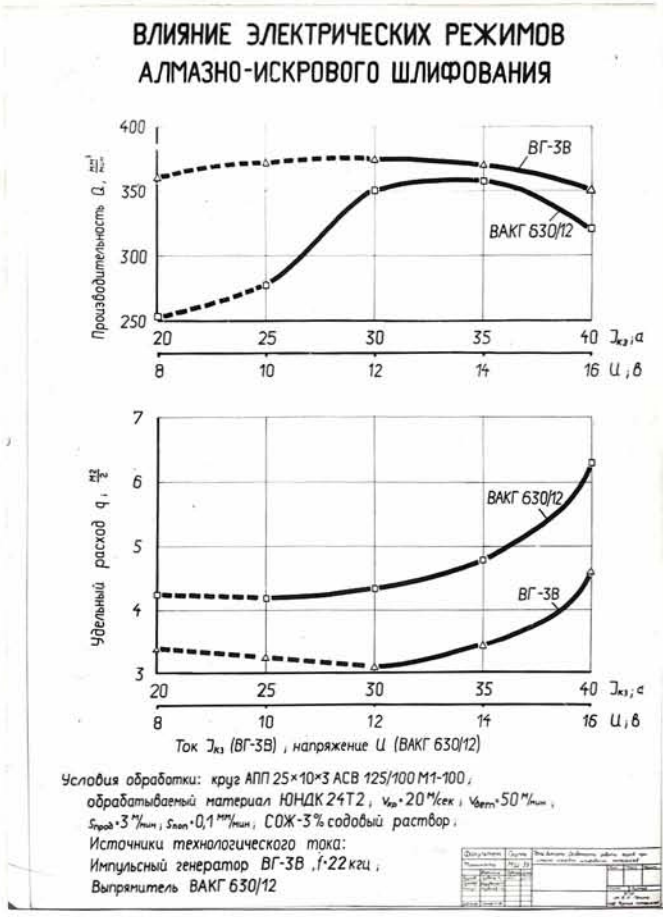


Рис. 2.17¹¹

При работе от генератора ВГ-3В варьировали величиной тока короткого замыкания, а при работе от выпрямителя — рабочим напря-

и $U_{\text{раб}} = 3$.

Данные, определяющие процесс резания, выбирали исходя из рабочей скорости круга в течение 15 минут без необходимости правки круга.

На графике четких-дунктерными линиями показано условие данные вытекающие процессе обработки, так как при этих режимах через 2 минут резание практически прекращается.

При работе от выпрямителя резание возможно только при напряжении 10 В, но и в этом случае наблюдается потеря режущих свойств алмазного круга с течением времени. Сила тока падает, энергии электрических зарядов недостает очно для удаления стружки, накапливающейся на рабочей поверхности круга.

Увеличение рабочего напряжения до 12-14 В позволяет значительно увеличить производительность шлифования. Величины электрической энергии достаточно для поддержания необходимого зазора между вершинами алмазных зерен и поверхностью связки круга. Резание металла происходит спокойно, с невысоким удельным расходом алмаза и не вызывает необходимости периодической правки круга.

Дальнейшее повышение напряжения вызывает значительное электроэрозионное разрушение круга, что, одновременно, снижает производительность обработки.

Аналогичный характер влияния электрических режимов проявляется при работе от высокочастотного генератора ВГ-3В.

Высокий уровень съема металла возможен только при $J_{\text{к.з.}} = 30-35 \text{ а}$. Высокие значения энергии электрических импульсов также влечет за собой значительное разрушение связки алмазного круга, что приводит к снижению производительности шлифования.

График позволяет выбрать электрические режимы алмазно-искрово-

шлифования магнитного сплава ВМД124Т2 при $S_{\text{поп}} = 0,1$ мм/мин при
использовании кругов КСВ125/100 И1-100%.

При работе с выпрямленным током рабочее напряжение должно быть
в пределах 12-14 в, при работе от генератора ВГ-3В ($f = 22$ кГц) ток
электрического замыкания должен соответствовать 30-35 а.

Выбор электрических режимов алмазно-искрового шлифования опре-
деляется характером истинной алмазного круга и механическими режимами
работы.

Оптимальность электрических режимов сводится к необходимости
поддержания равенства линейных скоростей разрушения связи круга и
масса алмазных зерен, что обеспечивает постоянный зазор между по-
верхностью связи круга и детали.

При работе с высокочастотным импульсным током диапазон опти-
мальной энергии электрического тока более узкий, из-за более сильного
деструктивного действия электрических разрядов высокочастотного тока.

1.3.3. Алмазно-искровое шлифование при использовании различных источников технологического тока

Сравнивался процесс алмазно-искрового шлифования от следующих ис-
точников технологического тока:

- ламповый генератор высокочастотных униполярных импульсов, $f = 22$ кГц,
- электромагнитный индукторный генератор ИГИ-15, $f = 3$ кГц,
- электромагнитный индукторный генератор ИГИ, $f = 0,4$ кГц,
- выпрямитель электрического тока БАКГ 630/12.

Процесс оценивался по производительности шлифования, удельному
расходу алмаза и шероховатости обработанной поверхности (рис. 2.18).

Наиболее высокий и стабильный съем металла получен при исполь-
зовании генератора ВГ-3В и выпрямителя БАКГ 630/12.

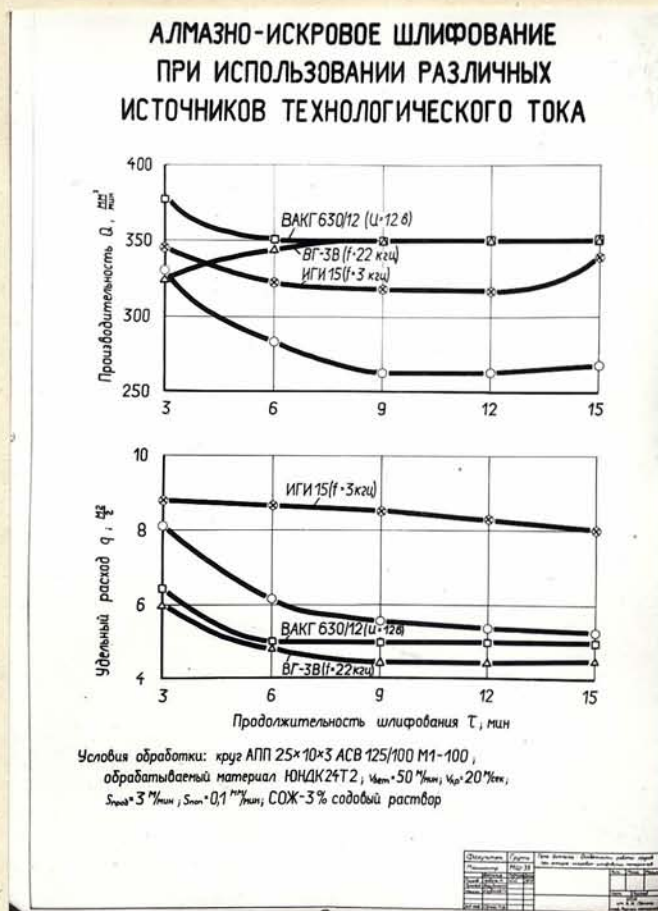


Рис. 2. В-12

Самая низкая производительность обработки оказалась при работе генератора ИГИ. Съем сплава от ИГИ-15 занимает промежуточное положение.

Шероховатость обработанной поверхности при работе от всех генераторов соответствовала $\nabla 7$. На шероховатость поверхности разница дипольных им. ульсах не сказывается. Шероховатость определяется характеристикой алмазного круга.

Самый высокий износ алмазных кругов наблюдался при использовании генератора ИГИ-15, очень низкий съем металла был при работе от генератора ИГИ, поэтому рекомендовать машинные генераторы для алмазного шлифования нельзя.

Самый низкий удельный расход алмаза оказался при работе от генератора ВГ-3В. При равнозначной производительности обработки с генерато-

ВГ-3В при работе от выпрямителя ВАКГ630/12 удельный расход алмаза несколько выше, но эта разница незначительная. Поэтому для алмазно-искрового шлифования можно рекомендовать генератор ВГ-3В и выпрямитель ВАКГ630/12.

2.3.4. Влияние различных факторов на шероховатость обработанной поверхности

При исследовании шероховатости обработанной поверхности определяли влияние зернистости алмазного круга, электрических и механических режимов обработки (рис. 2.19¹³).

Установлено, что введение в зону резания импульсного электрического тока практически не влияет на шероховатость обработки. Чистота обработанной поверхности определяется характеристикой алмазного инструмента и, в основном, зернистостью круга.

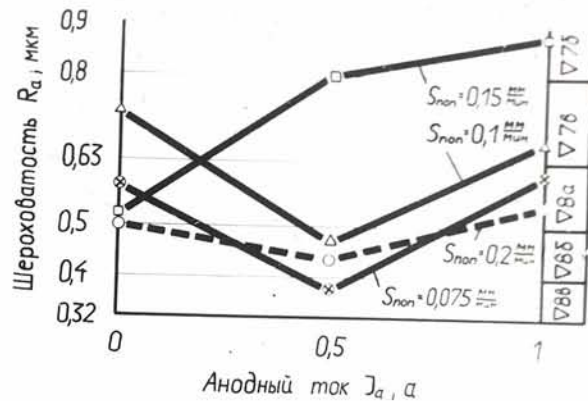
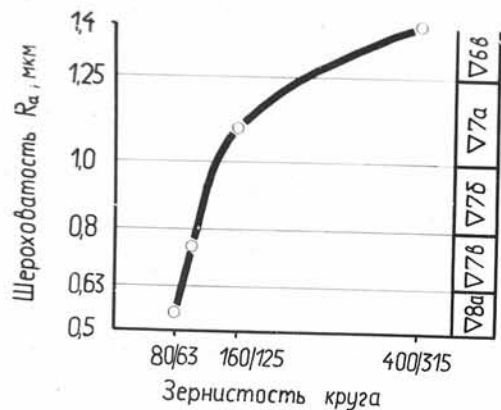
Для получения более низкой шероховатости необходимо провести 3-5 выжигивающих прохода. Шлифование врезанием ($S_{\text{прод}} = 0$) ухудшает шероховатость обработки в среднем на I-2 разряда.

2.4. Алмазно-искровое шлифование кругами на различных связках

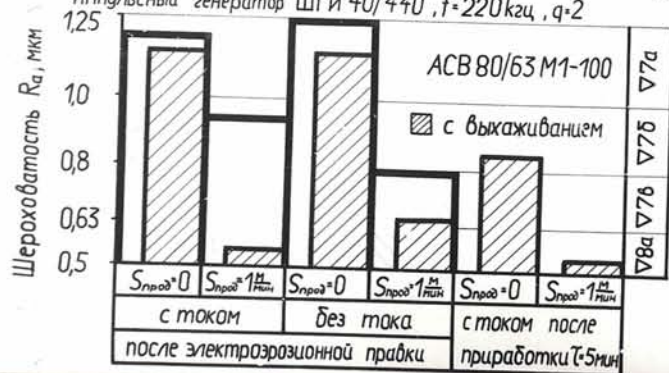
Новый процесс шлифования - алмазно-искровое шлифование предъявляет к связке круга особые требования. Как показано в обзорной части, закрепление алмазных зерен в связке должно быть максимально. Поэтому испытывали алмазные круги с разными составами связки на их работоспособность при алмазно-искровом шлифования стали ШХ15, твердого сплава ВК15 и магнитного сплава ЮНДК35Т5.

Выбрали алмазные круги на связках МЗ, МЖ, МОЗ и МП2. Круги на

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБОТКИ



Условия обработки: круг АПП 250×16×5 АСВ М1-100;
 обрабатываемый материал ЮНДК 24Т2; $v_{кр} = 30 \text{ м/сек}$; $v_{дет} = 20 \text{ м/мин}$;
 $S_{puls} = 0,1 \frac{1}{мин}$; $S_{прод} = 1 \frac{1}{мин}$; $\tau = 2 \text{ мин}$; СОЖ-3% содовый раствор;
 Импульсный генератор ШГИ 40/440, $f = 220 \text{ кГц}$, $q = 2$



Условия обработки:
 круг АПП 40×10×3 АСК 400/315 МЖ-100,
 обрабатываемый материал ШХ 15;
 $v_{кр} = 20 \text{ м/сек}$; $v_{дет} = 50 \text{ м/мин}$; $S_{прод} = 3 \frac{1}{мин}$; $\tau = 5 \text{ мин}$;
 СОЖ-3% содовый раствор;
 Импульсный генератор ВГ-3В, $f = 22 \text{ кГц}$

Дисциплина	Формы	Экспертная оценка качества знаний
Материаловедение	Экз-35	
Технология		
Металлургия		
Технология		

Рис. 2.19

связках МЗ, МЖ и МОЗ применяются для шлифования природных камней должны обладать высокой износостойкостью.

Несмотря на более низкие, по сравнению с МІ, значения твердости, прочностные свойства связки МЗ выше примерно на 20%. Отличительной особенностью этой связки являются ее самые высокие, среди всех различных связок, значения показателей пластичности.

Связки МЖ на железной основе значительно превосходит по прочности и твердости две предыдущие, но более хрупкая, чем МЗ. Самыми высокими прочностными показателями характеризуется связка МОЗ на кальцевой основе, причем по своей пластичности она приближается к связке МЗ.

Алмазный круг на пористой связке МП2 (основа - медь-олово с добавками 5-10% титана) изготавливается в вакууме.

В круге существует сильная адгезионная связь между алмазами связкой и алмазные зерна удерживаются в связке не только за счет механического заклинивания.

Использовались алмазные круги с высокопрочными алмазами типа А зернистостью 400/315 и концентрацией алмазов 100%. Крупнозернистые круги позволяют получить высокую производительность обработки.

