

БИБЛИОТЕЧКА  
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГА  
УЛЬТРАЗВУКОВИКА

Л. Я. ПОПИЛОВ

# ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ и УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА



М А Ш Г И З

---

БИБЛИОТЕЧКА ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГА И УЛЬТРАЗВУКОВИКА

---

ВЫПУСК 1

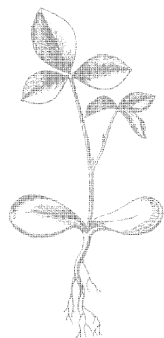
Л. Я. ПОПИЛОВ

# ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ И УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА

(СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ)



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
МОСКВА 1960 ЛЕНИНГРАД



Scan AAW

Библиотечка электротехнолога и ультразвуковика содержит сведения, касающиеся принципов и технологии основных методов электрической и ультразвуковой обработки, а также применяемого оборудования и приемов работы.

По сравнению с первым изданием Библиотечки настоящее издание значительно расширено, дополнено новыми данными и отражает современный научно-технический уровень электрической и ультразвуковой обработки материалов.

Перечень выпусков приводится в конце каждой брошюры.

Данный выпуск содержит систематизированные справочные сведения об основных операциях электрической и ультразвуковой обработки материалов и предназначен служить пособием для технологов в вопросах выбора наиболее рационального метода обработки для выполнения различных производственных операций.

Библиотечка рассчитана на технологов, мастеров и квалифицированных рабочих-электротехников и ультразвуковиков всех отраслей машиностроения.

Рецензент: Комитет электрообработки и ультразвука  
ЛЮ НТО Машпром

---

ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ МАШГИЗА

Редакция литературы по технологии машиностроения

Заведующий редакцией *инж. Е. П. Наумов*

## ВВЕДЕНИЕ

Э

лектрические, химико-механические и ультразвуковые методы обработки материалов получили за последние годы широкое распространение в промышленности.

Обширная литература, посвященная этим методам, содержит многочисленные примеры их успешного применения при обработке материалов высокой прочности

и твердости, труднообрабатываемых либо вовсе не поддающихся обычной механической обработке.

Известны также примеры их применения для изменения технических свойств поверхности металлических изделий с целью повышения износостойкости изделий, улучшения оптических свойств, коррозионной устойчивости, чистоты поверхности и. т. д.

В современных условиях упомянутые методы обработки уже не являются необычными, а переходят в категорию доступных каждому предприятию и применимых при решении многих технологических задач. Этому способствует начавшийся выпуск промышленного оборудования и выход в свет ряда директивных указаний о применении данных методов. Вместе с тем еще часто приходится наблюдать, что недостаточно полное знакомство технологов с возможностями и особенностями этих методов препятствует либо затрудняет их применение даже в таких случаях, когда для специалиста, знакомого с ними, эффективность их очевидна. Объясняется это тем, что в технической литературе по электрической ультразвуковой обработке совершенно отсутствуют пособия, охватывающие весь комплекс операций, выполняемых при помощи этих методов.

Данный выпуск Библиотечки электротехнолога и ультразвуковика существенно отличается от последующих и имеет целью дать технологу комплекс необходимых справочных данных для выбора метода электрической или ультразвуковой обработки, рационального для решения поставленной задачи.

Из справочных таблиц данного выпуска читатель получит данные, необходимые для выбора и технологической оценки применимости того или иного метода, а также общие сведения о сущности каждого из методов и его важнейших особенностях, что существенно облегчит усвоение материалов, изложенных в последующих выпусках данной серии. Табличная форма изложения обусловлена соображениями экономии места, облегчения получения нужной справки и необходимости так расположить материал, чтобы сделать удобным наглядное сопоставление различных методов для выполнения требующейся операции.

Учитывая, что эта работа является первой попыткой создания справочного пособия для электротехнологов, в ней возможны недостатки, за указания на которые автор заранее благодарен читателям.



---

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ, ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И УЛЬТРАЗВУКОВЫХ МЕТОДАХ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ



ассматриваемые ниже методы обработки материалов получили развитие и промышленное применение в течение последних 5—10 лет, в связи с чем являются еще относительно новыми для широкого круга производственников.

Объединение в одном разделе различных по своей физической природе методов — электрических, химико-механических и ультразвуковых — обусловлено тем, что их технологическое применение в большинстве случаев вызывается одними и теми же причинами, а цели и объекты их применения одинаковы.

### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

*Электрическими* называются методы обработки материалов, при которых разрушение либо удаление материала, его перенос, формоизменение или структурные преобразования происходят под действием электрической энергии, вводимой непосредственно в зону обработки без предварительных превращений в механическую или другие виды энергии.

Электрические способы обработки металлов разделяются на *электрохимические*, основанные на химическом действии электрического тока, и *электротермические*, основанные на тепловом действии электрического тока.

К первой группе относятся:

гальванопластика;

гальваностегия;

электрохимическое оксидирование и окрашивание;

катодное травление;

электрообезжиривание;  
катодное снятие окалины в расплавах;  
электрополирование;  
анодное травление;  
электрохимическое профилирование и заострение;  
электрохимическое шлифование и доводка;  
анодно-механическая притирка, доводка, полирование;  
анодно-механическое шлифование, долбление, чистовое шлифование, точение, профилирование, резка, обдирка;  
электрохимическое сверление, прошивка, сглаживание, профилирование.

Ко второй группе относятся:

нагрев токами промышленной, повышенной и высокой частоты для горячей обработки, плавки, пайки, сварки и т. п.;  
нагрев сопротивлением для любых целей;  
контактный электронагрев под закалку;  
все разновидности контактной электросварки;  
электромеханическое точение и сглаживание;  
электроконтактная резка, заточка, снятие окалины;  
электроконтактное упрочнение и наварка;  
виброконтактная наплавка;  
скоростное электрофрезерование;  
глубокое электроконтактное сверление;  
нагрев в электролитах для любых целей;  
электролегирование и электроцементация;  
конденсаторная сварка;  
электрогидравлический способ;  
электроискровая обработка;  
электроимпульсная обработка;  
электродуговая сварка, резка, плавка, очистка и т. п.

### **ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ**

*Химико-механическими* называются методы обработки материалов, при которых разрушение и удаление материала (соответственно его формоизменение) происходит без подвода электрической энергии, за счет химических либо электрохимических реакций в зоне обработки и сопутствующего им механического воздействия способствующего интенсификации процесса и удалению продуктов разрушения из зоны обработки.

Химико-механические методы обработки могут быть разделены на три группы, осуществляемые:

- 1) с применением поверхностно активных веществ;
- 2) с применением электролитов;
- 3) с применением химически активных сред.

Методы первой группы используются для притирки, чистовой доводки и шлифования любых металлов и сплавов; методы второй группы — для доводки, шлифования и разрезания твердых сплавов; методы третьей группы — для притирки и шлифования черных металлов и сплавов.

## УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

*Ультразвуковыми* называются методы обработки материалов или интенсификации технологических процессов, при которых обрабатываемая зона находится под воздействием упругих механических колебаний повышенной частоты (так называемых ультразвуковых, частотой свыше 16—20 кГц), способствующих ускорению протекающих процессов либо вызывающих технологически необходимые изменения обрабатываемого участка.

Ультразвуковые колебания применяются для следующих целей:

- 1) механической обработки твердых и сверхтвердых материалов (прошивка, долбление, сверление, разрезание, шлифование);
- 2) диспергирования и эмульгирования (получение эмульсий и суспензий, изготовление мельчайших порошков, предотвращение осаждения накипи, ускорение растворения твердых тел);
- 3) воздействия на металлургические процессы (измельчение зерна при кристаллизации расплавов металлов, дегазация расплавов, улучшение структуры при термообработке, получение сплавов несмешивающихся металлов);
- 4) удаления поверхностных пленок и загрязнений (обезжиривание поверхности, очистка от окалина и ржавчины, удаление различных поверхностных загрязнений, пайка алюминия и его сплавов);
- 5) соединения материалов (сварка металлов, сварка пластмасс, коагуляция аэрозолей);
- 6) воздействия на электрохимические процессы (интенсификация гальванических процессов, осаждение сложных сплавов, измельчение зерна при электроосаждении и т. п.).

## КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ

Методы электрической, химико-механической и ультразвуковой обработки могут сочетаться одновременно, образуя ряд *комбинированных методов*. К ним относятся следующие: электрохимико-механическая обработка; анодно-механическая с наложением ультразвуковых колебаний; электроискровая с наложением ультразвуковых колебаний и др.

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ, ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И УЛЬТРАЗВУКОВЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ

В табл. 1—5 приведены некоторые области применения этих методов и краткие технико-экономические характеристики их эффективности. К основным преимуществам этих методов относятся: независимость скорости, производительности, а также качества обработки от механических свойств обрабатываемых изделий; отсутствие надобности в специальных инструментах, более твердых, чем обрабатываемый объект; пригодность для выполнения ряда операций, не осуществимых механическими методами; несложность автоматизации, экономичность и т. д.