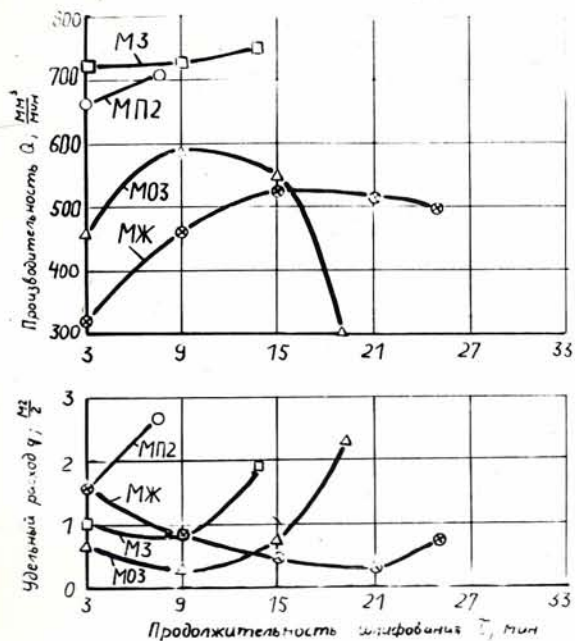
На рис. 2.20, 2.21, 2.22 представлены результаты обработки стали ШХ15, твердого сплава ВК15 и магнитного сплава ЮНДК35Т5 кругами на связках МЖ, МЗ, МОЗ и МП2 без введения в зону резания электрического тока.

При шлифовании без тока происходит быстрое засаливание рабочей поверхности круга и через 9-15 минут работы резание практически прекращается.

Удельный расход алмазов изменяется по времени шлифования в зависимости от износостойкости связки круга и изменения производительности

не надо

ХАРАКТЕР ПРОЦЕССА АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ
СТАЛИ ШХ5 КРУГАМИ НА РАЗЛИЧНЫХ
СВЯЗКАХ

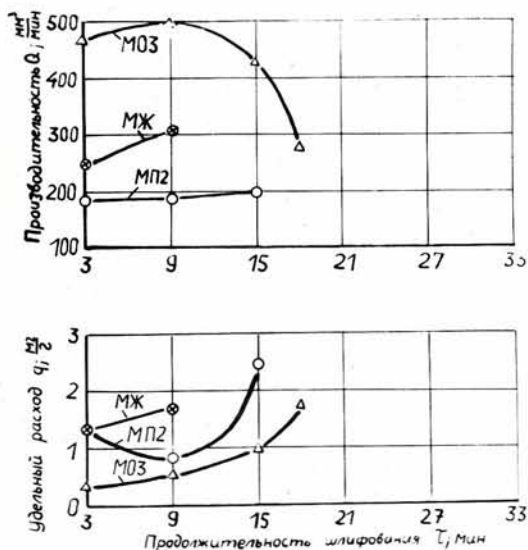


Условия обработки:

Круг АПП 40x10x3 АСК 400/315 100% после
электроэрозионной обработки; СВЖ-3% содовой пастой;
 $S_{пл} = 0,075 \frac{mm^3}{min}$; $v_{пл} = 3 \frac{m}{min}$; $v_{кр} = 20 \frac{m}{сек}$; $U_{дв} = 50 \frac{V}{cm}$

Рис. 2.20

ХАРАКТЕР ПРОЦЕССА АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ
ИВЕРЛИГО СПЛАВА ВК15 КРУГАМИ НА
РАЗЛИЧНЫХ СВЯЗКАХ



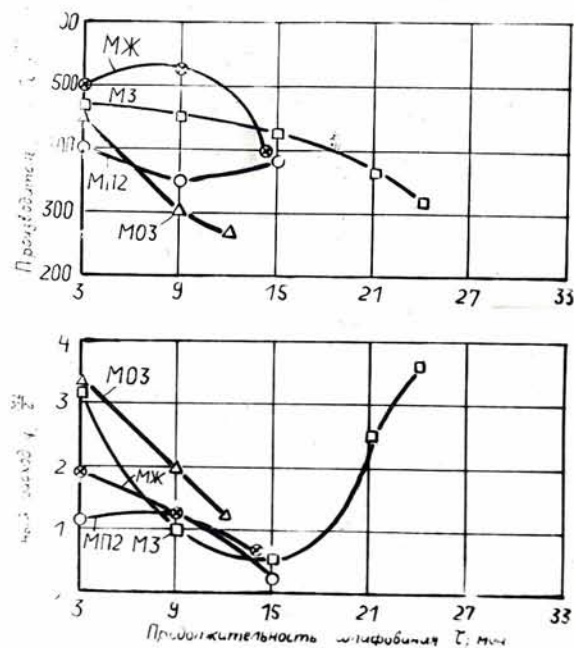
Условия обработки:

Круг АПП 40x10x3 АСК 400/315-100% после
электроэрозионной обработки; СВЖ-3% содовой пастой;
 $S_{пл} = 0,075 \frac{mm^3}{min}$; $v_{пл} = 3 \frac{m}{min}$; $v_{кр} = 20 \frac{m}{сек}$; $U_{дв} = 50 \frac{V}{cm}$

Рис. 2.21

не надо

ХАРАКТЕР ПРОЦЕССА АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ
МАГНИТНОГО СПЛАВА ЮНДК35Т5 КРУГАМИ
НА РАЗЛИЧНЫХ СВЯЗКАХ



Условия обработки:

Круг АПП 40x10x3 АСК 400/315 100% после
электроэрозионной обработки; СВЖ-3% содовой пастой;
 $S_{пл} = 0,075 \frac{mm^3}{min}$; $v_{пл} = 3 \frac{m}{min}$; $v_{кр} = 20 \frac{m}{сек}$; $U_{дв} = 50 \frac{V}{cm}$

Рис. 2.22

сти. Расход алмазов на связках МХ и МОЗ уменьшается со временем и удельный расход возрастает за счет сильного уменьшения производительности. Когда на поверхности круга зерна изнашиваются связка круга начинает касаться обрабатываемого материала и происходит засаливание круга.

При более мягких связках, как МЗ и МП2, увеличивается даже удельный расход алмазов, когда производительность незначительно уменьшается. Связка этих кругов разрушается и при касании с обрабатываемым материалом кругами на связке МЗ невозможно обрабатывать твердый сплав, так как круг в течение 2-3 мин засаливается даже при низких механических режимах.

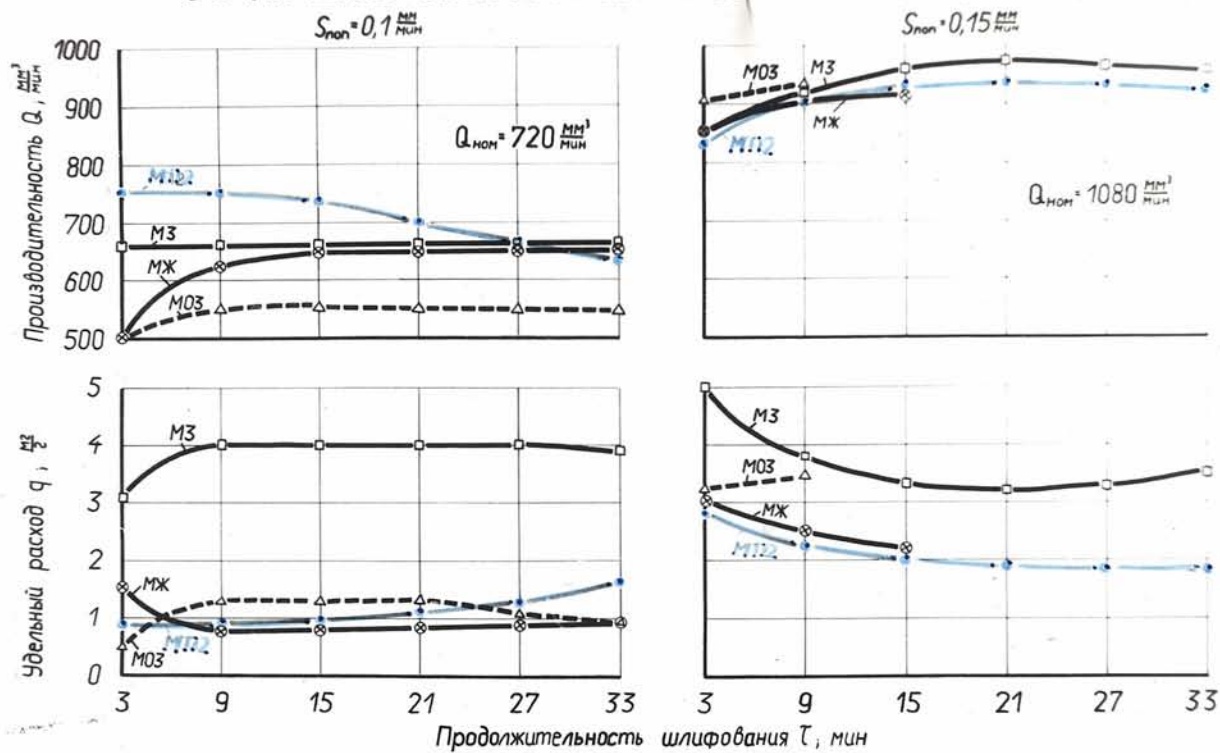
При работе без тока все эти круги показывают низкую работоспособность и практически их невозможно применять для обработки машиностроительных материалов.

Введение электрического тока в зону резания дает возможность лучше использовать режущие способности алмазного круга. В течение 10 минут работы получен стабильный сьем материала (рис. 2.23, 2.24, 2.25).

Алмазный круг на связке МП2 показывает самые хорошие результаты при обработке стали ШХ15 и магнитного сплава ЮНК35Т5. Производительность обработки магнитного сплава ЮНК35Т5 у всех кругов почти одинакова, но удельный расход различный. Адгезионная связь алмазных зерен на связке МП2 уменьшает количество зерен, которые вырываются во время обработки, и это способствует уменьшению удельного расхода алмазов.

При подаче $S_{\text{поп}} = 0,5$ мм/мин особенно видно преимущество связки МП2. При одинаковой производительности (рис. 2.26) удельный расход кругов на связке МП2 в 1,5-2 раза ниже, чем у кругов на других исследуемых связках.

ХАРАКТЕР ПРОЦЕССА АЛМАЗНО-ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ СТАЛИ ШХ15 КРУГАМИ НА РАЗЛИЧНЫХ СВЯЗКАХ



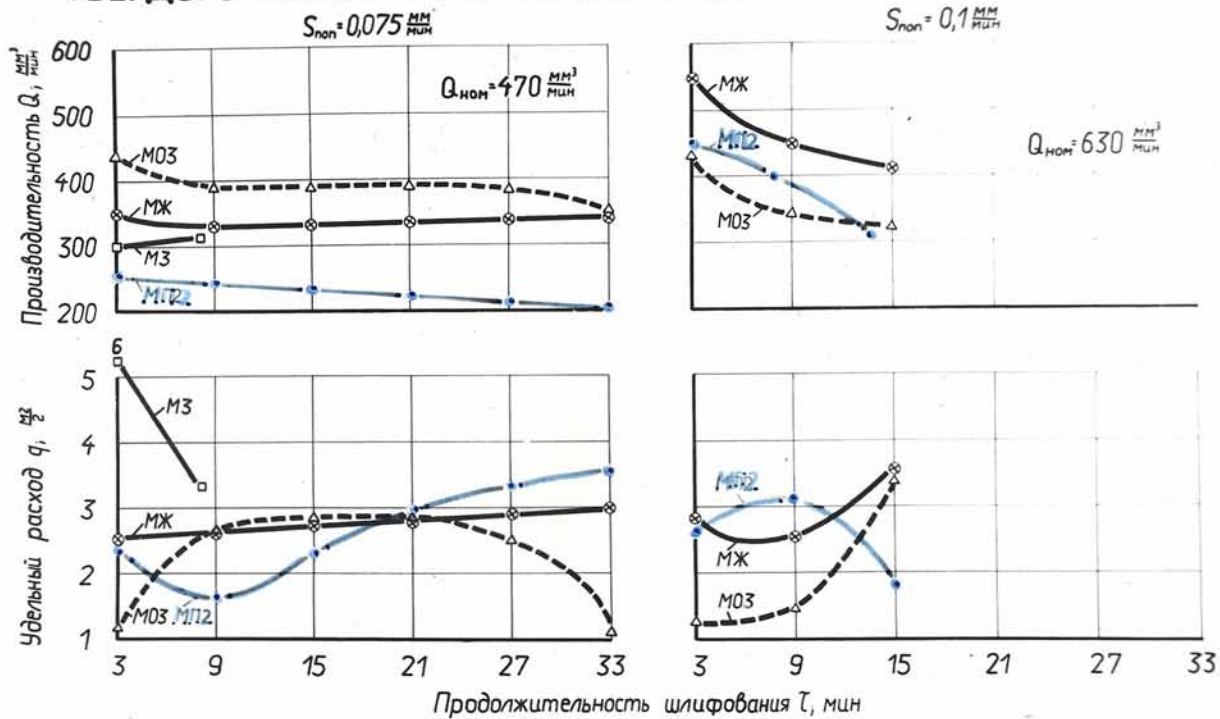
Условия обработки: круг АПП 40×10×3 АСК 400/315-100%; $V_{\text{кр}} = 20 \text{ м/сек}$; $V_{\text{вст}} = 50 \text{ м/мин}$;
 $S_{\text{прод}} = 3 \text{ м/мин}$, СОЖ-3% содовый раствор;
 Импульсный генератор ВГ-3В, $f = 22 \text{ кГц}$, $I_{\text{к}} = +0a$

Документ	Листы	Итого листов	Содержит
Машинист	МШ-39		
Инженер			
Техник			
Лаборант			
Ученый секретарь			