Т а б л и ц а 1

**Некоторые технологические операции, выполняемые с помощью электрических, химико-механических и ультразвуковых способов обработки**

№ п/п	Содержание операции	Наименование способа или операции	Номер фигуры прицельной схемы	Основные области или объекты применения	Состояние освоения	Эффективность и особенности операции
<b>Декоративная отделка металлических поверхностей</b>						
1	Полирование и глянцеование	Электрополирование	2,б и 2,в	<p>Детали и изделия сложной конфигурации; внутренние полости, изделия из драгоценных металлов, изделия массового производства из чистых, однородных металлов или сплавов, никелевые покрытия</p>	П	<p>Снижение трудоемкости, устранение физического труда, повышение производительности, улучшение качества изделий</p>
		Электрохимико-механическое полирование	—	<p>Плоские поверхности больших размеров, тела вращения и цилиндрические отверстия</p>	ПП	<p>Получение поверхности высокого качества, возможность механизации, сокращение стоимости</p>
2	Матирование	Электрохимическое оксидирование	2,б	<p>Преимущественно для алюминия и алюминиевых и магневых сплавов.</p>	П	<p>Несложность технологии и оборудования, низкая трудоемкость</p>
		Анодное травление	1,б	<p>Изделия из любых металлов и сплавов, преимущественно в массовом производстве</p>	П	<p>То же</p>
		Электроэрозионная обработка (шлифование, упрочнение)	17,б	<p>Изделия из любых металлов и сплавов</p>	Л	<p>Возможность нанесения заданной шероховатости на любые металлы и сплавы</p>
		Ультразвуковое шлифование в среде абразивной суспензии	—	<p>Изделия из любых материалов</p>	ПП	<p>Несложность технологии</p>

3	Окращивание	Анодная обработка	1,б	Изделия из некоторых металлов и сплавов для получения разнообразных окрасок, не осуществимых другими способами	ПП	Получение прочных окрашенных слоев высокого качества
<b>Затачивание режущего инструмента</b>						
4	Затачивание однолезвийного и многолезвийного инструмента	Электрохимическое придание конусности, заострение и изготовление игл	1,в и 1,г	Инструмент из углеродистых и легированных сталей при необходимости получения очень тонких лезвий (иглы, хирургический инструмент)	П	Экономия абразивов, повышение производительности, улучшение качества заточки
		Анодно-механическое затачивание	5,г	Преимущественно фасонный металл- и деревообрабатывающий инструмент, оснащенный металлокерамическими твердыми сплавами при использовании многоместных или автоматических станков высокой производительности	П	Экономия абразивов, высокое качество заточки
		Электроконтактное (электрохимическое) затачивание	10,б	Металло- и деревообрабатывающий инструмент, оснащенный твердыми сплавами; при отсутствии других способов затачивания либо на специализированных, высокопроизводительных станках	ПП	Экономия абразивов
		Электроискровое затачивание	16,г и 16,а			

№ п/п	Содержание операции	Наименование способа или операции	Номер фигуры принци- пальной схемы	Основные области или объекты применения	Состоя- ние освое- ния	Эффективность и особенности операции
<b>Извлечение сломанного инструмента и крепежа</b>						
5	Извлечение обломков инструмента и крепежа	Электронное (электроимпульсное) извлечение инструмента и крепежа  Электроконтактное извлечение	14,б	Во всех случаях поломки инструмента (метчиков, сверл, разверток и т. п.) или крепежа в любых металлических изделиях и деталях  То же; целесообразнее для более крупных и менее ответственных изделий	П  П	Уменьшение брака готовых изделий  То же
<b>Изменение свойств металлических поверхностей</b>						
6	Снижение коэффициента трения	Электрополирование  Электрохимико-механическое полирование	2,б  —	Изделия из чистых и однородных по структуре металлов и сплавов, способных приобретать высокую чистоту и блеск поверхности после электрополирования. Изделия, у которых потери (напора, мощности и т. д.) связаны с микрогеометрическими характеристиками поверхности; изделия специального назначения  Изделия из любых металлов и сплавов при условии соответствующей механизации процесса	П  Л	Получение высокого качества поверхности с заданными техническими свойствами. Снижение трудоемкости обработки, повышение производительности  Возможность обработки больших поверхностей

7	Повышение коэффициента трения	Анодное травление, анодное оксидирование  Электроэрозионная обработка (анодно-механическая, электроискровая и т. п.)	1,б  17,б	Изделия из любых металлов и сплавов при невысоких требованиях к сохранению точности размеров и формы  При необходимости получения грубой шероховатости на любых металлах и сплавах	ПП  ПП	Высокая производительность, несложное оборудование, пригодность для любых металлов  Возможность достижения заданной шероховатости на любых металлах и сплавах
8	Повышение коррозионной устойчивости	Электрополирование  Анодное оксидирование	2,б и 2,в  2,б	Изделия из металлов и сплавов, хорошо обрабатывающиеся электрополированием при необходимости временного повышения коррозионной стойкости, отдаления срока начала коррозии (на период хранения и т. п.)  Только для сплавов алюминия и магния	П  П	Значительное улучшение качества, снижение трудоемкости, несложность операции  Высокая производительность, технологическая несложность
9	Повышение коэффициента отражения света	Электрополирование  Электрохимико-механическое полирование	2,б	Изделия из металлов и сплавов, хорошо обрабатывающихся электрополированием при больших размерах и сложной форме поверхности  Изделия из любых металлов и сплавов, обработка которых механическим или электрохимическим полированием затруднена	П  Л	Значительное улучшение оптических характеристик поверхности  Возможность улучшения оптических свойств поверхности

№ п/п	Содержание операции	Наименование способа или операции	Номер фигуры принци- пиальной схемы	Основные области или объекты применения	Состоя- ние освое- ния	Эффективность и особенности операции
10	Снижение холо- дой эмиссии деталей электровакуумных приборов	Электрополирова- ние	2,б	Детали из металлов и спла- вов, у которых эмиссионные свойства зависят от микро- геометрии поверхности	ПП	Повышение качества изделий
11	Удаление наклепа и поверхностных на- пряжений	Электрополирова- ние Анодное травление  Нагрев в электро- лите	2,б 1,б 8,а и 8,б	Изделия из любых металлов и сплавов, обрабатывающихся электрополированием, и допу- скающие уменьшение размеров в результате обработки Изделия из любых металлов и сплавов, допускающие терми- ческое воздействие при условии сохранения размеров и формы	П  ПП	Повышение качества изделий  —
Нанесение поверхностных слоев или изменение структуры поверхности						
12	Покрывание разными металлами и сплава- ми, в том числе ме- талло-керамическими твердыми сплавами	Электронискровое упрочнение  Электроконтактное и электродуговое упрочнение или нане- сение металлов и сплавов	14,а и 17,б  17,б	В основном изделия из чер- ных металлов и сплавов при необходимости нанесения на них тонкого твердого слоя при невысоких требованиях к чи- стоте поверхности То же при возможности по- лучения более толстых слоев, поддающихся шлифованию, но при более глубоком термиче- ском влиянии на изделие	П  ПП	Возможность нанесе- ния упрочняющих слоев высокотвердых материа- лов при сохранении из- делий не разогретыми  Возможность нанесе- ния слоев большой тол- щины без заметного на- грева изделия

13	Покрытие различными металлами и металлическими сплавами	Виброконтактная наплавка	11,б	Изделия формы тел вращения из черных металлов и сплавов, требующие нанесения толстых прочных слоев без сильного разогрева массы изделия	ПП	Возможность наплавки твердых слоев на различные изделия при относительно небольшом нагреве массы изделия
14	Покрытие поверхности металлическими тугоплавкими соединениями либо неметаллами (оксидами, силикатами, нитридами, боридами)	Плазменное покрытие	—	Любые изделия, на поверхность которых требуется нанесение слоев тугоплавких металлов (молибдена, вольфрама и т.п.) либо слой неметаллов (оксидов, силикатов, карбидов, нитридов и т. п.)	ПП	Возможность создания защитных слоев высокой жаростойкости, не осуществимых другими способами. Возможность механизации процесса
15	Лужение алюминия, его сплавов и других легкоокисляющихся металлов	Ультразвуковое лужение	20,б	Детали и изделия из алюминия, его сплавов и других легкоокисляющихся материалов	П	Возможность лужения без применения флюсов, улучшение качества, ускорение процесса
16	Интенсификация процессов гальванических металлопокрытий и улучшение качества осадков	Ультразвуковая интенсификация гальванических процессов	19,в	Процессы никелирования, меднения, лужения, свинцевания и др.	ПП	Значительное ускорение процесса
Соединение материалов						
17	Сварка тонколистовых металлов	Ультразвуковая точечная сварка	21,а	Тонколистовые металлы любого состава, а также пластмассы	ПП	Возможность сварки без нагрева изделия, ускорение процесса, меньшее влияние состояния поверхности, возможность сварки неметаллов
		Ультразвуковая шовная сварка		То же	ПП	То же

№ п/п	Содержание операции	Наименование способа или операции	Номер фигуры принципиальной схемы	Основные области или объекты применения	Состояние освоения	Эффективность и особенности операции
18	Безокислительная пайка	Нагрев в электролите	9,а	Детали из металлов и сплавов, легко окисляющихся на воздухе при обычной твердой пайке	П	Несложность оборудования, повышение качества, снижение брака, большая скорость
19	Пайка легкоокисляющихся металлов	Ультразвуковая пайка	20,а	Детали и изделия из алюминия, алюминиевых сплавов и других легкоокисляющихся металлов и сплавов	П	Возможность пайки мягкими припоями без применения флюсов, снижение трудоемкости, улучшение качества пайки
20	Улучшение структуры сварного шва при электроконтактной сварке	Электроконтактная сварка с ультразвуком	21,а	Изделия, свариваемые электроконтактно	ПП	Улучшение качества сварного соединения и облегчение процесса сварки
21	Улучшение качества сварного шва при электрошлаковой сварке	Электрошлаковая сварка с ультразвуком	—	Изделия, свариваемые электрошлаковой сваркой	ПП	Улучшение структуры металла шва

Очистка металлических поверхностей и подготовка под последующие покрытия

22	Удаление прочно-сцепленной окалины со стали	Анодное травление	1,б	Крупные изделия и детали, которые могут быть по форме и размерам помещены в электролизную ванну при отсутствии дробеструйной или гидропескоструйной очистки; мелкие заготовки, изделия и детали в массовом производстве	П	Экономия абразивов, повышение производительности, улучшение качества очищенной поверхности
		Электрохимическая (электроконтактная) очистка	10,а	Крупные заготовки, детали, изделия, которые не могут быть очищены дробеструйным, гидропескоструйным, химическим или электрохимическим методами	П	Экономия абразивов, сокращение трудоемкости и стоимости в несколько раз, возможность автоматизации
		Катодное снятие окалины	2,а	Небольшие стальные изделия при необходимости сохранения размеров и формы, допускающие нагрев до 300—400°	ПП	Сохранение размеров обрабатываемых изделий при достижении требуемой чистоты поверхности
23	Удаление ржавчины, тонких окисных пленок	Анодное травление	1,б	Изделия и детали из любых металлов и сплавов	П	Снижение трудоемкости, повышение производительности
24	Очистка и обезжиривание поверхностей любых материалов от различных загрязнений, смазки, паст, масел, жиров и т. п.	Ультразвуковая очистка или мойка	19,а	Любые изделия и детали, загрязненные химически несвязанными пленками	П	Значительное ускорение, повышение качества очистки, возможность механизации
		Ультразвуковое обезжиривание	19,а	Любые изделия и детали, загрязненные жирами, маслами, пастами; часовые, оптические, приборные детали	П	Значительное ускорение обработки, замена дорогих растворителей, улучшение качества очистки, возможность механизации



№ п/п	Содержание операции	Наименование способа или операции	Номер фигуры принци- пиальной схемы	Основные области или объекты применения	Состоя- ние о. бое- ния	Эффективность и особенности операции
25	Очистка поверхно- стей металлов от продуктов коррозии	Анодное травление  Химическое или электрохимическое травление с наложе- нием ультразвука	1,б  —	Изделия и детали из любых металлов и сплавов  Детали и изделия с окали- ной или ржавчиной, удаляемой под действием химически агрес- сивных сред	П  ПП	Снижение трудоемко- сти, повышение произво- дительности  Интенсификация про- цесса травления, сокра- щение расхода кислот, лучшая очистка трудно- доступных участков
Получение полостей и отверстий различных форм и размеров в металлах						
26	Получение тонких (до 0,1—0,15 мм) от- верстий	Электроискровая (электроимпульсная) прошивка  То же	13,г  13,а и 14,а	Изделия и детали массового производства из твердых или вязких металлов и сплавов, механическая обработка кото- рых затруднительна  Изделия и детали из метал- лов и сплавов высокой твердо- сти в случаях, когда механиче- ская обработка затруднительна либо невозможна	П  П	Повышение производи- тельности, снижение бра- ка, экономия дефицитно- го инструмента, облегче- ние автоматизации  Невозможно либо за- труднительно выполнить механическими способами
27	Прошивка глухих и сквозных отвер- стий несложной фор- мы	Анодно-механиче- ское долбление  Электрохимическое сверление	6,а  3,а	То же	ПП  ПП	Снижение трудоемко- сти, возможность изго- товления штампов из за- каленных сталей и твер- дых сплавов  Высокая производи- тельность при обработке твердых материалов, не- сложное оборудование

	Электроконтактное сверление	11,а	То же при допущении невысокой чистоты и точности	П	То же
28	Изготовление узких и глубоких канавок в специальных сталях	13,г и 14,а	Любые изделия и детали из черных металлов и сплавов, в частности из специальных сталей	ПП	Операция невыполнимая механическими способами
29	Прошивка отверстий с криволинейной осью	17,г	Изделия и детали из любых материалов	ПП	То же
30	Изготовление сеток и прошивка большого числа отверстий в листовом материале	3,д	На тонких твердых материалах при невысоких требованиях к точности отверстий	ПП	Несложность технологии и оборудования, низкая трудоемкость и высокая производительность
		14,г	На материалах малой и средней толщины при затруднительности изготовить другими способами	П	Снижение трудоемкости в 5—10 раз, экономия инструмента, возможность автоматизации
		13,а и 14,а	Матрицы сложной формы; фигуры в твердых, закаленных заготовках при повторяемости не менее 2—5 шт. одинаковых; матрицы в твердых сплавах	ПП	Сокращение трудоемкости и стоимости в 1,5—2 раза, отмена операции термической обработки
31	Изготовление матриц штампов, в том числе твердосплавных	6,а	То же	ПП	Механически трудно осущестляемая либо невыполнимая операция. Сокращение трудоемкости, ускорение обработки, возможность механизации и автоматизации
		18,а и 18,б	Изделия и детали из твердых и сверхтвердых материалов, металлургические и неметаллические	П	

№ п/п	Содержание операции	Наименование способа операции	Номер фигуры принци- пиальной схемы	Основные области или объекты применения	Состоя- ние освое- ния	Эффективность и особенности операции
32	Сверление, про- шивка, долбление отверстий и поло- стей в твердых и сверхтвердых мате- риалах	Ультразвуковая прошивка (сверление, долбление)	18,а и 18,б	Изделия и детали из твер- дых и сверхтвердых материа- лов, металлические и неметал- лические	П	Механически трудно- осуществимая либо не- выполнимая операция. Сокращение трудоемко- сти, ускорение, возмож- ность механизации и ав- томатизации
Разрезание, отрезка и вырезка						
33	Прямолнейная резка металлических изделий и заготовок	Анодно-механиче- ская резка диском или лентой	5,б	Заготовки, детали и изделия повышенной и высокой твердо- сти, а также мягкие и при от- сутствии других способов раз- резания. Дорогие материалы для экономии на сокращении отходов	П	Экономия металла вследствие малой шири- ны реза. Сокращение тру- доемкости при больших сечениях и труднообра- батываемых металлах и сплавах. Сокращение расхода на инструмент
		Электронскровая резка	15,б	То же	ПП	Сокращение затрат на инструмент. Воз- можность резки ме- таллов и сплавов вы- сокой твердости
		Электроконтактная резка	12,а	То же, но при допустимости более глубоких структурных изменений из-за нагрева при резке	ПП	
		Химико-механиче- ское разрезание	4,з	Для пластинок твердых спла- вов	ПП	
		Ультразвуковое разрезание	18,а и 18,б	Изделия высокой и сверхвы- сокой твердости, хрупкие, при отсутствии других способов	П	Механически трудно осуществимо, либо невы- полнимо. Ускорение про- цесса, снижение трудо- емкости. Возможность механизации

34	Вырезка по контуру плоских фигурных деталей	Анодно-механическая резка ленточной пилой  Электронскровая вырезка Ультразвуковая вырезка	5,6  15,6 и 14,а 18,а и 18,б	Изделия повышенной и высокой твердости крупных размеров, а также изделия из материалов обычной или низкой твердости при отсутствии других способов вырезки  То же	ПП  ПП	Возможность изготовления деталей сложных конфигураций из твердых металлов и сплавов. Снижение трудоемкости и повышение производительности
35	Вырезка объемных фигурных изделий. Изготовление сложного профиля методом обкатки (валки, копии и т. п.).	Скоростное электроэрозионное фрезерование  Электромеханическое точение  Анодно-механическое профилирование Электрохимическое профилирование Электроимпульсная обработка	11,6  7,8  3,б и 3,2	Изделия и детали сложных форм из металлов и сплавов повышенной и высокой твердости или вязкости  Изделия и детали из сталей высокой и обычной твердости при необходимости несколько повысить чистоту поверхности в процессе токарной обработки. Изделия из твердых сплавов или сталей высокой твердости  Изделия из любых металлов и сплавов То же	Л  ПП  Л Л П	Возможность изготовления сложных конфигураций из твердых металлов и сплавов. Снижение трудоемкости и повышение производительности То же  " " " " Снижение трудоемкости в несколько раз, автоматизация процесса обработки

№ п/п	Содержание операции	Наименование способа или операции	Номер фигуры применя- емой схемы	Основные области или объекты применения	Состоя- ние освое- ния	Эффективность и особенности операции
36	Прорезка прямо- линейных шлицев, пазов, канавок	Электроискровая прошивка	13,а и 15,а	Изделия из металлов и спла- вов повышенной и высокой твердости	П	Снижение трудоемко- сти в два-три раза, эко- номия инструмента, воз- можность автоматизации
		Анодно-механиче- ское резание или долбление	5,б	То же при повышенных требо- ваниях к чистоте поверхно- сти	П	Возможность обрабо- тки твердых и сверхтвер- дых металлов и сплавов. Экономия инструмента
		Скоростное электрофрезерование	10,2	То же при невысоких требо- ваниях к чистоте поверхности	ПП	Высокая производи- тельность, экономия аб- разивов и инструмента
		Ультразвуковая прорезка	18,а и 18,б			
37	Прорезка криво- линейных пазов и канавок	Электроискровая прошивка	18,а, 18,б и 15,б	Изделия из любых металлов и сплавов, в которых проведе- ние прорезки обычными спосо- бами затруднительно либо не- возможно	П	Механическими спосо- бами выполнить опера- цию трудно либо невоз- можно
38	Разрезание твер- дых и сверхтвердых материалов	Ультразвуковое разрезание	18,а и 18,б	Изделия из твердых и сверх- твердых материалов, полупро- водники, стекло, кварц, кера- мика, и т. п.	П	Механически трудно либо невозможно выпол- нить. Значительное по- вышение производитель- ности. Возможность ме- ханизации и автоматиза- ции

Резьбовые работы					
39	Нарезание резьбы наружной и внутренней	Электронское нарезание резьбы Анодно-механическое нарезание резьбы	— 7,8	Изделия из твердых сплавов или закаленной стали То же при повышенных требованиях к чистоте поверхности и точности резьбы	ПП ПП Возможность нарезания резьбы на деталях из твердых сплавов То же
Роспись по металлу					
40	Роспись или гравирование по металлу	Электронское гравирование или печатание Электрохимическое гравирование	13,6, 13,8 и 13,2 3,8	Детали и изделия из металлов и сплавов повышенной и высокой твердости; для специальных и художественных и полиграфических целей Любые металлы и сплавы	ПП ПП Нанесение рельефа на поверхности высокой твердости, возможность автоматизации
41	Клеймение	Электронское клеймение	13,а и 13,2	Металлы и сплавы высокой твердости	П Увеличение производительности в несколько раз, возможность автоматизации
Термическая обработка металлических изделий					
42	Поверхностная или сквозная закалка	Нагрев в электролитах Ультразвуковая закалка	8,6, 8,8, 8,2, 9,а	Преимущественно детали и изделия массового производства из черных металлов и сплавов	П Несложность оборудования, высокая производительность, сохранение неокисленной поверхности, большая скорость нагрева