рис. 2.23 74

-75-

ХАРАКТЕР ПРОЦЕССА АЛМАЗНО-ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК15 КРУГАМИ НА РАЗЛИЧНЫХ СВЯЗКАХ



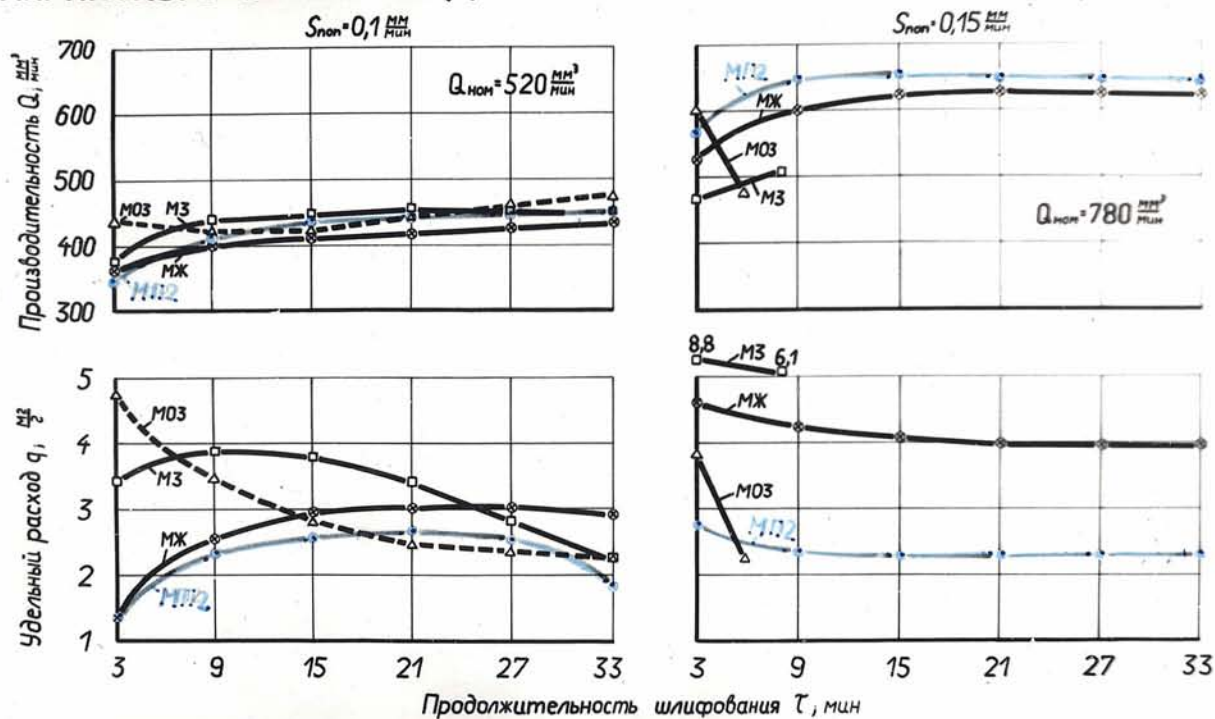
Условия обработки: круг АПП 40×10×3 АСК 400/315 - 100%; $v_{\text{кр}} = 20 \text{ м/сек}$; $v_{\text{вет}} = 50 \text{ м/мин}$;
 $S_{\text{прод}} = 3 \text{ м/мин}$; СОЖ - 3% содовый раствор;
 Импульсный генератор ВГ-3В, $f = 22 \text{ кГц}$, $I_{\text{кз}} = 40 \text{ а}$

Документ	Листы	Имя файла	Дата
Матрица	№ 33		
Дата			
Время			
Состояние			
Исполнитель			
Проверенный			
Утвержденный			

Рис. 2.24-75

-76-

ХАРАКТЕР ПРОЦЕССА АЛМАЗНО-ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ МАГНИТНОГО СПЛАВА ЮНДК35Т5 КРУГАМИ НА РАЗЛИЧНЫХ СВЯЗКАХ



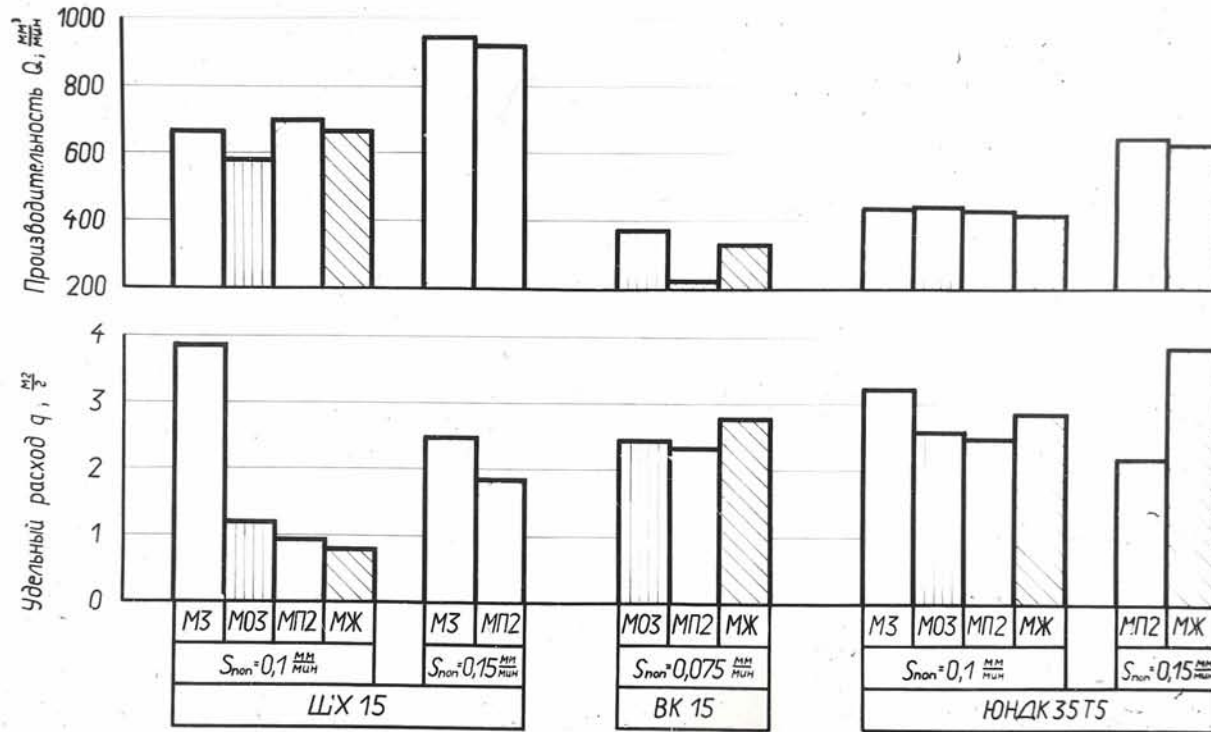
Условия обработки: круг АПП 40×10×3 АСК 400/315 -100% ; $v_{кр} = 20 \text{ м/сек}$; $v_{дет} = 50 \text{ м/мин}$;
 $s_{прод} = 3 \text{ м/мин}$; СОЖ -3% содовый раствор ;
 Импульсный Генератор ВГ-3В , $f = 22 \text{ кГц}$, $I_{кз} = 40 \text{ а}$

Диаметр Ламината	Группа МШ-33	Время обработки мин	Объем обработанной поверхности мм ²	Удельный расход абразива г/г	Производительность мм ³ /мин

Рис. 2.25 76

-77-

АЛМАЗНО-ИСКРОВОЕ ШЛИФОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ КРУГАМИ НА РАЗЛИЧНЫХ СВЯЗКАХ



Условия обработки: круг АПП 40×10×3 АСК 400/315 - 100%; $V_{кр} = 20 \text{ м/сек}$; $V_{верт} = 50 \text{ м/мин}$,
 $S_{прод} = 3 \text{ м/мин}$; СОЖ - 3% содовый раствор; $\tau_{оп} = 30 \text{ мин}$;
 Импульсный генератор ВГ-3В, $f = 22 \text{ кгц}$, $I_{кз} = 40 \text{ а}$

Обработка	Связка	Скорость S_{top}	Производительность Q	Удельный расход q

Рис. 2.26 17

Для обработки твердого сплава ВК15 связка МП2 неприемлема, так как производительность почти в 2 раза ниже номинальной и процесс резания жесткий, хотя удельный расход не выше, чем у кругов на других связках.

Круг на связке М3 не работает при шлифовании твердого сплава ВК15 даже при мягких электрических режимах - круг засаливается в течение 4-6 мин.

Сталь ШХ15 и магнитный сплав ЮНК35Т5 можно обрабатывать кругом на связке М3, но с повышенным расходом алмазов. Это объясняется химическим составом связки М3. В нее входит 5% Fe_2O_3 как добавки и отношение между медью и оловом больше 4, что уменьшает твердость связки.

Алмазные круги на связке М03 имеют высокую работоспособность при обработке всех исследуемых материалов, но на жестких механических режимах в течение 6-15 минут засаливаются.

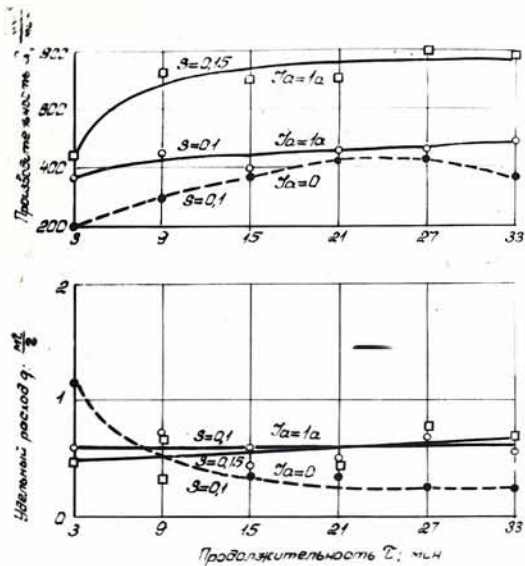
При обработке твердого сплава ВК15 круг на связке М03 превосходит все остальные. Съем материала близкий к номинальному. Удельный расход алмазов у кругов на связке М03 на уровне с кругами на связке М2.

Круги на связках МЖ можно применять для обработки всех 3-х материалов, но при жестких механических режимах возможно обрабатывать только магнитный сплав ЮНК35Т5. Удельный расход алмазов при этом в 2 раза выше, чем у кругов на связке МП2. Обрабатывать твердый сплав кругами на связке МЖ не рекомендуется.

Проводились сравнительные опыты кругами АСВ250/200, М1-100% (ис. 2.27, 2.28, 2.29). При обработке стали ШХ15 и твердого сплава ВК15 этот круг обладает высокой работоспособностью.

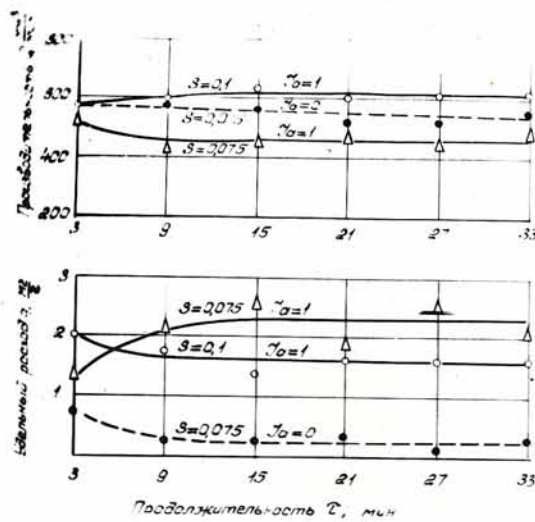
При шлифовании твердого сплава ВК15 круги на связке М1 оказались

me 11000



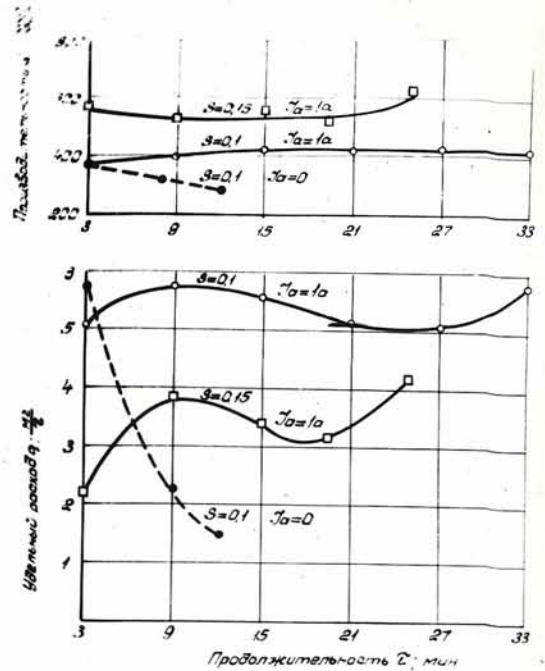
Условия обработки: круг АПП 40x30x3 РСВ 250/200 М1-100.
 Обрабатываемый материал ШХ15; $V_{кр} = 20 \text{ м/сек}$
 $V_{дет} = 50 \text{ м/мин}$; $S_{прод} = 3 \text{ м/мин}$; СОЖ-3; подаваемый расход
 генератор ВГ-38; $f = 22 \text{ кГц}$

Рис. 2.27



Условия обработки: круг АПП 40x10x3 РСВ 250/200 М1-100.
 Обрабатываемый материал ВК15; $V_{кр} = 20 \text{ м/сек}$
 $V_{дет} = 50 \text{ м/мин}$; $S_{прод} = 3 \text{ м/мин}$; СОЖ-3; подаваемый расход
 генератор ВГ-33; $f = 22 \text{ кГц}$

Рис. 2.28



Условия обработки: круг АПП 40x10x3 РСВ 250/200 М1-100.
 Обрабатываемый материал ЮФЖ35Т5; $V_{кр} = 20 \text{ м/сек}$
 $V_{дет} = 50 \text{ м/мин}$; $S_{прод} = 3 \text{ м/мин}$; СОЖ-3; подаваемый расход
 генератор ВГ-33; $f = 22 \text{ кГц}$

Рис. 2.29

не надо

ними производительными и износостойкими.

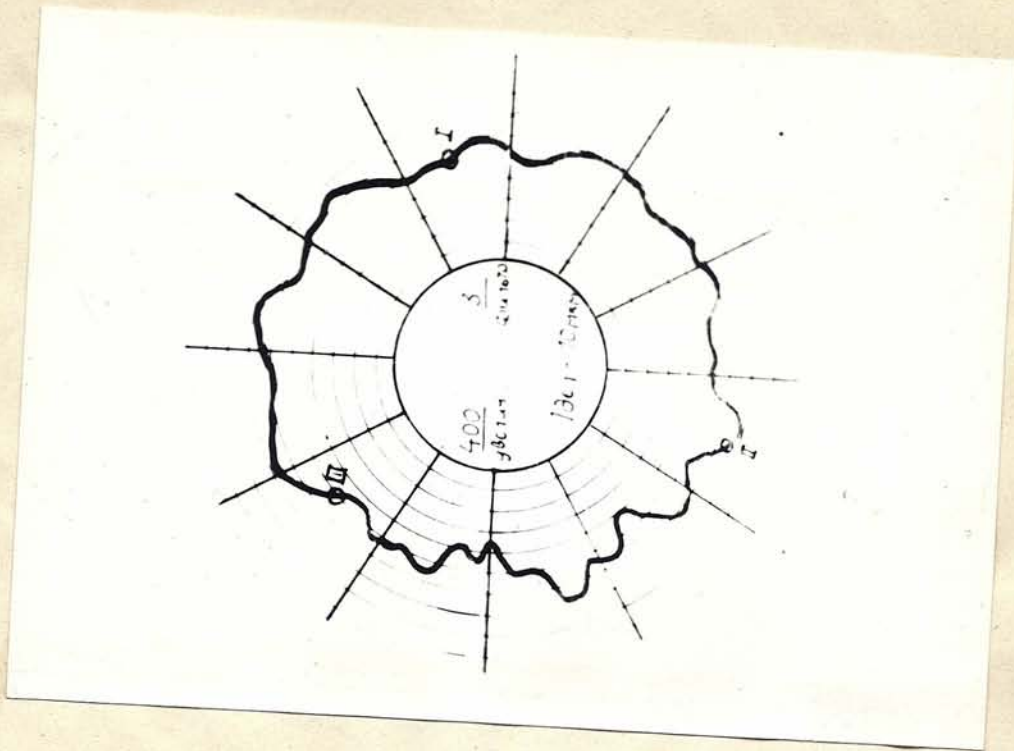
Для обработки магнитного сплава ВНК35Т5 круг на связке М1 имеет повышенный удельный расход (5,5 мг/г), производительность не более 400 мм³/мин, тогда как удельный расход алмазов *круга* на связке МП2 составляет 2,2 мг/г при производительности 650 мм³/мин.

Для шлифования магнитного сплава рекомендуется применять круги на связке МП2.

Рис. 2.24 показывает, что для твердого сплава ВК15 существует оптимальная поперечная подача. Дальнейшее увеличение поперечной подачи не повышает производительности. Круг при этом засаливается в течение 415 мин. *me*

С повышением поперечной подачи и увеличением производительности всегда повышается удельный расход алмазов, а даже уменьшается. Зазор между связкой круга и обрабатываемой деталью уменьшается с увеличением поперечной подачи достигает контакта связки и детали. Электроэрозионное действие при этом ослабляется на поверхности круга и износ уменьшается.

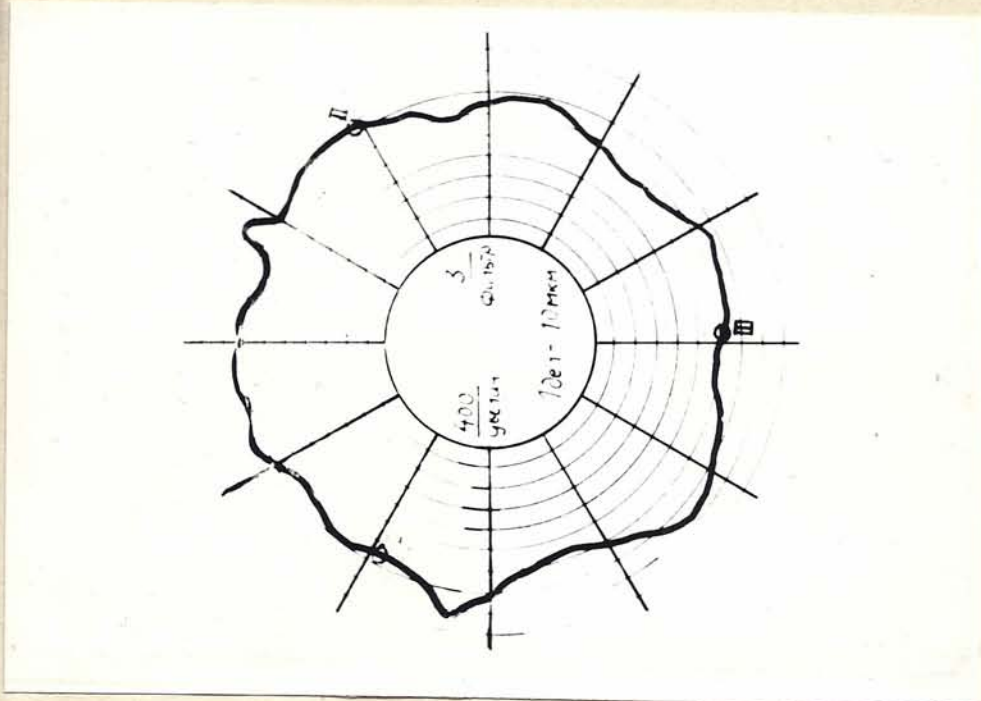
Проведено фотографирование поверхности алмазного круга после окончания обработки на инструментальном микроскопе и описаны круглограммы алмазного круга. Круглограммы показывают отклонения от формы круга в мкм. Алмазный круг в состоянии поставки имеет незначительное отклонение от формы круга (30 мкм), но алмазные зерна мало выступают из связки (рис. 3.30). На связке видны следы абразивной правки. После электроэрозионной правки отклонение от формы круга уменьшилось (30 мкм) и алмазные зерна хорошо выступают из связки круга (рис. 2.31). Рабочая способность круга очень высокая и электроэрозионный метод правки алмазного круга превосходит все остальные методы. Правка осуществляется непосредственно обрабатываемой деталью без дополнительного



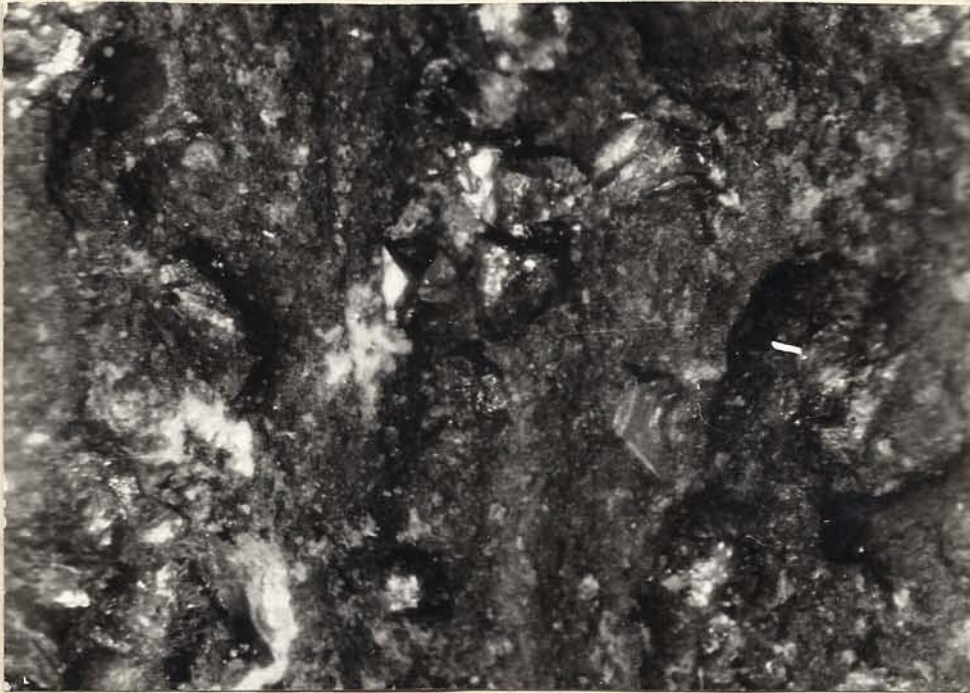
78
Proc. 2. 30



X 50



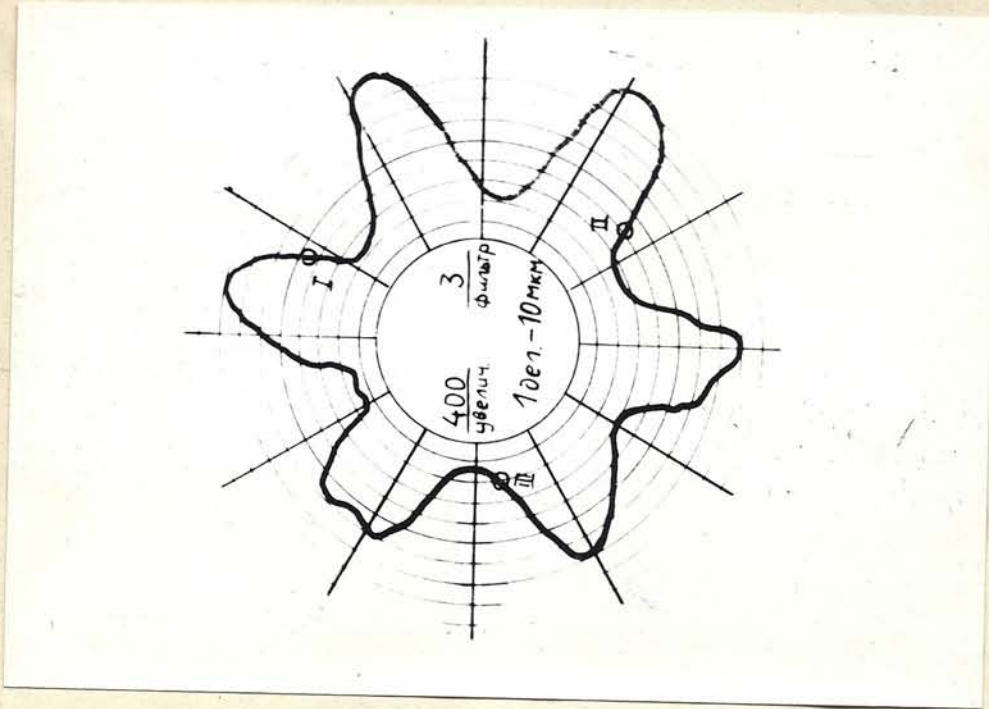
79
PWC.2.51



X50

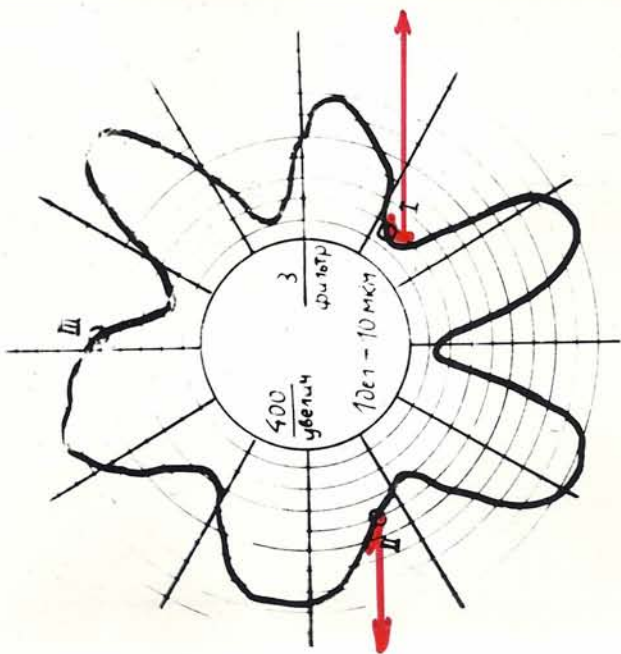
исносостойкости. Правку необходимо производить при слабых механических режимах ($S_{\text{поп}} = 0,05$ м/мин и грубых электрических режимах ($J_{к.з} = 40$ а). Импульсный ток не превышает 6+10 а. Время правки зависит от состояния круга до правки, электроэрозионной стойкости связки и составляет 2-4 мин. При работе без электрического тока круг засаливается в течение 15 минут. После 15 мин работы круга АСН400/315 МЖ-100 поверхность круга становится гладкой, а алмазные зерна вырываются или изнашиваются до уровня связки. На рис. 2.32²⁰ видны следы трения об обрабатываемую поверхность. Форма круга получается огранной и отклонение от формы круга составляет в среднем 57 мкм. После 30 минут работы с импульсным током алмазный круг теряет свою форму. На поверхности образуются "блестящие" и "темные" полосы, причем "блестящие" полосы выступают, а "темные" лежат в более глубоких местах (рис. 2.33²¹, 2.34²²). Состояние круга в углубленных местах очень хорошее. Алмазы выступают из связки, но эти полосы не могут вступить в работу, так как они углублены. Выступавшие "блестящие" места имеют на поверхности незначительное количество алмазных зерен. Хорошо видны следы засаливания круга.