№ п/п	Содержание операции	Наименование способа или операции	Номер фигуры принци- пальной схемы	Основные области или объекты применения	Состоя- ние освое- ния	Эффективность и особенности операции
43	Сквозной нагрев для горячей обра- ботки давлением	Нагрев в электро- литах	9,а, 8,в, 8,б, 9,б	Преимущественно заготовки из черных металлов и сплавов в условиях массового произ- водства	П	То же
44	Безокислительная пайка	Нагрев в электро- лите	9,в	Детали из металлов или сплавов, легкоокисляющихся на воздухе при обычной твердой пайке	П	То же
45	Химико-термиче- ская обработка	Нагрев в электро- лите  Ультразвуковая цементация  Ультразвуковая ин- тенсификация термо- химических процессов	8,б, 8,в 9,а   —	Детали из черных металлов и сплавов для ускорения про- цесса и упрощения технологии  Изделия и детали из черных металлов и сплавов, подлежа- щие цементации  Изделия и детали из черных металлов и сплавов, подвергаю- щиеся термохимической обра- ботке	ПП  ПП  ПП	То же  Увеличение глубины диффузионного слоя. Со- кращение длительности процесса  Повышение твердости и глубины термохимиче- ских изменений

46	Ускорение процессов термической обработки металлов	Термическая обработка с ультразвуком	—	Различные металлы и сплавы, изменяющие свои свойства и структуру в результате полиморфных превращений, дисперсионного твердения и т. п.	ПП	Ускорение температурных превращений, измельчение зерна, ускорение процессов дисперсионного твердения
Чистовая и сверхчистовая обработка						
47	Доводка	Анодно-механическая доводка или отделочное шлифование	6,2 6,6, 7,а	Плоские и круглые изделия из твердых сплавов или закаленной стали	П	Сокращение трудоемкости, возможность автоматизации, получение высокой чистоты поверхности
		Электрохимико-механическая доводка		То же	ПП	Экономия абразивов, возможность механизации, получение высокой чистоты поверхности
		Химико-механическая доводка	4,6 и 4,8	Изделия из твердых металл-керамических сплавов	П	Отсутствие необходимости в источнике тока. Экономия абразивов. Повышение качества поверхности
48	Доводка инструмента, волоочильных глазков и прокатных твердоплавных валков	Анодно-механическая доводка	5,2 6,6, 7,а	Инструмент, оснащенный твердыми сплавами, валки и волоочильные глазки из твердых сплавов	П	Облегчение обработки твердосплавного инструмента, достижение более высокого качества, чем при механической обработке



№ п/п	Содержание операции	Изменение способа или операции	Номер фигуры прици- пальной схемы	Основные области или объекты применения	Состоя- ние освое- ния	Эффективность и особенности операции
49	Доводка калибров	Электрохимическая доводка	3,2	Стальные цилиндрические гладкие калибры	Л	Снижение трудоёмко- сти
Ш л и ф о в а н и е						
50	Шлифование чер- новое, плоское и круглое, наружное и внутреннее	Апдно-механиче- ское черговое шли- фование	6,8, 6,2, 7,4	Преимущественно изделия и инструмент из твердых сплавов или сплавов повышенной твер- дости	П	Экономия абразивов, возможность шлифова- ния твердых и магнит- ных сплавов
		Электронскровое шлифование	16,2 и 17,8	То же	П	
		Электроконтактное шлифование	10,4	.	ПП	То же
		Скоростное элек- троэрозийное шли- фование	10,2	.	Л	.
		Электрохимическое шлифование	3,6	Изделия и детали из одно- родных (по структуре) метал- лов и сплавов при повышенных требованиях к чистоте поверх- ности	ПП	Экономия абразивов, улучшение качества по- верхности по сравнению с механическим шлифо- ванием. Высокая произ- водительность, неслож- ность оборудования и технологии
		Электроконтактное сглаживание	11,2	Изделия из черных сплавов	ПП	Повышение производи- тельности и улучшение качества поверхности

51	Шлифование чистовое, плоское и круглое	Анодно-механическое чистовое шлифование Электроискровое шлифование Химико-механическое шлифование Электрохимическое шлифование	6,2, 6,6, 7,а 16,2 и 17,а 4,б	Преимущественно изделия из твердых сплавов или сплавов повышенной твердости То же, при менее высоких требованиях к чистоте поверхности	П ПП П Л	То же — Получение высокой чистоты поверхности на твердых сплавах Снижение трудоемкости и повышение производительности. Несложность технологии и оборудования
52	Внутреннее притирочное шлифование	Анодно-механическое притирочное шлифование	7,б	Детали и изделия из твердых сплавов повышенной твердости	ПП	Сокращение трудоемкости, возможность автоматизации
53	Сошлифование изношенных матриц штампов при их восстановлении	Электроискровое шлифование Анодно-механическое шлифование	17,а с,2 7,а 6,б	Изношенные закаленные материалы штампов без отжига их для смягчения То же	П ПП	Сокращение трудоемкости и стоимости в полтора — три раза. Отмена операции термической обработки Сокращение трудоемкости. Отмена термической обработки
54	Опиловка шаров для подшипников	Электроконтактная опиловка	12,б	Закаленные стальные шары шарикоподшипников	П	Сокращение трудоемкости и стоимости в несколько раз
55	Обдирка слитков	Электроконтактная обдирка	12,в	Слитки из различных, в том числе специальных сталей	ПП	Экономия инструмента, сокращение трудоемкости в несколько раз

П р и м е ч а н и е. П — освоено промышленностью; ПП — опробовано в полупроизводственном масштабе; Л — проверено в лаборатории.

# Энергетические характеристики операций

Наименование операции	Метод	Рекомендуемый род технологического тока	Полярность изделия	Напряжение в в	
				холодное	рабочее
Глянцевание никелевых покрытий . . .	ЭХ	=	+	15—20	10—12
Долбление полостей и отверстий . . .	АМ	=	+	24—36	19—25
Доводка стальных изделий . . . . .	АМ	=	+	12—24	10—20
Доводка твердосплавных изделий . . .	АМ	=	+	12—24	10—15
То же . . . . .	ХМ			—	—
Заострение лезвий . . . . .	ЭХ	=	+	12—18	5—12
Затачивание твердосплавного инструмента черновое . . . . .	АМ	=	+	20—24	18—22
Затачивание твердосплавного инструмента чистовое . . . . .	АМ	=	+	20—24	10—15
Затачивание инструмента $\frac{\text{черновое}}{\text{чистовое}}$ .	ЭК	~		$\frac{12}{2}$	$\frac{10-11}{1,5-1,8}$
Затачивание инструмента $\frac{\text{черновое}}{\text{низковольтное}}$ . . . . .	ЭИС	=	+	$\frac{30}{250}$	$\frac{24}{220}$
Затачивание инструмента $\frac{\text{чистовое}}{\text{высоковольтное}}$ . . . . .				15—18	12—15
Затачивание инструмента чистовое . .	ЭИС	=	+	15—18	12—15
Закалка стальных изделий . . . . .	НЭ	=	—	250—300	250—300
Изготовление матриц штампов . . . .	ЭИС	=	+	150—220	100—170
То же . . . . .	АМ	=	+	24—36	19—25
Изготовление стружколомов . . . . .	ЭИС	=	+		
Извлечение сломанного инструмента .	ЭИМ	=	—		
То же . . . . .	ЭИС	=	+		
„ „ . . . . .	ЭК	~	+		
Клеймение и маркирование . . . . .	ЭИС	=			30—50
То же . . . . .	ЭХ	=	+		
Наплавка твердых сплавов . . . . .	ВК	~			

Таблица 2

## электрической обработки металлов

Плотность тока на изделии		Удельный расход энергии		Форма импульсов	Длительность импульсов	Скважность импульсов	Метод генерирования импульсов	Тип генератора по табл. 5	Система генератора или преобразователя по табл. 5
единица измерения	показатель	единица измерения	показатель						
$a/\partial \text{м}^2$	30—40	$\text{квт} \cdot \text{ч}/\text{кг}$ $\text{квт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$	10—15 0,01—0,05	Н	—	—	—		3,5
$a/\text{см}^2$	5—15	$\text{квт} \cdot \text{ч}/\text{кг}$	2—3	У	М, СР	М, СР	МХ	ЗГ	3,6
$a/\text{см}^2$	05—01	$\text{квт} \cdot \text{ч}/\text{кг}$	3—6	У	М, СР	М, СР	МХ	ЗГ	3,5
$a/\text{см}^2$	1—2	$\text{квт} \cdot \text{ч}/\text{кг}$	10—15	У	М, СР	М, СР	МХ	ЗГ	3,5
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$a/\partial \text{м}^2$	10—40	$\text{квт} \cdot \text{ч}/\text{кг}$	10—25	Н	—	—	—	—	3,5
$a/\text{см}^2$	15—25	$\text{квт} \cdot \text{ч}/\text{кг}$	3—5	У	М, СР	М, СР	МХ	ЗГ	3,6
$a/\text{см}^2$	1—2	$\text{квт} \cdot \text{ч}/\text{кг}$	10—15	У	М, СР	М, СР	МХ	ЗГ	3,5
$a/\text{мм}^2$	0,5—0,6 0,05—0,06	$\text{квт} \cdot \text{ч}/\text{кг}$	$\frac{5-6}{4-5}$	СЗ	Б	М	МХ	ЗГ, НЗ	2
$a/\text{см}^2$	4—6	$\text{квт} \cdot \text{ч}/\text{кг}$	$\frac{16}{50}$	НС	М, СР	Б	Э	ЗГ	3,5 7 (+10)
		$\text{квт} \cdot \text{ч}/\text{кг}$	24	НС	М, СР	Б	Э	ЗГ	3,5 (+10)
		—	—	Н	—	—	—	—	3,7
$a/\text{см}^2$	4—6	$\text{квт} \cdot \text{ч}/\text{кг}$	20—40	НС	М, СР	Б	Э	ЗГ	3,7 (+10)
$a/\text{см}^2$	5—15	$\text{квт} \cdot \text{ч}/\text{кг}$	2—3	У	М, СР	М, СР	МХ	ЗГ	3,6
$a/\text{см}^2$	5—15	$\text{квт} \cdot \text{ч}/\text{кг}$	2—3	У	СР, Б	СР, М	Э	НЗ	8, 9, 11, 12
				НС	М, СР	Б	Э	ЗГ	3,7 (+10)
				СЗ	Б	М	МХ	ЗГ, НЗ	2
				НС	М, СР	Б	Э	ЗГ	3,7 (+10)
				Н	—	—	—	—	3,5
$a/\text{см}^2$	5—15	$\text{квт} \cdot \text{ч}/\text{кг}$	2—3	СЗ	Б	М	МХ	ЗГ, НЗ	3, 5, 6 (+2)