Круг на более износостойкой связке МЖ (рис. 2.33²¹) в меньшей степени потерял форму круга, чем круг на связке МП2 (рис. 2.34²²). Это явление объясняется электроэрозионным действием на поверхность алмазного круга. В время работы алмазный круг всегда теряет свою исходную форму, а со временем обработки увеличивается отклонение от формы круга. Зазор между поверхностью детали и связки круга не одинаков. Места, где зазор больше, сильнее подвергаются износу, так как глубина резания для этих мест выше. Электроэрозионное действие сильнее там, где зазор меньше, а механические действия на этих местах значительно выше и это ухудшает состояние поверхности. Этот процесс идет до касания связки круга обрабатываемым материалом. После этого электроэрозионное действие почти прекращается и электроэрозия действует только на углубленных местах. Отклонение от формы круга при этом повышается.



X 50

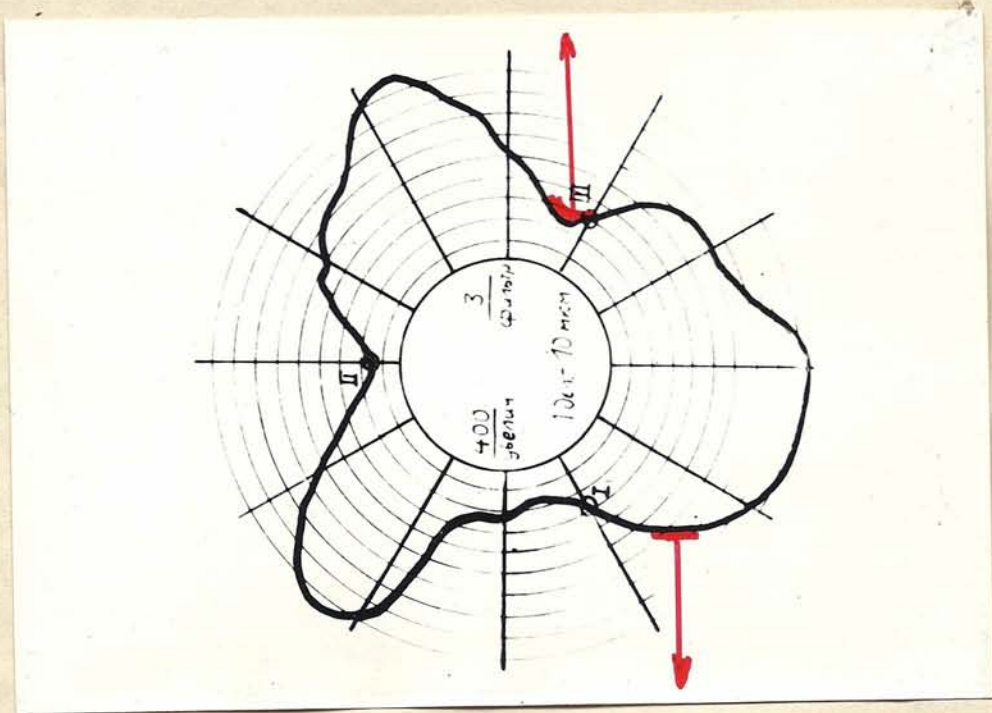
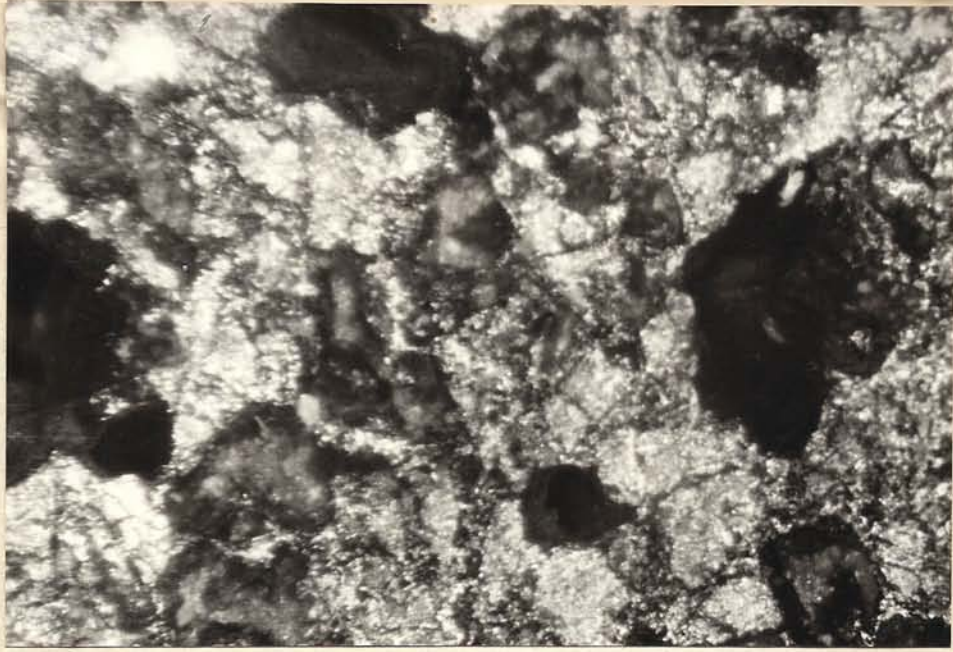
20
PNC.2.52



27
рис. 2.33



X50



X 50

22
PNC 2.34

2.5. Выводы

1. Алмазно-искровое шлифование по технико-экономическим показателям значительно превышает известные способы обработки.

2. Процесс алмазно-искрового шлифования протекает стабильно, что позволяет легко автоматизировать процесс.

3. Процесс алмазно-искрового шлифования позволяет при значительном повышении производительности чистовой обработки постоянных магнитов исключить сколы, вырывы, прижоги и трещины на шлифуемой поверхности.

4. Введение в зону резания электрического тока не ухудшает чистоту обработанной поверхности. Шероховатость обработки определяется в первую очередь характеристикой алмазного круга.

5. Правильный выбор связки алмазного круга существенно влияет на работоспособность кругов и, следовательно, на технико-экономические показатели обработки.

Для обработки магнитного сплава рекомендуется применять алмазные круги на связке МП2, а для обработки стали ШХ15 и твердого сплава ВК15 - алмазные круги на связке М1.

6. На пониженных механических режимах рекомендуется применять генератор импульсного тока или генератор выпрямленного тока.

При повышенных механических режимах целесообразно использовать высокочастотный ток.

Литература

Конец

3.1. Затраты на научно-исследовательскую работу

Себестоимость научно-исследовательской работы может быть определена по формуле

$$C_{\text{нпр}} = Z_{\text{п}} + H_{\text{с}} + A + C_{\text{м}} + C_{\text{и}} + Z_{\text{ээ}} + O_{\text{р}}$$

- где $Z_{\text{п}}$ - прямая производственная зарплата;
- $H_{\text{с}}$ - начисления на соцстрах;
- A - затраты на амортизацию приборов и оборудования;
- $C_{\text{и}}$ - затраты на инструмент;
- $C_{\text{м}}$ - затраты на материал;
- $Z_{\text{ээ}}$ - затраты на электроэнергию;
- $O_{\text{р}}$ - общезаводские расходы.

Учет по статьям калькуляции ведется для определения фактической себестоимости каждой работы. При ведении учета по экономическим элементам определяются фактические затраты по всей хозяйственной деятельности научно-исследовательской организации.

3.1.1. Прямая производственная заработная плата

В выполнении данной работы участвовали - руководитель темы, инженер и механик. Данные по этой статье получены на основании отчетных сведений, приведенных в табл. 3.1.

Таблица 3.1.

№ пп	Должность	Месячный оклад в руб.	Кол-во человеко-месяцев работы	Сумма прямой зарплаты, руб.
1.	Руководитель темы	320	0,1	32
2.	Инженер	120	2	240
3.	Механик	100	3	300

Итого:				572

3.1.2. Начисление на соцстрах.

Эти расходы составляют 7,7% от общего фонда зарплаты

$$H_0 = 0,077 \cdot 572 = 44,2 \text{ руб.}$$

3.1.3. Затраты на приборы и оборудование

Эти затраты возмещаются через амортизационные отчисления и определяются по следующей формуле:

$$A = \frac{H_a - C_n - T_\phi}{100 T_{\text{эфт}}} \text{ (руб)}$$

где H_a - норма амортизационных отчислений, %;

C_n - первоначальная стоимость, руб;

$T_{\text{эфт}}$ - эффективный годовое фонд времени работы приборов и оборудования, час;

T_ϕ - действительный годовое фонд времени, час.

Общая норма амортизации для станков до 10 т с абразивным инструментом в индивидуальном или серийном производстве составляет 10,7%, а норма амортизации для приборов - 14%.

Эффективный годовое фонд времени при одностороннем режиме работы

$$T_{\text{эфт}} = T_n \left(1 - \frac{a}{100} \right)$$

где T_n - номинальный годовое фонд времени,

- потери времени на ППР

Для станков весом до 3 т - $a = 3\%$, а для приборов - $a = 8\%$

$$T_n = (D_p - D_{np}) \cdot 8$$

где $D_p = 365$ - число дней в году;

$D_{np} = 112$ - количество нерабочих дней

$$T_n = (365 - 112) \cdot 8 = 2030$$

$$T_{\text{эфт}} = 2030 \left(1 - \frac{3}{100} \right) = 1965 \text{ час.}$$

$$T_{\text{эфт}} = 2030 \left(1 - \frac{8}{100} \right) = 1865 \text{ час.}$$

Определим первоначальную стоимость и амортизационные отчисления приборов и станка 3А227.

Внутришлифовальный станок 3А227

$$O_{\text{цст}} = 6500 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{пст}} = 1,10_{\text{цст}}$$

где $1,1$ — коэффициент транспортных и монтажных работ

$$C_{\text{пст}} = 1,1 \cdot 6500 = 7150 \text{ руб}$$

$$A = \frac{10,7 \cdot 7150 \cdot 340}{100 \cdot 1965} = 132 \text{ руб.}$$

Высокочастотный генератор ВГ-3В

Оптовая цена прибора $O_{\text{цпр}} = 1400 \text{ руб.}$

$$C_{\text{ппр}} = 1,1 \cdot 1400 = 1540 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления

$$A = \frac{14 \cdot 1540 \cdot 300}{100 \cdot 1965} = 34,7 \text{ руб.}$$

Выпрямитель ВАКТ

Оптовая цена прибора $O_{\text{цпр}} = 900 \text{ руб.}$

$$C_{\text{ппр}} = 1,1 \cdot 900 = 990 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления составляют

$$A = \frac{14 \cdot 990 \cdot 100}{100 \cdot 1965} = 7,5 \text{ руб.}$$

Таблица 3.2

Наименование	Оптовая цена в руб.	Первоначальная стоимость	Норма %	Средняя продолжительность работы в час.	Амортизационные отчисления
1. Внутришлифовальный станок 3А227	6500	7150	10,7	340	132
2. Выпрямитель ВАКТ	900	990	14	100	7,5
3. Высокочастотный генератор ВГ-3В	1400	1540	14	300	34,7
Итого:					174,2

3.1.4. Расходы, связанные с приобретением и эксплуатацией кругов

При исследовании использовались абразивные круги, алмазные круги на бакалитовой связке и алмазные круги на металлических связках.

Транспортные расходы считаем по формуле

$$T_p = 0,05 O_{ц}$$

$$\text{Первоначальная стоимость } C_n = O_{ц} + T_p$$

Все данные приведены в табл.3.3.

Таблица 3.3

№ пп	Характеристика круга	Вес алмаза в каратах	Стоимость одного карата в руб.	Оптовая цена в руб.	Транспортные расходы в руб.	Количество кругов	Затраты на круг	
1.	ПП30x30 ЭБ40 СМ ₂ Б	-	-	0,30	0,03	2	0,66	
2.	АПП25x10x3 АСР125/100 Б1-100%	9	0,15	2,50	0,13	3	7,89	
3.	А- АСВ125/100 М1-100%	9	0,20	3,50	0,17	6	22,05	
4.	АПП40x10x3 АСК400/315 М1-100%	15	1,20	21,00	1,05	1	22,05	
5.	АПП40x10x3 АСК400/315 М3-100%	15	1,20	21,00	1,05	1	22,05	
6.	А- АСК400/315 М03-100%	15	1,20	21,00	1,05	1	22,05	
7.	А- АСК400/315 МК -100%	15	1,20	21,00	1,05	2	44,10	
8.	А- АСК400/315 МП2-100%	15	1,20	21,00	1,05	1	22,05	

Итого:								162,90

3.1.5. Определение затрат на сырье и материалы.

При выполнении данной работы использовались материалы - магнитный сплав ЮНК35Т5, сталь ШХ15 и твердый сплав ВК15.

Затраты на материалы определяются по формуле

- N_p - нормы расхода образцов;
- O_u - оптовая цена 1 кг материала;
- 1,05 - транспортные расходы;
- B - вес одной детали;
- n - количество деталей;

Все данные приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Материал	Оптовая цена 1 кг. в руб.	Вес одной детали в кг.	Норма расхода образца	Количество деталей	Затраты в руб.
ВЦК24Т2	23	0,410	0,7	12	79,5
ВК15	0,7	0,430	0,8	10	2,4
ВК15	10	1,0	0,8	8	64

Итого:					145,9

3.1.6. Затраты на электроэнергию

$$Z_{\text{ээ}} = \left(\sum N \cdot k \cdot \tau \right) \frac{P_3}{100}$$

- где N - мощность оборудования по паспортным данным;
- k - коэффициент использования электроэнергии;
- τ - время работы оборудования в час;
- P_3 - стоимость 1 кв/ч электроэнергии в коп.

$$Z_{\text{ээ}} = (6 \cdot 0,5 \cdot 340 + 1 \cdot 0,5 \cdot 300 + 1 \cdot 0,5 \cdot 100) \frac{1,8}{100} = 22 \text{ руб.}$$

3.1.7. Общепитутские расходы составляют 29% от прямой заработной платы

$$O_p = 0,29 \cdot 572 = 166 \text{ руб.}$$

Смета затрат выполнения НИР

Таблица 3.5

п/п	Наименование	Сумма в руб.
1.	Прямая производственная зарплата	572
2.	Начисление на соцстрах	44,2
3.	Затраты на приборы и оборудование	174,2
4.	Затраты на инструмент	162,9
5.	Затраты на материалы	145,9
6.	Затраты на электроэнергию	22
7.	Общепитутские расходы	166

	Итого:	1287,2

3.2. Экономическое обоснование и сопоставление технических вариантов

Экономическое обоснование - это сопоставление нескольких возможных вариантов механической обработки деталей, обеспечивающее выбор оптимального режима.

Основными показателями эффективности предлагаемого метода механической обработки являются:

1. Производительность труда.
2. Себестоимость продукции.
3. Сроки окупаемости дополнительных капитальных вложений.
4. Годовой экономический эффект от внедрения нового технологического процесса.

Повышение производительности труда является одним из наиболее важных показателей, оказывающим непосредственное влияние на уменьшение себестоимости продукции и определяется по формуле

$$П_{тр} = \frac{t_{сущ} - t_{пр}}{t_{пр}} \cdot 100\%$$

где $t_{сущ}$ - трудоемкость существующего варианта;

$t_{пр}$ - трудоемкость проектируемого варианта.

Себестоимость продукции считается по следующим статьям:

1. Основная и дополнительная заработная плата производственного рабочего.
2. Отчисления на социальное страхование заработной платы рабочего.
3. Основная и дополнительная заработная плата наладчика.
4. Отчисления на социальное страхование заработной платы наладчика.
5. Затраты на амортизацию оборудования.
6. Затраты на ремонт оборудования.
7. Затраты на электроэнергию.
8. Затраты на инструмент.
9. Затраты на вспомогательный материал.
10. Затраты на обслуживание производственной площади занимаемой оборудованием.

Годовой экономический эффект, полученный народным хозяйством от внедрения нового технологического процесса рассчитывается по следующей формуле

где K_I и K_{II} - капитальные затраты на первом и втором варианте

E - нормативный коэффициент эффективности

C_I и C_{II} - себестоимость первого и второго вариантов.

Экономия от снижения себестоимости

$$ЭГ = N Г (C_I - C_{II})$$

где $N Г$ - годовая программа

Расчет выполняется на электронно-вычислительной машине "МИР-1."

3.2.1. Расчет экономической эффективности электро-эрозионной обработки сплава ЮНК24Т2, стали ШХ15 и твердого сплава ВК15

Для определения экономической эффективности алмазно-искрового шифования сравниваем обрабатываемость 3-х разных материалов с теми способами, которые применяются в промышленности. Для обработки сплава ЮНК24Т2 и стали ШХ15 применяются абразивные круги, а для обработки твердого сплава ВК15 алмазные круги на органической связке.

Таблица 3.6

Производительность и удельный расход старого и нового методов обработки

	ЮНК35Т5		ШХ15		ВК15	
	абразивное	алмазно-искровое	абразивное	алмазно-искровое	абразивное	алмазно-искровое
Производительность м3/мин	120	350	280	500	80	250
Удельный расход инструмента	0,3	4,6	0,2	3,0 мг/г	14 мг/г	5,5 мг/г

3.2.1.1. Расчет штучного времени.

Машиное время определяется из условия производительности обработки и объема снимаемого слоя детали.

Объем снимаемого припуска определяется по формуле:

$$V = \frac{\pi}{4} l (D^2 - d^2)$$

- где l - длина отверстия в мм;
- D - окончательная диаметр отверстия;
- d - диаметр отверстия до обработки.

Машинное время

$$t_{\text{маш}} = \frac{V}{Q}$$

- где V - объем снимаемого слоя, мм³;
- Q - производительность обработки, мм³/мин.

Штучное время состоит из машинного времени, вспомогательного времени и времени обслуживания рабочего места

$$T_{\text{шт}} = t_{\text{маш}} + t_{\text{всп}} + t_{\text{об}}$$

Годовая программа обработки детали на одном станке определяется по формуле

$$N_{\Gamma} = \frac{F_{\text{д}} \cdot 60}{T_{\text{шт}}}$$

- где $F_{\text{д}}$ - действительный фонд времени работы оборудования за один год при двухсменной работе (4030 часов).

3.2.1.2. Затраты на инструмент.

Затраты на абразивный инструмент

$$Z_{\text{ин}} = \frac{q \cdot V \cdot Q_{\text{уч}}}{S}$$

- где q - износ инструмента в мм³/мм³;
- V - объем снимаемого слоя материала одной детали в мм³;
- $Q_{\text{уч}}$ - оптовая цена инструмента в руб;
- S - объем абразивного слоя инструмента в мм³

$$S = \frac{\pi}{4} B (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} \cdot 35 (25^2 - 19^2) = 7260 \text{ мм}^3$$

- где B - ширина абразивного круга,
- D - диаметр круга в заводском состоянии,
- d - диаметр круга после его износа.

Затраты на алмазный инструмент

$$Z_{ин} = \frac{q \cdot V \cdot \rho_{ци} \cdot \gamma}{S}$$

- где q - износ инструмента в мг/г,
 V - объем снимаемого слоя материала одной детали в мм³,
 γ - удельный вес одного грамма материала в г/мм³,
 S - количество алмазов в алмазном круге в мг,
 $\rho_{ци}$ - оптовая цена алмазного круга в руб. (табл. 3.7)

$$S = \frac{\pi}{4} B (D^2 - d^2) \beta$$

- β - коэффициент, учитывающий количество алмазов, находящиеся в 1 мм³ рабочей поверхности круга (при 100% концентрации 0,828 мг/мм³).

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot 10 (25^2 - 19^2) \cdot 0,878 = 1820 \text{ мг}$$

Таблица 3.7

Инструмент	Оптовая цена в руб.
АПН25x10x3 АСВ125/100 И1-100%	3,5
АПН25x10x3 АСР125/100 Б1-100%	2,5
ПП30x30 ЭБ СИ ₂ К	0,3

**3.2.1.3. Расчет исходных данных для сравнения обработки
 вязкости сплава ВДК 24Т2**

Необходимо обработать втулку со следующими размерами (рис. 3.1)
 радиус по внутреннему диаметру равен 2 мм. Объем снимаемого слоя

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot 16 (31^2 - 29^2) = 1500 \text{ мм}^3$$

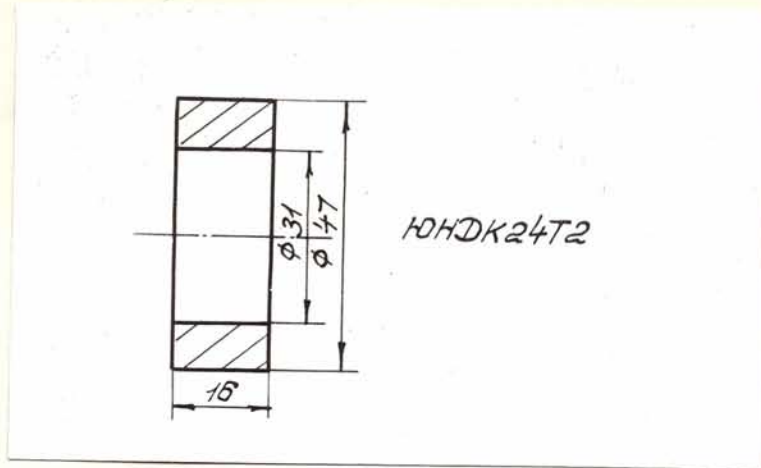


Рис. 3.1

Абразивное шлифование

Алмазоскоровое шлифование

Машинное время

$$t_{\text{маш}} = \frac{1500}{120} = 12,5 \text{ мин}$$

$$t_{\text{маш}} = \frac{1500}{350} = 4,3 \text{ мин}$$

штучное время

Вспомогательное время обработки равно 0,55 мин и время обслуживания рабочего места считаем 10% $t_{\text{маш}}$

$$T_{\text{шт}} = 12,5 + 0,55 + 1,25 = 14,30 \text{ мин}$$

$$T_{\text{шт}} = 4,3 + 0,55 + 0,43 = 5,28 \text{ мин}$$

Годовая программа

при условии, что обработка происходит на одном станке

$$N_{\Gamma} = \frac{4060 \cdot 60}{14,3} = 17000 \text{ шт}$$

$$N_{\Gamma} = \frac{4060 \cdot 60}{5,28} = 46000 \text{ шт}$$

Заграты на инструмент

$$z_{\text{ин}} = \frac{0,3 \cdot 1500 \cdot 0,30}{7260} = 0,018 \text{ руб.}$$

$$z_{\text{ин}} = \frac{4,6 \cdot 1500 \cdot 7,3 \cdot 10^{-3} \cdot 3,5}{1820} = 0,097 \text{ руб.}$$

3.2.1.4. Расчет исходных данных для сравнения обрабатываемости стали ШХ15

Необходимо обрабатывать внутреннее кольцо подшипника качения.

(рис. 3.2).

Припуск по внутренним диаметрам равен 0,5 мм. Объем снимаемого

слоя материала:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot 27(40^2 - 39,5^2) = 850 \text{ мм}^3$$

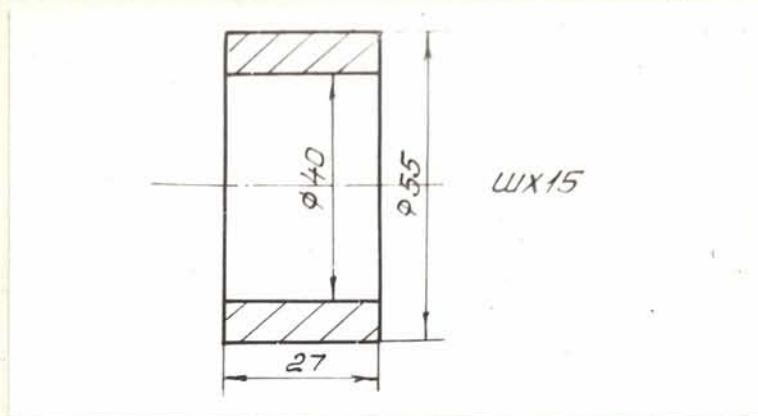


Рис. 3.2

Абразивное шлифование

Алмазно-кисловое шлифование

Машинное время

$$t_{\text{маш}} = \frac{850}{280} = 3 \text{ мин}$$

$$t_{\text{маш}} = \frac{850}{500} = 1,7 \text{ мин}$$

Штучное время

Вспомогательное время обработки равно 0,25 мин и время обслуживания рабочего места считаем 10% $t_{\text{нал}}$

$$T_{\text{шт}} = 3 + 0,25 + 0,3 = 3,55 \text{ мин}$$

$$T_{\text{шт}} = 1,7 + 0,25 + 0,17 = 2,12 \text{ мин}$$

Годовая программа

при условии, что обработка происходит на одном станке

$$N_{\Gamma} = \frac{4060 \cdot 60}{3,55} = 68000 \text{ шт}$$

$$N_{\Gamma} = \frac{4060 \cdot 60}{2,12} = 115000 \text{ шт}$$

Затраты на инструмент

$$Z_{\text{ин}} = \frac{0,2 \cdot 850 \cdot 0,30}{7260} = 0,01 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{ин}} = \frac{3 \cdot 850 \cdot 7,85 \cdot 10^{-3} \cdot 3,5}{1820} = 0,039 \text{ руб.}$$

3.2.1.5. Расчет исходных данных для сравнения обрабатываемости твердого сплава BK15

Необходимо обрабатывать втулку со следующими размерами

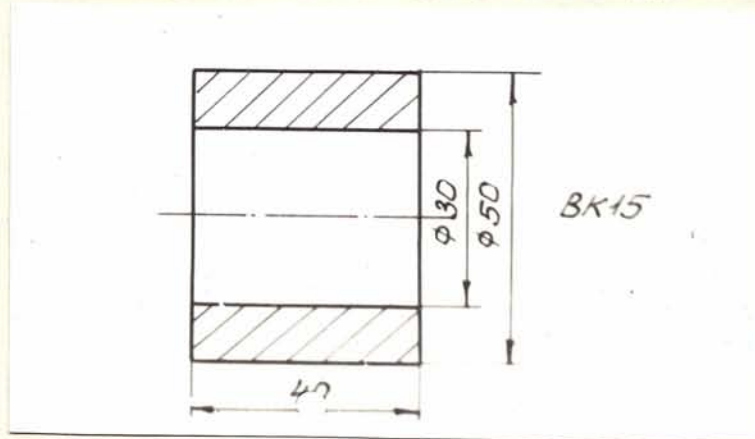


Рис. 3.3

Припуск по диаметру 0,8 мм.

Объем снимаемого слоя

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot 40(30^2 - 29,2^2) = 1500 \text{ мм}^3$$

Алмазное шлифование

Машинное время

$$t_{\text{маш}} = \frac{1500}{80} = 18,7 \text{ мин}$$

Штучное время

Вспомогательное время обработки равно 0,55 мин; время обслуживания рабочего места считаем 10% $t_{\text{маш}}$

$$T_{\text{шт}} = 18,7 + 0,55 + 1,87 = 21,12 \text{ мин}$$

Годовая программа

при условии, что обработка происходит на одном станке

$$N = \frac{4060 \cdot 60}{21,12} = 11500 \text{ шт}$$

Алмазно-искровое шлифование

$$t_{\text{маш}} = \frac{1500}{250} = 6 \text{ мин}$$

$$T_{\text{шт}} = 6 + 0,55 + 0,6 = 7,15 \text{ мин}$$

$$N = \frac{4060 \cdot 60}{7,15} = 34000 \text{ шт}$$

Затраты на инструмент

$$Z_{ин} = \frac{14 \cdot 1500 \cdot 15 \cdot 8 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5}{1820} =$$
$$= 0,40 \text{ руб.}$$

$$Z_{ин} = \frac{5,5 \cdot 1500 \cdot 13 \cdot 8 \cdot 10^{-3} \cdot 3,5}{1820} =$$
$$= 0,22 \text{ руб.}$$

Все исходные данные для расчета приведены в табл. 3.8.