Наименование операции	Метод	Рекомендуемый род технологического тока	Полярность изделия	Напряжение в в	
				холостое	рабочее
Наплавка упрочняющая . . . . .	ЭК	~			
Наплавка сверхтвердых сплавов . . . .	ПЛ	~			
Обезжиривание . . . . .	ЭХ	=	+		
Очистка поверхностей анодная . . . .	ЭХ	=	+		3 - 5
Обкатка стальных шаров . . . . .	ЭК	~			6—25
Обдирка стальных слитков и заготовок	ЭК	~			
Оксидирование легких сплавов . . . .	ЭХ	=	+		
Прошивка тонких отверстий . . . . .	ЭИС	=	+		
Прошивка отверстий в черных металлах	ЭИС	=	+	100—220	160—70
Прошивка отверстий в твердых сплавах	ЭИС	=	+		
Прошивка отверстий в черных металлах	ЭИМ	=	—		
Прошивка отверстий в твердых сплавах	ЭИМ	=	—		
Профилирование объемное . . . . .	ЭХ	=	+		
То же . . . . .	АМ	=	+	20—24	20
Покрытие поверхностей металлами . .	ЭИС	=		30—150	20—120
Пайка твердая и мягкая . . . . .	НЗ	=	—	250—350	200—300
Полирование декоративное черных металлов . . . . .	ЭХ	=	+	15—24	12—14
Полирование декоративное цветных металлов . . . . .	ЭХ	=	+	$\frac{6-12}{12-18}$	$\frac{1,7-2}{5-7}$
Полирование черных металлов . . . .	ЭХМ	=	+		6—12
Полирование стального инструмента . .	ЭХ	=	+	12—24	10—15
Прошивка отверстий в стали . . . . .	ЭК	~		24—35	20—30
Прошивка отверстий . . . . .	ЭХ	=		24—60	15—30

Плотность тока на изделии		Удельный расход энергии		Форма импульсов	Длительность импульсов	Скважность импульсов	Метод генерирования импульсов	Тип генератора по табл. 5	Система генератора или преобразователя по табл. 5
единица измерения	показатель	единица измерения	показатель						
									2
									3,6
				Н	—	—	—	—	3,5
		квт-ч/дм <sup>2</sup>	0,005—0,01	Н	—	—	—	—	3,5
		квт-ч/кг	10	СЗ	Б	М	МХ	ЗГ, НЗ	2
		квт-ч/см <sup>3</sup>	0,02	СЗ	Б	М	МХ	ЗГ, НЗ	2
				Н	—	—	—	—	3,6
				НС	М, СР	Б	Э	ЗГ	3,7 (+10)
		квт-ч/кг	14—71	НС	М, СР	Б	Э	ЗГ	3,7 (+10)
		квт-ч/см <sup>3</sup>	0,4						
		квт-ч/см <sup>3</sup>	0,4	НС	М, СР	Б	Э	ЗГ	3,7 (+10)
		квт-ч/см <sup>3</sup>	0,08—0,10	У	СР, Б	СР, М	Э	НЗ	3, 9, 11, 12
				У	СР, Б	СР, М	Э	НЗ	8, 9, 11, 12
				Н	—	—	—	—	3,5
a/см <sup>2</sup>	8—150	квт-ч/кг	10—20	У	М, СР	М, СР	МХ	ЗГ	3,6
				НС	М, СР	Б	Э	ЗГ	3,5 (+10)
				Н	—	—	—	—	3,7
a/дм <sup>2</sup>	40—60	квт-ч/кг	10—30	Н	—	—	—	—	3,5
		квт-ч/дм <sup>2</sup>	0,01—0,1						
a/дм <sup>2</sup>	2—10	квт-ч/кг	5—20	Н	—	—	—	—	3,5
		квт-ч/дм <sup>2</sup>	0,01—0,1						
				Н	—	—	—	—	3,5
a/дм <sup>2</sup>	45—50	квт-ч/кг	8—25	Н	—	—	—	—	3,5
a/мм <sup>2</sup>	0,6—0,8			СЗ	Б	М	МХ	ЗГ, НЗ	2
a/см <sup>2</sup>	100—150			Н	—	—	—	—	3,5

Наименование операции	Метод	Рекомендуемый род технологического тока	Полярность изделия	Напряжение в в	
				холостое	рабочее
Разрезка стальных заготовок и изделий	АМ	=	+	24—60	24—32
Разрезка твердых сплавов . . . . .	АМ	=	+	36—65	25—30
Разрезка стальных и твердосплавных изделий . . . . .	ЭИС	=	+	100—200	60—150
Разрезка стальных изделий . . . . .	ЭК	~		8—12	7—10
Сглаживание стальных изделий . . . . .	ЭК	~		0,2—1,2	0,1—1
Снятие заусениц и грата . . . . .	ЭХ	=	+	12—24	11—13
Точение . . . . .	ЭК	~			$\frac{0,1-1}{2-3}$
Точение фасонное . . . . .	АМ	=	+	12—36	8—24
Упрочнение инструмента . . . . .	ЭИС	=	—	30—120	25—100
Удаление окалины с черных металлов .	КР	=	—	12—24	6—18
То же . . . . .	ЭХ	=	+	10—25	6—15
„ . . . . .	ЭК	~		$\frac{16-18}{8-12}$	$\frac{14-15}{7-9}$
Шлифование отделочное . . . . .	АМ	=	+	6—24	4—5
„ притирочное . . . . .	АМ	=	+	12—24	10—20
„ чистовое . . . . .	АМ	=	+	18—20	14—16
„ черновое . . . . .	АМ	=	+	20—24	16—20
„ чистовое . . . . .	ЭИС	=	+		
„ черновое . . . . .	ЭИС	=	+		
„ черновое . . . . .	ЭК	~		2—12	1,5—10

Примечание. Форма импульсов: Н — непрерывный ток; У — униполярные импульсы; М — малая длительность ( $<10^{-4}$  сек.) или скважность ( $q = 1-2$ ); СР — средняя длительность скважность ( $q > 10$ ); МХ — механический метод генерирования импульсов; Э — электрический метод гене

Плотность тока на изделии		Удельный расход энергии		Форма импульсов	Длительность импульсов	Сквозность импульсов	Метод генерирования импульсов	Тип генератора по табл. 5	Система генератора или преобразователя по табл. 5
единица измерения	показатель	единица измерения	показатель						
$a/см^2$	75—500	$квт-ч/кг$	3—5	У	М, СР	М, СР	МХ	ЗГ	3,6
		$квт-ч/см^3$	0,04—0,06						
$a/см^2$	160—200			У	М, СР	М, СР	МХ	ЗГ	3,6
				НС	М, СР	Б	Э	ЗГ	3,7 (+10)
$a/мм^2$	10—15	$квт-ч/кг$	4—5	СЗ	Б	М	МХ	ЗГ, НЗ	2
				СЗ	Б	М	МХ	ЗГ, НЗ	2
$a/дм^2$	$\frac{5-10}{50-70}$	$квт-ч/кг$	10—30	Н	—	—	—	—	3,5
				СЗ	Б	М	МХ	ЗГ, НЗ	2
				У	М, СР	М, СР	МХ	ЗГ	3,5
		$квт-ч/1000$	12—16						
				Н	—	—	—	—	3,5
				Н	—	—	—	—	3,5
$a/мм^2$	$\frac{35-100}{5-40}$	$квт-ч/м^2$	$\frac{1,8-2,1}{0,8-1,3}$	СЗ	Б	М	МХ	ЗГ, НЗ	2
$a/см^2$	0,5—1,2	$квт-ч/кг$	3—6	У	М, СР	М, СР	МХ	ЗГ	3,5
$a/см^2$	0,5—1		8—15	У	М, СР	М, СР	МХ	ЗГ	3,5
$a/см^2$	3—7		15—25	У	М, СР	М, СР	МХ	ЗГ	3,5
$a/см^2$	8—15		10—20	У	М, СР	М, СР	МХ	ЗГ	3, 5, 6
				НС	М, СР	Б	Э	ЗГ	3,7 (+10)
				НС	М, СР	Б	Э	ЗГ	3,7 (+10)
$a/мм^2$	0,05—0,5	$квт-ч/кг$	4—6	СЗ	Б	М	МХ	ЗГ, НЗ	2

СЗ — симметричные импульсы знакопеременные; НС — несимметричные знакопеременные импульсы; (10<sup>-3</sup>—10<sup>-4</sup> сек.) или сквозность ( $q = 2-10$ ); Б — большая длительность (10<sup>-2</sup>—10<sup>-3</sup> сек.) или рирования импульсов; ЗГ — зависимый генератор импульсов; НЗ — независимый генератор импульсов.