Результаты расчета отпечатаны на ЭВМ "МИР-1" и представлены в табл. 3.9; 3.10 и 3.11.

3.2.1.6. Расчет повышения производительности труда

Для обработки материала ЮНК24Т2

$$P_{тр} = \frac{14,3 - 5,28}{5,28} \cdot 100 = 170\%$$

Для обработки стали ШХ15

$$P_{тр} = \frac{3,55 - 2,12}{2,12} \cdot 100 = 67,5\%$$

Для обработки ВК15

$$P_{тр} = \frac{21,12 - 7,15}{7,15} = 195\%$$

Результаты расчета сравнения двух вариантов показывают преимущество алмазно-искрового шлифования при обработке сплава ЮНК24Т2 и твердого сплава ВК15.

Для обработки стали ШХ15 годовая экономия не получится от внедрения нового метода, но себестоимости почти одинаковы ($C_1 = 0,071$ руб и $C_2 = 0,079$ руб) и дополнительные капитальные затраты нового способа меньше, чем затраты на расширение производства на старым способом.

Применение алмазно-искрового шлифования позволяет расширить производство без создания новых рабочих мест.

Исходные данные для расчета на ЭММ "ИИР-1"

	ИИДК24Т2		ИИК15		ИИК15	
	абразивное	алмазно-искров.	абразивное	алмазно-искров.	алмазно-искров.	алмазно-искровое
Тарифная ставка рабочего I-го разряда (СЧ1, СЧ2)	0,415	0,415	0,415	0,415	0,415	0,415
Тарифный коэффициент (КТ1, КТ2)	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Истечное время на операцию в мин. (Т1, Т2)	14,3	5,28	3,55	2,12	21,22	7,15
Коэффициент дополнительной заработной платы и доплат КД	1,4		1,4		1,4	
Коэффициент многостаночного обслуживания (КМ1, КМ2)	1	1	1	1	1	1
Тарифная ставка рабочего наладчика I-го разряда (СН1, СН2)	0,447	0,447	0,447	0,447	0,447	0,447
Тарифный коэффициент рабочего наладчика (КТН1, КТН2)	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Годовой фонд времени наладчика (ГД)	4030		4030		4030	
Количество станков на операции для наладчика (Н1, Н2)	2	1	2	1	3	1
Норма обслуживания для наладчика (НО1, НО2)	10	10	10	10	10	10
Годовая программа (НГ)	40000		115000		34000	
Оптовая цена одного станка (ОЦ1, ОЦ2)	6500	7900	6500	7900	6500	7900
Амортизационные отчисления в $\frac{6}{100}$ (А1, А2)	0,121	0,121	0,121	0,121	0,121	0,121

	ЮНК24Т2		ИХ15		ВК15	
	абразивное	алмазное искров.	абразивное	алмазное искров.	алмазное	алмазное-искровое
Количество станков на операции (К1, К2)	2	1	2	1	3	1
Установленная мощность двигателя (ПД1, ПД2)	6	7	6	7	6	7
Машинное время на операцию (ТМ1, ТМ2)	12,5	4,3	3	1,7	18,7	6
Стоимость 1 квт электроэнергии в коп		1,8		1,8		1,8
Заграты на инструмент (ЗИИ1, ЗИИ2)	0,018	0,097	0,01	0,039	0,40	0,22
Норма затрат в год на 1 станок на вспомогательные материалы (НВ)		70		70		70
Количество станков на операции (КС1, КС2)	2	1	2	1	3	1
Норма затрат по обслуживанию м2 производственной площади (НОП)		10		10		10
Оптовая цена оборудования (ОЦО1, ОЦО2)	13000	7900	13000	7900	19500	7900
Производственная площадь в м2 (S1, S1)	14	8	14	8	21	8
Цена 1 м2 производственной площади в руб. Ц		125		125		125
Заграты на дорогостоящую оснастку, руб. (ЗИИ1, ЗИИ2)	0	0	0	0	0	0
Нормативный коэффициент эффективности Е		0,2		0,2		0,2

Таблица 3.9

С1	С2	КАП1	КАП2	Э	ЭГ
.27776	.21717	.1605 _{10⁵}	.969 _{10⁴}	.24236 _{10⁴}	.36956 _{10⁴}

Таблица 3.10

С1 С2

$$С1 = .71163_{10^{-1}} \quad КАП1 = .1605_{10^5} \quad С2 = .79241_{10^{-1}} \quad КАП2 = .969_{10^4}$$

Таблица 3.11

С1	С2	КАП1	КАП2	Э	ЭГ
.80144	.35942	.24075 _{10⁵}	.969 _{10⁴}	.15028 _{10⁵}	.17905 _{10⁵}

При расчете действительной годовой экономии с внедрением нового процесса в производство необходимо учитывать затраты на НИР.

Таблица 3.12 показывает конечные результаты расчетов.

Таблица 3,12

Обрабатываемый материал	Себестоимость в руб		Капитальные затраты в руб.		Экономический эффект в руб.	Годовая экономия в руб.
	I	2	I	2		
ЮНК 24Т2	0,278	0,217	16050	9690	2424	3696
ШХ 15	0,071	0,079	16050	9690	-	-
ВК15	0,801	0,359	24075	9690	15028	17905
Затраты на НИР						-1287
Общая годовая экономия						20314



4. ОХРАНА ТРУДА

Охрана труда состоит из четырех основных частей: правовые основы, т.е. основы законодательства об охране труда; санитарно-гигиенические условия труда; техника безопасности; взрыво- и пожаробезопасность.

В директивах XXIV съезда КПСС ставится задача дальнейшего облегчения условий труда и усовершенствования охраны труда в Советском Союзе.

Основные законы о труде изложены в Конституции СССР и кодексах законов о труде союзных республик.

Санитарно-гигиенические условия труда нормируются в санитарных нормах проектирования промышленных предприятий. Мероприятия по технике безопасности установлены в Правилах по технике безопасности: отраслевых — для данного производства и общих — обязательных для всех министерств и ведомств.

В Основах законодательства о труде установлены предупредительные меры. Администрация должна принимать меры к устранению вредных условий работы, предупреждению несчастных случаев. Мероприятия по охране труда утверждает заводской комитет профсоюза и оформляет в виде двухстороннего соглашения. Это соглашение включает в коллективный договор и администрация несет ответственность за его выполнение.

Контроль за охраной труда подлежит государственному надзору со стороны вышестоящих административно-хозяйственных органов, государственных инспекций, технической инспекции профсоюза и общественным контролем со стороны общественных инспекторов завода.

Общественный инспектор имеет право посещать предприятия для выполнения своих обязанностей в любое время суток, принимает участие

в разработке планов по охране труда, дает предписания администрации и требует от администрации объяснения и документов по технике безопасности. Старший общественный инспектор участвует в расследовании несчастных случаев. Технический инспектор обязан периодически контролировать состояние охраны труда и выполнение трудового законодательства на предприятиях республики. Он принимает меры через администрацию предприятий к устранению обнаруженных недостатков в охране труда, оказывает помощь завкому предприятия в контроле и расследует смертельные, групповые и с тяжелым исходом несчастные случаи.

Должностные и административные лица, нарушившие законы об охране труда или виновные в нарушении, несут дисциплинарную, административную, уголовную и материальную ответственность.

4. I. Производственная санитария

4. I. I. Промышленная вентиляция и отопление

Для создания здоровой производственной обстановки в рабочих помещениях воздух в них должен быть чистым и его температура, влажность и скорость перемещения должны соответствовать гигиеническим требованиям, предусмотренным санитарными нормами.

Чрезмерно низкая температура воздуха в производственных помещениях приводит к интенсивному охлаждению организма человека, которое сопровождается рядом явлений, отрицательно влияющих на уровень производительности труда и обуславливающих появление травматизма.

а) В е н т и л я ц и я

В лаборатории кафедры резания материалов не предусмотрена естественная вентиляция, а обмен воздуха происходит через механические вытяжные вентиляторы и систему местной вентиляции. Все шлифовальные

станки связаны с системой местной вентиляции, так как в процессе шлифования образуется пыль, вредная для организма человека.

Рассчитаем количество воздуха, отсасываемого из зоны резания на шлифовальном станке.

Исходные данные: размер зонта $a=0,25$ м, $b=0,10$ м, скорость движения отсасываемого воздуха $V=0,9$ м/сек / /

$$L = a \cdot b \cdot v \cdot 3600 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$L = 0,25 \cdot 0,10 \cdot 0,9 \cdot 3600 = 81 \text{ м}^3/\text{час}$$

9) О т о п л е н и е

Определить поверхность нагрева и число радиаторов марки М-136 (поверхность нагрева одной секции $f=0,285$ м²), необходимых для обогрева лаборатории.

Исходные данные:

требуемая температура внутри помещения $t_{вн} = 18^\circ\text{C}$,

потери тепла в час $Q = 15000$ ккал,

температура воды на входе в радиаторы $t_{вх} = 70^\circ\text{C}$,

температура воды на выходе $t_{вых} = 50^\circ\text{C}$

$$F = \frac{Q}{k (t_{ср} - t_{вн})}$$

где Q - потери тепла за 1 час в ккал,

k - коэффициент теплопередачи, ккал-м².ч.^{°C} принят равным 6,7

$t_{ср}$ - средняя температура теплоносителя,

$t_{вн}$ - температура воздуха внутри помещения в ^{°C}

$$F = \frac{15000}{6,7 \left(\frac{70+50}{2} - 18 \right)} = 32 \text{ м}^2$$

Потребное количество секции радиаторов данной марки

$$n = \frac{F}{f} = \frac{32}{0,285} = 112 \text{ вт}$$

Если прибор размещен под Ю ошвами, то количество нагревателей

$$m = \frac{n}{r} = \frac{112}{10} \sim 11 \text{ вт}$$

Каждый из Ю нагревателей состоит из II секции.

4.1.2. Промышленное освещение

Рациональное освещение рабочих мест производственных помещений имеет большое значение для обеспечения безопасной и высокопроизводительной работы.

Особое значение имеет рационально выполненное освещение производственного помещения для тех производств, где работа требует большого напряжения зрения.

В лаборатории применяется комбинированное освещение: используется свет, поступающий через световые проемы в наружных стенах и искусственное освещение светильниками типа *ОДР* с люминесцентными лампами марки ЛБ. На станках имеется местное освещение, представляющее собой светильник типа АМО с лампой накаливания мощностью 75 вт, напряжением 36 в. Светильник укреплен на шарнирном кронштейне, позволяющем регулировать направление светового потока на обрабатываемую поверхность детали.

В лаборатории выполняются точные работы, что требует коэффициент естественной освещенности $e = 1,5 / 10 /$. Освещенность лаборатории при искусственном освещении в системе комбинированного освещения требует по нормам 500 лк. Освещенность системы общего освещения при этом должна быть 200 лк.

4.1.3. Противопожарная техника

Пожары на промышленных предприятиях приносят государству огромные убытки. Они уничтожают здания, запасы материалов, готовую продукцию, оборудование и вызывают остановку цехов на длительный срок.

Механические цеха машиностроительного производства по степени их пожарной опасности относятся к категории "Б". К этой категории относятся производства, обрабатывающие негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

В данном технологическом процессе причинами пожаров могут быть:

1. Неисправность установки и перегрузка электрической сети.
2. Статическое электричество, образующееся от трения на ременных передачах.
3. Неправильное устройство или неисправность вентиляционных частей.
4. Самовоспламенение и самосгорание материалов при неправильном хранении.
5. Несосторожное обращение с огнем.

Анализ пожаров, возникающих в результате неисправностей электроустановок, приводит к выводу, что наиболее частыми причинами аварии и пожаров является короткое замыкание, перегрузка, электрические искры и др.

Короткое замыкание возникает в результате нарушения изоляции проводов сети, попадания на провода влаги. При коротком замыкании образуется большое количество тепла, в результате чего температура проводов быстро возрастает и вызывает воспламенение изоляции.

На станке, в целях защиты от короткого замыкания, установлены автоматические выключатели (тепловое реле) и плавные предохранители.

Для защиты от разрядов статического электричества на ременной

передаче применяется смазка внутренней стороны ремней токопроводящими составами. В качестве первичных средств защиты применяются углекислотные ОУ-2 и пенные ОП-5 огнетушители. Пенные огнетушители нельзя применять при пожарах на электрических частях оборудования, если электричество еще не отключено. В здании находятся пожарные краны с шлангами. Шланги имеют длину 10 или 20 м в зависимости от расположения пожарного крана. Кроме того находятся противопожарный щит с ведром, топор, багор и лом, а также ящик с песком и асбестовое одеяло.

4.2. Техника безопасности работы оборудования

При обработке изделий на шлифовальных станках образуется много металлической и абразивной пыли, состоящей из мельчайших стружек, обрабатываемого материала и частиц износа абразивного инструмента. Пыль оказывает вредное воздействие на глаза, кожу, приводит к забиванию дыхательных путей.

Положительным фактором исследуемого процесса — алмазно-искрового шлифования, является замена сухого шлифования мокрым. В результате этого полностью исключается вредное воздействие абразивной пыли на рабочих.

С применением алмазных кругов на металлических связках значительно уменьшается опасность разрыва кругов и с этим уменьшается количество несчастных случаев при работе на шлифовальных станках.

При работе шлифовальных станков возникают вибрации и шум, систематическое действие которых, приводит к снижению производительности труда и ухудшению качества выпускаемой продукции. Вред от вибрации возрастает с увеличением скорости станков. Под их действием происходит изменение в нервной и костно-сосудистой системах, повышение

артериального давления, ослабление памяти, нарушение остроты зрения и слезоточения.

В результате влияния шума возникают различные профзаболевания. Доказано, что под влиянием шума производительность труда снижается на 60%.

У шлифовальных станков уровень интенсивности шума достигает 105 дБ. Допускаемый уровень шума равен 85-95 дБ. На внутришлифовальном станке мод. 3А227 рабочая зона закрыта защитным кожухом и прозрачным щитком, которые предохраняют рабочего от попадания на одежду и кожу охлаждающей жидкости. В качестве СОЖ применяют 3%-ный содовый раствор, что не вредно для человека.

Электробезопасность

Электротравматизм по сравнению с другими видами производственного травматизма составляет небольшой процент, но по числу случаев с тяжелым исходом он занимает одно из первых мест.

В целях безопасности рабочих, токоведущие части электрооборудования размещены в корпусе станка. Основная часть электрооборудования находится в специальном шкафу, ключ от которого находится у электрика.

Для защиты электродвигателя от перегрузки предусмотрены предохранители и тепловые реле.

Выпрямитель станка оборудован защитными устройствами, которые действуют как со стороны напряжения, так и со стороны нагрузки. Пусковые кнопки выполнены "утопленными" в корпусе пусковой коробки, чтобы станок или выпрямитель не включались от случайного прикосновения. С прикосновением кнопки "СТОП" выключается на станке весь двигатель, что позволяет при аварии быстро останавливать движение на станке.

Прикосновение человека к электрооборудованию, находящемуся под

напряжением (по причине "пробоя" напряжения на корпус) может быть опасно для жизни. Для защиты человека от поражения электрическим током применено защитное заземление: все металлические части электрооборудования, нормально не находящиеся под током, заземлены. Для этого на станке предусмотрен специальный болт где закрепляется провод заземления, который присоединен к общей заземляющей шине лаборатории.

4.3. Расчет защитного заземления

Заземление - это металлический проводник или группа проводников, находящихся в непосредственном соприкосновении с почвой и имеющих назначение создать электрические соединения с землей. Различают сопротивления естественные и искусственные. В качестве естественных заземлений могут быть использованы проложенные в земле водопроводные трубы, металлические конструкции зданий, имеющие надежное соединение с землей. В качестве искусственных заземлений рекомендуются: стальная труба с толщиной стенки не менее 3,5 мм, диаметром от 26 до 57 мм, длиной 1-3 м; полосовая сталь с толщиной полос не менее 4 мм и сечением не менее 100 мм² при напряжении свыше 1000 в и 48 мм² при напряжении до 1000 в, проволока диаметром не менее 6 мм.

Сопротивление заземлителей растеканию тока зависит от их формы и размеров, а также от удельного сопротивления почвы.

Сопротивление растеканию тока одной трубы

$$R_{\text{тр}} = 0,366 \frac{\rho}{L} \left(\lg \frac{2L}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4n+L}{4n-L} \right) \text{ Ом}$$

где ρ - удельное сопротивление почвы (ом/см),

$\rho = 4 \cdot 10^4 + 7 \cdot 10^4$ ом/см - песок

$\rho = 0,08 \cdot 10^4 + 0,7 \cdot 10^4$ ом/см - глина

$$\rho = 0,4 \cdot 10^4 + 1,5 \cdot 10^4 \text{ см/см} - \text{суглинок}$$

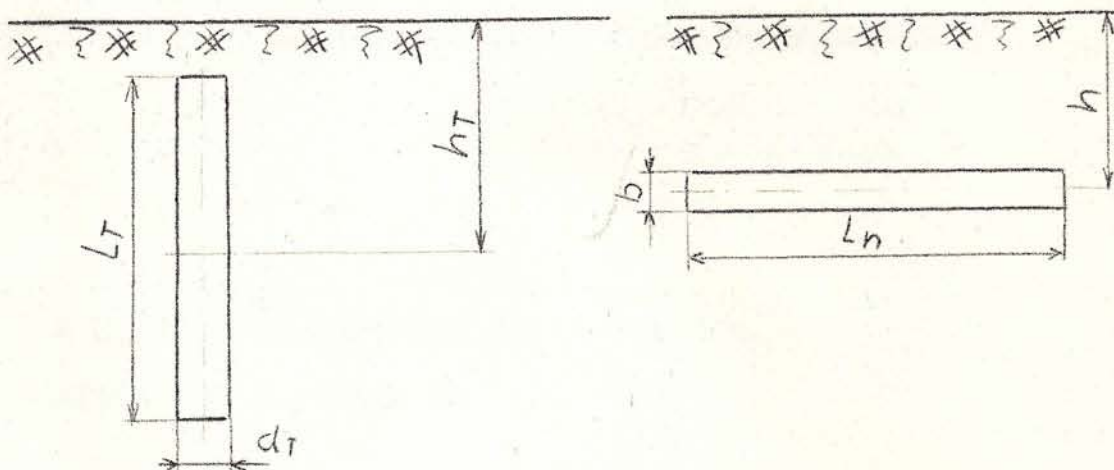
$$\rho = 0,096 + 5,3 \cdot 10^4 \text{ см/см} - \text{чернозем}$$

Принимаем значение для чернозема $2 \cdot 10^4 \text{ см/см}$.

L - длина труб, принимаем $L = 300 \text{ см}$,

h - расстояние от уровня земли до середины трубы $h = 250 \text{ см}$,

d - диаметр трубы $d = 5 \text{ см}$



$$R_{\text{тр}} = 0,366 \frac{2 \cdot 10^4}{300} \left[\lg \frac{2 \cdot 300}{300} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 250 + 300}{4 \cdot 250 - 300} \right] = 54 \text{ см}$$

Количество труб равно

$$n = \frac{R_{\text{тр}}}{4\eta} \cdot k$$

где $\eta = 0,8$ - коэффициент использования труб при $\frac{L}{d} = 3$,

D - расстояние между трубами $D = 0,9 \text{ м}$,

$K = 1,75$ - коэффициент сезонности

$$n = \frac{54}{4 \cdot 0,8} \cdot 1,75 = 29,6 \text{ шт}$$

Принимаем количество труб $n = 30 \text{ шт}$

Длина соединительной линии

$$\ell = 1,05 n \cdot D = 1,05 \cdot 30 \cdot 0,9 = 28,4 \text{ м}$$

Сопротивление протеканию тока с полосы в почву

$$R = \frac{\rho}{2\pi l \epsilon} \ln \frac{2l^2}{b-h}$$

Принято сечение полосы 100 мм²

$b = 25$ мм — ширина полосы,

$h = 1000$ мм — глубина закладки полосы

$$R_n = \frac{2 \cdot 10^4}{2 \cdot 3 \cdot 14 \cdot 2840 \cdot 0} \ln \frac{2 \cdot 2840^2}{2 \cdot 5 \cdot 100} = 12,4 \text{ ом}$$

Сопротивление растеканию тока всего рабочего заземления

$$R = \frac{1}{\frac{\eta_n}{R_n} + \frac{h-h_{тр}}{R_{тр}}} = \frac{1}{\frac{0,3}{12,4} + \frac{30-0,8}{54}} = 2,12 \text{ ом}$$

где $\eta_n = 0,3+0,9$ коэффициент экранирования.

Сопротивление должно быть не более

$$R = \frac{E}{J}$$

где $E = J_0 \cdot R_y = 0,012 \cdot 3000 = 36$ в — напряжение безопасное для человека,

$J_0 = 0,012$ а — сила тока, при которой человек способен оторваться от источника тока,

$R_y = 3000$ — сопротивление организма человека,

$J = 10$ а — сила тока, для которой рассчитывается защита.

Полученное сопротивление растеканию тока всего заземляющего устройства $R = 2,12$ ом при допустимом сопротивлении $R_0 = 3,6+4$ ом позволяют уменьшить число труб и тем самым снизить затраты на заземляющие устройства.

Принимаем количество труб $n = 18$ и производим перерасчет сопротивления заземляющего устройства.

Длина соединительной полосы

$$l = 1,05 \cdot n \cdot D = 1,05 \cdot 18 \cdot 0,9 = 17 \text{ м}$$

Сопротивление растеканию тока от полосы и почва равно:

$$R_n = \frac{\rho}{2\pi e} \ln \frac{2e^2}{b \cdot n} = \frac{2 \cdot 10^4}{2 \cdot 3,14 \cdot 1700} \ln \frac{2 \cdot 1700^2}{2 \cdot 5 \cdot 100} = 18,7 \text{ ом}$$

Сопротивление растеканию тока от всего заземления и почва

$$R = \frac{1}{\frac{\eta_n}{R_n} + \frac{n - \eta_{TP}}{R_{TP}}} = \frac{1}{\frac{0,3}{18,7} + \frac{18 - 0,8}{54}} = 3,6 \text{ ом}$$

Опасность поражения человека электрическим током может возникнуть, если металлические части станка окажутся под напряжением. Поэтому станина станка имеет специальный винт для подключения защитного заземления.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя М., 1973. 1
2. Артохова А.А., Бондарев Е.И. Влияние металлизации алмазов на работоспособность алмазно-абразивного инструмента. Алмазно-абразивная обработка, Пермь, 1967.
3. Бабенко О.А. Алмазное круглое шлифование быстрорежущей стали. Синтетические алмазы № 6, 1972, с.21.
4. Беззубенко Н.К. Резание и инструмент, вып.9, 1974, с.133-135. 2
5. Великанов И.М., Бласов В.Ф., Карацатова К.С. Экономика и организация производства.
6. Виноградов Б.В. Безопасность труда и производственная санитария, Машиностроение, Машгиз, 1963.
7. Галицкий В.Н., Муровский В.А. Влияние металлизации алмаза на работоспособность инструмента на металлической связке. Синтетические алмазы, № 3, 1971.
8. Галицкий В.Н., Муровский В.А. Круги из синтетических алмазов на металлических связках для обработки твердого сплава. Синтетические алмазы № 2, 1974, с.29.
9. Гродзинский Э.Д. и др. Электрохимическая обработка постоянных магнитов. Сб. "Электрофизические и электрохимические методы обработки", НИИМАШ, М., вып.5, 1968. 3
10. Долин П.А. Справочник по технике безопасности, 1973.
11. Залогов В.А. Исследование процесса электрохимической заточки инструментальных материалов. Диссертация, 1973. 4
12. Качер В.А. Материалы режущих инструментов, Харьков, 1970.
13. Коломиец В.В., Устинов В.М. Инструмент из синтетических алмазов с повышенной электропроводностью. Синтетические алмазы № 2, 1973.

14. Комягин В.Л., Романов В.Н. Установка для электрохимического шлифования отверстий в деталях из магнитных сплавов. "Электрофизические и электрохимические методы обработки" НИИМАШ, М., вып. 5-6, 1969.
15. Комягин В.А., Быкова Н.В. Электрохимическая размерная обработка литых постоянных магнитов. В сб. "Электрофизическая и электрохимическая чистовая размерная обработка труднообрабатываемых материалов", 1969.
16. Либовиц Г., Разрушение", М., 1973.
17. Лоладзе Т.Н., Бокучава Г.В. Износ алмазов и алмазных кругов. М., 1967. 5
18. Михайлуца Э.Б., Исследование электроэрозионного метода правки и режущей способности инструментов из сверхтвердых материалов на металлических связках. Диссертация.
19. Мордехай В.М. Электрохимическое шлифование плоскостей постоянных магнитов. "Станки и инструмент" № 2, 1967.
20. Мордехай В.М. Электрохимическое шлифование отверстий в постоянных магнитах. Сб. "Электрофизические и электрохимические методы обработки", НИИМАШ, М., вып. 5, 1968. 6
21. Наидеч Ю.В., Колесниченко Г.А. Исследование смачивания алмаза и графита жидкими металлами. "Порошковая металлургия" № 1, 1963.
22. Наидеч Ю.В., Колесниченко Г.А. Исследование смачивания алмаза и графита расплавленными металлами и сплавами. "Порошковая металлургия" № 3, 1964.
23. О механизме износа алмазных кругов. "Алмазы" № 6, 1970.
24. Охтенъ В.Д. и др. Оптимальные режимы электроалмазного шлифования магнитных сплавов. ЮНДК35Т5, Сб. "Наука и Производство", Новосибирск, 1968. 7
25. Охтенъ В.Д. Оптимальный режим электроалмазного шлифования магнитотвердых сплавов "Станки и инструмент" № 3, 1970.

6. Охтенъ В.Д., Обухов П.Н. Электроалмазное шлифование труднообрабатываемых материалов. Сб. "Электрофизическая и электрохимическая размерная обработка материалов", Запорожье, 1968.
7. Сагарда А.А., Человецкий И.Х., Мишнаевский Л.Л. Алмазно-абразивная обработка деталей машин, Киев, 1974. 8.
8. Семенов Ю.М., Артюхова А.А. Исследование металло-керамических связей алмазно-абразивного инструмента. Алмазно-абразивная обработка, Пермь, 1967.
9. Семко М.Ф., Узунян М.Д., Юфа Э.П. Экономическое обоснование выбора алмазного круга, Харьков, 1971. 9.
10. Серебренник Ю.Б., Курицин А.М. Износ алмазных и боразоновых кругов при плоском шлифовании. Алмазно-абразивная обработка, Пермь, 1967.
11. Серебренник Ю.Б., Вайнштейн Б.И. Теоретико-экспериментальные основы выбора связей брусков для алмазного хонингования.
12. Сердюк В.М. Исследование работоспособности алмазов различных марок при шлифовании твердых сплавов. Диссертация, 1973. 10.
13. Третьяков И.П., Карпов . Метод исследования напряженного состояния системы связка-зерно-обрабатываемый материал при динамических нагрузках. "Алмазы" № 10, 1972.
14. Seal Michael A review of methods of bonding or making electrical contacts to diamond
"Industrial Diamond Review" oktober 1969
15. The temperature of grinding wheel and workpiece
Manuf. Eng. 1972 23 N3
Экспресс информации "Режущие инструменты" 722 N 43