# Оборудование для электри

Наименование операции	Метод	Оборудование		Инструмент или		
		№ по табл. 4	тип, модель, марка	форма	материал	
Глянцевание никелевых покрытий	ЭХ	1, 2	Любая гальваническая ванна	Катодные пластины	Никель, свинец, графит	
Долбление полостей и отверстий	АМ	19, 7	АМД	Электрод негативной формы	Медь	
Доводка стальных изделий	АМ	38		Диск	Медь, сталь, чугун	
Доводка твердосплавных изделий	АМ	38	АМОМ-1	.	То же	
Доводка твердосплавных изделий	ХМ	38		.		
Заострение лезвий	ЭХ	2	Любая гальваническая ванна (полуавтомат ВНИИМИО)	Катодные пластины	Сталь, свинец	
Затачивание твердосплавного инструмента черновое	АМ	32	4352; 4362; К-1; АМЗ-Р; АМЗ-23; АМЗ-Л; АФМЗ-62	Диск	Сталь, чугун, медь	
Затачивание твердосплавного инструмента чистовое	АМ	32	4352; 4362; К-1; АМЗ-Р; АМЗ-23; АМЗ-Л; НФМЗ-62	То же	То же	
Затачивание инструмента: черновое	ЭК	32	ЛЛ-2	.	Медь, сталь, чугун	
Затачивание инструмента чистовое	ЭИС	32	Л-37	.	То же	
Затачивание инструмента черновое	ЭИС	32	Л-37	.	Медь, сталь, чугун	
Затачивание инструмента чистовое	ЭИС	32	Л-37	.	Медь, сталь, чугун	
Закалка стальных изделий	НЭ	5, 6	Серийные полуавтоматы АЭ универсальные и специализированные	Анодные пластины	Сталь	

Таблица 3

## ческой обработки металлов

противозлектрод		Технологическая оснастка	Технологические характеристики			
скорость перемеще- ния в м/сек	износ в %		чистота обработки (класс по ГОСТ)	точность	съем металла	
					единица измерения	показатель
0,0	0,0	Подвески для из- делий	8—10		мк/мин	3—12
15—50 ударов/сек.	5—15	Крепежно-устано- вочная	4—6	2—4	$\frac{\text{мм}^3/\text{мин}}{\text{см}^2}$	50—250
0,5—1,0	0—1	То же	8—10		мм/мин	0,5—2,5
0,5—1,0	0—1	“ “	7—9	По точ- ности станка	$\frac{\text{мм}^3/\text{мин}}{\text{см}^2}$	1—3
		“ “	8—11		1—2	мм/мин
					мм <sup>3</sup> /мин	10—30
0,0	0,0	Подвески для из- делий	5—9	2—3	мк/мин	1—5
12—20	15—20	Крепежно-устано- вочная	4—6		$\frac{\text{мм}^3/\text{мин}}{\text{см}^2}$	120—200
					мм/мин	1—1,5
12—20	2—4	То же	7—9	По точ- ности станка	$\frac{\text{мм}^3/\text{мин}}{\text{см}^2}$	1—3
						мм/мин
30—40		“ “	2—3		мм <sup>3</sup> /мин	400—500
		“ “	7—8		мм <sup>3</sup> /мин	20—40
1—2		“ “	5		мм <sup>3</sup> /мин	130
1—2		“ “	8		мм <sup>3</sup> /мин	0,8
0,0	0,0	Зажимы или подвески для изделий				

Наименование операции	Метод	Оборудование		Инструмент или	
		№ по табл. 4	тип, модель, марка	форма	материал
Изготовление матриц штампов	ЭИС	7	Л-18; Л-44; 4722; Л-65	Электрод негативной формы	Медь, углеграфит, чугун, латуни, сплавы алюминия
То же	АМ	19, 7	АМД	То же	Медь, чугун
Изготовление стружколомов	ЭИС	35	4382		Медь
Извлечение сломанного инструмента	ЭИМ	31, 7, 8	4611		Медь, латунь
То же	ЭИС	31, 7, 8	Л-47	Стержень, пластина, трубка	Медь, латунь
• •	ЭК	31, 41		Стержень или трубка	Медь, латунь
Клеймение и маркирование	ЭИС	37, 7, 8	ЧКЗ	Электрод — негатив изображения	Латунь, медь
То же	ЭХ	36, 1, 2		Катодные пластины	
Наплавка твердых сплавов	ВК	43	КУМ-5	Стержень, проволока	Из наносимого металла
Наплавка упрочняющая	ЭК	44	Стандартные машины для электроконтактной сварки	Лист, лента, проволока	Из наносимого металла
Наплавка сверхтвердых сплавов	ПЛ	45		Стержень, проволока	Из наносимого металла
Обезжиривание	ЭХ	1,2		Катодные или анодные пластины	Сталь
Очистка поверхностей анодная	ЭХ	1,2	Любые гальванические ванны	Катодные пластины	Свинец, кислотупорная сталь

противоэлектрод		Технологическая оснастка	Технологические характеристики			
скорость перемеще- ния <i>м/сек</i>	износ в %		чистота обработки (класс по ГОСТ)	точность	съем металла	
					единица измерения	показатель
15—20 ходов/сек.	5—25	Крепежно-устано- вочная	3—4	3	<i>мм³/мин</i>	70—300
	5—15	То же	4—6		<i>мм³/мин</i> <i>см²</i>	50—250
		" "	7—8		<i>мм/мин</i>	0,5—2,5
		" "				
		" "				
Вибра- ция	5—30	" "	4—6		<i>мм³/мин</i>	1—4
		" "	4—7			
		" "	1			
		" "	1—2			
		" "	1—2			
		Подвески для изделий				
	То же	2—3		<i>мк/мин</i>	1—5	

Наименование операции	Метод	Оборудование		Инструмент или	
		№ по табл. 4	тип, модель, марка	форма	материал
Обкатка стальных шаров	ЭК	46	МШ-32ЭМ	Диски обкатные	Чугун
Обдирка стальных слитков и заготовок	ЭК	30	АЭТ-1	Диск	Медь, сталь, чугун
Оксидирование легких сплавов	ЭХ	1,2	.	Катодные пластины	
Прошивка тонких отверстий	ЭИС	33, 34	ЭП5М; Л-38; Л-14; Л-3Л; Л-20; Л-34	Проволока или стержень	Латунь
Прошивка отверстий в черных металлах	ЭИС	7, 8	4Б721; Л-18; Л-44; 4722; ПУ-4; Л-48; Л-57; ЭЛ-12; Л-65	Электрод—негатив формы отверстия	Медь, латунь, углерод-фит
Прошивка отверстий в твердых сплавах	ЭИС	7, 8	4Б721; Л-18; Л-44; 4722; ПУ-4; Л-48; Л-57; ЭЛ-12; Л-65	То же	Медь, латунь
Прошивка отверстий в черных металлах	ЭИМ	7, 8	4Б721; 4А722; 473; 4А723; 4П24М; ЭИП-4724; ЭПШ-2	„ „	Углерод-фит, алюминиевые сплавы, чугун
Прошивка отверстий в твердых сплавах	ЭИМ	7, 8		„ „	Углерод-фит, алюминиевые сплавы
Профилирование объемное	ЭХ	39		Катодные профильные пластины	Латунь, медь, свинец, сталь
То же	АМ	40		Шаблон плоский по сечению изделий	Медь, латунь, сталь
Покрытие поверхностей металлами	ЭИС	20	КЭИ-1; УПР-3М	Стержень или проволока	Из наносимого металла
Пайка твердая и мягкая	НЭ	4, 5, 6	Полуавтоматы серии АЭ	Анодные пластины	Сталь
Полирование декоративное черных металлов	ЭХ	1, 2	Любая гальваническая ванна	Катодные пластины	Свинец, кислотоупорная сталь
Полирование декоративное цветных металлов	ЭХ	1, 2	То же	То же	Свинец, латунь

противоэлектрод		Технологическая оснастка	Технологические характеристики			
скорость перемещения, м/сек	износ в %		чистота обработки (класс по ГОСТ)	точность	съем металла	
					единица измерения	показатель
7—30			1—3		мм³/мин	15 000
25—50		Крепежно-установочная	1—2		мм³/мин	120 000—140 000
		Подвески для изделий				
		Крепежно-установочная	5—7			
		То же	2—5	3—5	мм³/мин мм³/мин	650—12 900—1000
		„ „	4—6		мм³/мин	50—60
	Графит 0,5—1,0, алюминий 7—12	„ „	3—5		мм³/мин	5000—6000
	0,1—1	„ „	3—4	2	мм³/мин	200
	0	„ „	4—7	2—3	мк/мин	10—200
2—10	0—1	„ „	6—8	1—2	мм³/мин	100—200
		„ „	1—2			
		„ „				
0,0	0,0	Подвески для изделий	На два класса выше исходной	2—3	мк/мин	7—10
0,0	0,0	То же	То же	2—3	мк/мин	3—5

Наименование операции	Метод	Оборудование		Инструмент или		
		№ по табл. 4	тип, модель, марка	форма	материал	
Полирование черных металлов	ЭХМ	50	Любая гальваническая ванна	Диск—притир	Сталь	
Полирование стального инструмента	ЭХ	1, 2	То же	Катодные пластины	Свинец, сталь кислотоупорная	
Прошивка отверстий в стали	ЭК	41		Электрод—негатив формы отверстия	Латунь, медь	
Прошивка отверстий	ЭХ	17		Электрод—негатив формы отверстия	Латунь, медь	
Разрезка стальных заготовок и изделий	АМ	21, 22, 23 27, 7	ЛОС; 4822; 4820; 4823; АМО-12; 4821; АМО-32; АМО-150	Тонкий диск или лента	Латунь, медь, сталь	
Разрезка твердых сплавов	АМ	21, 22, 23 24, 7	То же	Тонкий диск или лента	Латунь, медь, сталь	
Разрезка стальных и твердосплавных изделий	ЭИС	21, 22, 23 24, 7	Л-49; Л-55	Тонкий диск, лента, пластина	Латунь, медь	
Разрезка стальных изделий	ЭК	21, 22, 23 24		Тонкий диск, лента	Латунь, медь, сталь	
Сглаживание стальной поверхности	ЭК	42		Профильный резец токарного типа	Твердый сплав	
Снятие заусенцев и грат	ЭК	1, 2		Катодные пластины	Свинец, кислотоупорная сталь	
Точение	ЭК	47, 42		Токарный резец	Твердый сплав	
Точение фасонное	АМ	40		Плоский шаблон по сечению изделия	Медь, латунь, сталь	

противоэлектрод		Технологическая оснастка	Технологические характеристики			
скорость перемещения, м/сек	износ в %		чистота обработки (класс по ГОСТ)	точность	съем металла	
					единица измерения	показатель
1—2	0,0	Крепежно-установочная	10—12	2—3		
0	0,0	Подвески для изделий	На два класса выше исходной	2—3	мк/мин	10—12
	5—20	Крепежно-установочная	1—3	3—4	мм³/мин	800—1300
	0,0	То же	2—4	3—4	мм³/мин	200—300
15—20	25—30	. .	2—3	3—4	мм³/мин см²/мин	2000—6000 8—20
15—20	25—30	. .	3—4	2—3	см²/мин	5—12
20—40	10—50	. .	3—4	2—3	см²/мин	6—18
40—50	5—20	. .	2—3	4—5	мм³/мин	1000—2000
2—6	1—3	. .	8—10	2		
0	0,0	Подвеска для изделий	5—7		мк/мин	0,5—0,6
02—5		Крепежно-установочная	6—8	1—2	мм³/мин	10 000—40 000
6—20		То же	5—6	2—3	мм³/мин	1000—10 000 600—8000



Наименование операции	Метод	Оборудование		Инструмент или		
		№ по табл. 4	тип, модель, марка	форма	материал	
Упрочнение инструмента	ЭИС	20	КЭИ-1; УПР-3М	Стержень наносимого металла	Наносимый металл или сплав	
Удаление окалины с черных металлов	КР	48	Любая гальваническая ванна	Анодные пластины	Сталь	
Удаление окалины с черных металлов	ЭХ	1,2		Катодные пластины	Свинец, кислотопорная сталь	
Удаление окалины с черных металлов	ЭК	49		Проволочная щетка	Стальная проволока	
Шлифование отделочное	АМ	9, 26, 27, 28, 29, 30		Диск	Медь, чугун, металлоабразив	
То же притирочное	АМ	18	4ФМ362; 3Г12-АМ; АМОМ-1	Хон с брусками	Абразив, дерево, резина	
„ „ чистовое	АМ	9, 26, 27, 28, 29, 30		Диск	Сталь, медь, металлоабразив	
„ „ черновое	АМ	9, 26, 28		То же	Сталь, чугун, медь, металлоабразив	
„ „ чистовое	ЭПС	9, 26, 27, 28	Л-51; Л-50	„ „	Медь, чугун, алюминий	
„ „ черновое	ЭПС	9, 26, 27, 28	Л-51; Л-58	„ „	То же	
„ „ черновое	ЭК	9, 26, 28	Л-58	„ „	Медь, сталь, чугун	

противоэлектрод		Технологическая оснастка	Технологические характеристики			
скорость перемеще- ния в м/сек	износ в %		чистота обработки (класс по ГОСТ)	точность	съем металла	
					единица измерения	показатель
0,02	0	Крепежно-устано- вочная		3—6		
	0	Подвески-зажимы для изделий				
	0	Подвески для изделий				
35—40		Крепежно-устано- вочная	2—3 3—5		м <sup>2</sup> /час	2,5—3,5 1,2—1,3
0,5—1,0	0—1	То же	10—12	1		
30	0—2	„ „	9—11	1—2		
20—30	1—2	„ „	8—10	2		
20—30	1—2	„ „	6—7	2—3		
		„ „	4—5		мм <sup>3</sup> /мин	1—15
		„ „	7—9		мм <sup>3</sup> /мин	15—700
30—40		„ „	3—4			

## Оборудование для электрической обработки металлов

№ п/п	Наименование
1	Ванна стандартная, гальванического типа, со штангами, подогревом, циркуляцией электролита, футеровкой
2	Ванна специальная, гальванического типа, для определенной операции со всей оснасткой
3	Ванна для травления и футерования без подвода тока
4	Установка для электролитного нагрева универсальная с ванной, оснасткой и органами управления
5	Установка для электролитного нагрева специализированная полуавтоматическая
6	Установка для электролитного нагрева — автомат
7	Копировально-прошивочный станок универсальный
8	Прошивочный станок специальный
9	Шлифовальный станок универсальный
10	Расточный станок универсальный
11	Расточный станок специальный
12	Станок для прорезки узких щелей
13	Станок для обрезки труб
14	Станок для вырезки отверстий в трубах
15	Установка для непрерывного электрополирования лент и проволочки
16	Установка для электрополирования труб
17	Установка для электрохимического сверления и прошивки
18	Станок притирочно-шлифовальный
19	Долбежный станок для изготовления полостей
20	Установка для упрочнения инструмента и нанесения тонких покрытий
21	Отрезной станок универсальный дисковый
22	Отрезной станок универсальный ленточный
23	Отрезной станок специальный дисковый
24	Отрезной станок специальный ленточный
25	Профилешлифовальный станок
26	Круглошлифовальный станок универсальный
27	Круглошлифовальный станок специальный
28	Внутришлифовальный станок универсальный
29	Внутришлифовальный станок специальный
30	Обдирочно-шлифовальный станок

№ п/п	Наименование
31	Установка для удаления обломков инструмента и крепежа
32	Заточный станок для инструмента
33	Операционный станок для малых отверстий
34	Станок для сверления малых отверстий
35	Станок для изготовления стружколомающих канавок
36	Установка для клеймения и маркирования
37	Станок для гравирования и клеймения
38	Доводочный станок
39	Установка для электрохимического профилирования по копиру с протоком
40	Станок для объемного профилирования тел вращения по плоскому копиру
41	Установка для электроконтактной прошивки отверстий
42	Станок для электроконтактного сглаживания тел вращения
43	Установка для виброконтактной наплавки
44	Установка для электроконтактной наварки листов и проволок
45	Установка для нанесения сверхтвердых сплавов плазменной дугой
46	Станок для электроконтактной обкатки шаров
47	Станок для электроконтактного точения тел вращения
48	Установка для электрохимической очистки в расплавах
49	Установка с вращающейся щеткой — электроконтактная
50	Установка с диском или притиром и ванной для электро-химико-механического шлифования или полирования

### Таблица 5

## Генераторы и преобразователи тока для электрической обработки металлов

Система генератора или преобразователя	Условное обозначение
Трансформатор разделительный . . . . .	1
понижающий . . . . .	2
Выпрямитель твердый или машинный . . . . .	3
Выпрямитель ламповый . . . . .	4
Машинный генератор постоянного тока:	
до 24 в . . . . .	5
24—65 в . . . . .	6
65—300 в . . . . .	7

Система генератора или преобразователя	Условное обозначение
Машинный генератор униполярных импульсов . . . . .	8
Ламповый генератор импульсов . . . . .	9
Релаксационный (конденсаторный) генератор импульсов	10
Инверторные генераторы импульсов . . . . .	11
Выпрямительные генераторы импульсов . . . . .	12
Зависимый генератор . . . . .	ЗГ
Независимый генератор . . . . .	НЗ

## II. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ



для подавляющего большинства новых разновидностей электрохимической обработки металлов используется анодный процесс — растворение поверхности анода в процессе электролиза.

### СУЩНОСТЬ СПОСОБОВ

Протекание постоянного электрического тока между электродами 5 и 4 (фиг. 1, а), погруженными в раствор электролита 3, сопровождается рядом физических и химических процессов в электролите и на поверхности электродов.

Одним из таких процессов является анодное растворение — переход в раствор металла с поверхности анода (электрода 5, соединенного с положительным полюсом источника тока).

Анодное растворение применяется для операций электрохимической очистки поверхности металла, электрополирования, шлифования и доводки, удаления заусениц и грата, заострения и затачивания режущего инструмента и др.

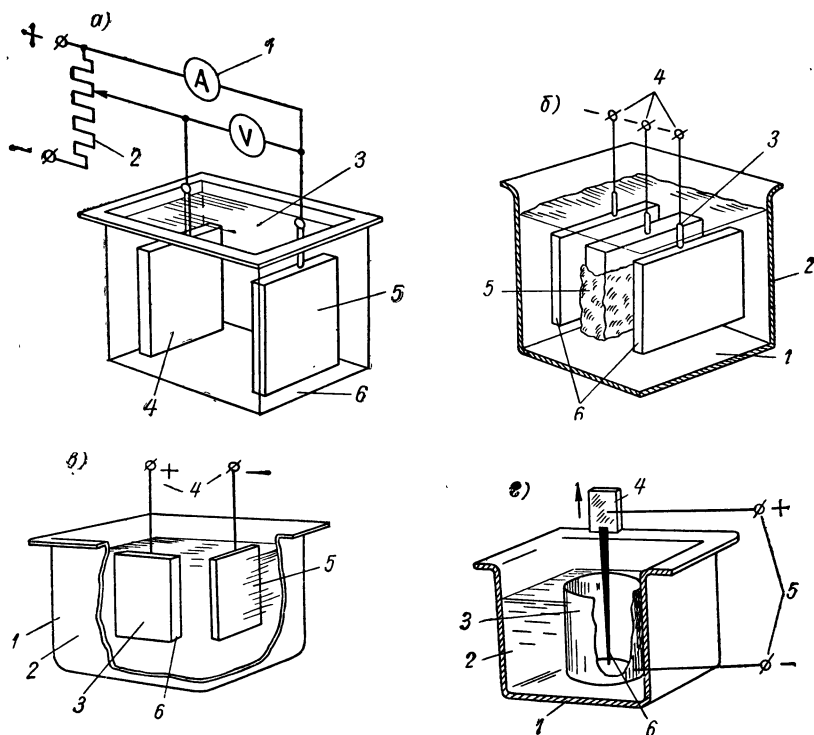
Явления, происходящие на катоде (электроде 4, соединенном с отрицательным полюсом источника тока), — восстановление и выделение металла — используются в основном в гальванопластике и гальваностегии. Эти же явления лежат в основе операции катодного снятия окарины и электроцементации.

### ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ ОПЕРАЦИЙ

В табл. 6 приведены характеристики следующих операций электрохимической обработки.

1. Очистка поверхности металлов анодным травлением от окислов, ржавчины, жировых пленок и других загрязнений (фиг. 1, б). При анодном растворении поверхности изделия 3 вместе с металлом удаляются все

присутствующие на ней загрязнения (окислы, ржавчина, жировые пленки). Очищенная поверхность обычно шероховата. Электролит — растворы кислот или солей. Операция применима для различных металлов и сплавов.



Фиг. 1.

- а* — принципиальная схема проведения электрохимической обработки:  
1 — амперметр; 2 — делитель напряжения; 3 — электролит; 4 — катод; 5 — анод; 6 — ванна.
- б* — очистка поверхности металлов от загрязнений анодным травлением:  
1 — электролит; 2 — ванна; 3 — очищаемое изделие — анод; 4 — источник питания;  
5 — удаляемый слой загрязнений; 6 — катоды.
- в* — электрохимическое заострение и затачивание режущего инструмента:  
1 — ванна; 2 — электролит; 3 — затачиваемый инструмент — анод; 4 — источник питания  
током; 5 — катод; 6 — лезвие инструмента.
- г* — электрохимическое изготовление конусных изделий, игл и т. п.:  
1 — ванна; 2 — электролит; 3 — катод; 4 — механизм равномерного подъема изделия;  
5 — источник питания током; 6 — заостряемое изделие.

2. Электрохимическое заострение и затачивание режущего инструмента (фиг. 1, в); изготовление игл из цилиндрических прутков (фиг. 1, г). Создавая на режущем лезвии или острие *б* повышенную плотность тока и соответственно располагая это лезвие относительно катода *5*, значительно интенсифицируют анодное растворение этих участков, утончая и заостряя их. Характер заострения зависит от первоначального

# **Основные технические характеристики неко (производимых преимущест**

Наименование показателя	Очистка анодным травлением	Заостре- ние и заточка	Катодное снятие окалины	Электрополирование	
				цветных металлов в холодных электро- литах	черных металлов в горячих электро- литах
Напряжение источника тока в <i>в</i> . . . . .	4—12	6—20	6—12	6—12	15—18
Напряжение на электро- дах в <i>в</i> . . . . .	3—5	5—12	4—8	$\frac{1,7-2}{5-7}$	12—14
Расчетная плотность то- ка на изделии в <i>а/дм²</i> . .	0,5—20	10—40	5—10	$\frac{2-10}{10-50}$	40—60
Удельный расход энер- гии на съем металла					
<i>квт-ч/кг</i> . . . . .	10—40	10—25	—	5—20	10—30
<i>квт-ч/дм²</i> . . . . .	0,005—0,01	—	—	0,01—0,1	0,01—0,1
Энергетический к. п. д. (выход по току) в % . . .	60—90	50—80	—	70—95	50—80
Расстояние между элек- тродами в <i>мм</i> . . . . .	20—250	10—50	20—200	20—200	25—200*
Длительность операции в мин. . . . .	2—30	0,2—5	0,2—2	$\frac{5-10}{1-5}$	*
Температура в °С . . .	20—60	20—80	350—450	15—25	70—90
Состав электролита . . .	Разные соли	Разные кислоты	Расплав щелочи	См. табл. 9. В ос- новном смеси различных кислот	
Чистота поверхности (класс по ГОСТ 2789—51) .	3—6	5—9	Исход- ная	На 2—3 класса выше исходной (в пределах от 4 до 12-го класса)	
Интенсивность съема металла** в <i>мк/мин</i> . . .	0,1—5	1—5	—	3—5	7—10
Точность обработки наибольшая (класс по ГОСТ) . . . . .	—	2—3	Исход- ная	2—3	2—3

\* Длительность операции определяется заданным съемом.

\*\* Интенсивность съема может быть в большинстве случаев значительно увеличена повы

\*\*\* Точность обработки определяется точностью изготовления оснастки.

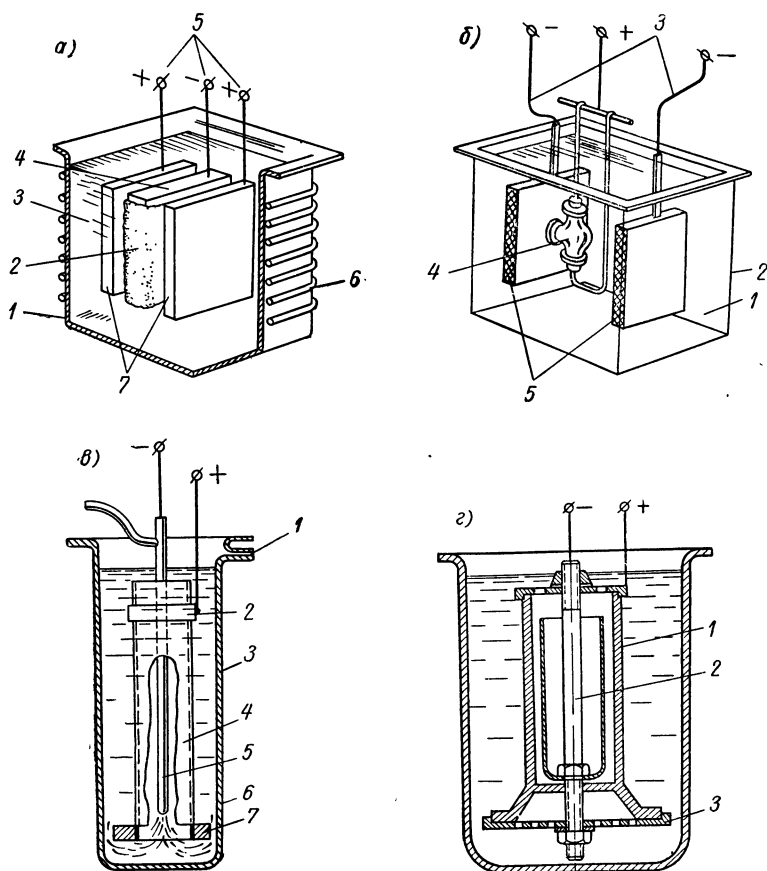
Таблица 6

торых операций электрохимической обработки  
венно на постоянном токе)

Электрохимическая прошивка	Электрохимическое сглаживание	Электрохимическое гравирование	Электрохимическое профилирование	Электроцементация	Изготовление сеток	Получение фольги
15—30	12—20	4—12	6—24	12—20	6—12	6—15
10—25	10—15	3—8	5—20	10—15	4—8	3—11
10000—15000	400—1000	10—50	20—150	30—40	5—40	10—50
8—15	8—15	5—15	5—40	—	10—25	10—25
1—2	1—2	—	—	—	—	—
80—90	80—90	70—85	65—90	—	80—90	60—85
0,1—2	1—2,5	20—100	20—200	10—100	20—200	20—200
*	*	*	*	180—240	*	*
20—30	20—30	20—40	20—80	900—1000	15—40	40—90
10—15%	10—15%	Соли, кислоты	Разные составы	Соли, кислоты		Разные соли и кислоты
5—7	5—7	—	7—10	Исходная	9—11	10—13
2000—3000	100—500	—	5—20	—	10—15	5—10
***	***	—	2—3	Исходная	2—3	2

шением плотности тока и температуры.





Фиг. 2.

**а — катодное снятие окалины с поверхности стальных изделий:**

1 — стальная ванна; 2 — удаляемая (восстанавливаемая) пленка окалины; 3 — электролит — расплав солей; 4 — очищаемое от окалины изделие; 5 — источник питания током; 6 — нагреватель; 7 — аноды.

**б — электрохимическое глянцевание и полирование металлических поверхностей:**

1 — электролит; 2 — ванна; 3 — источник питания током; 4 — обрабатываемое изделие — анод; 5 — катоды.

**в — электрополирование коротких труб:**

1 — выход электролита; 2 — подвод тока к трубе; 3 — ванна; 4 — труба — анод; 5 — катод; 6 — облицовка ванны; 7 — опорное кольцо.

**г — электрополирование фасонных деталей (арматуры):**

1 — полируемое изделие (анод); 2 — катод; 3 — изоляционные прокладки.

угла заточки и расположения изделия относительно катодов. Электролитом 2 служат растворы кислот.

3. Катодное снятие окалины с поверхности стальных изделий в расплавах солей (фиг. 2, а). Металлический натрий, выделяющийся на поверхности катода 6 при электролизе расплавленных натриевых солей 3, восстанавливает окислы железа (окалину) до чистого металла. Электролит — расплав едкого натра. Операция применима для черных металлов и сплавов. Размеры изделия обычно не изменяются.

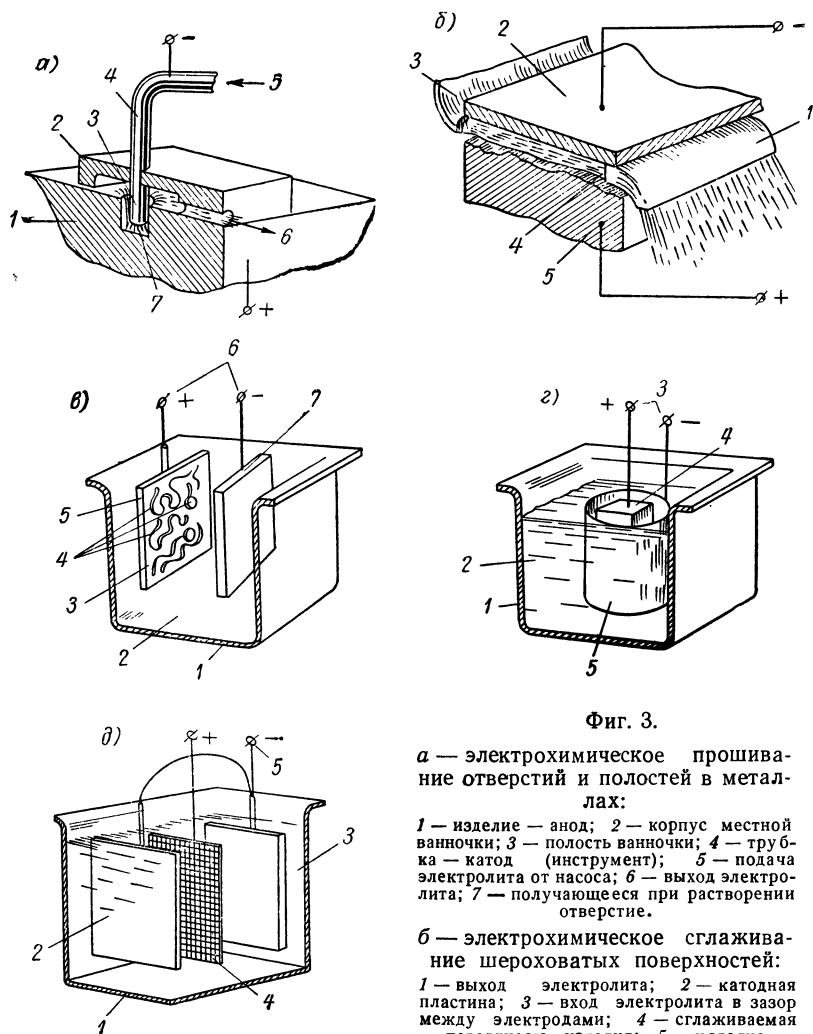
4. Электрохимическое глянцеование и полирование металлических поверхностей (фиг. 2, б, в, г). При анодном растворении металла в соответствующем электролите 1 на поверхности полируемой детали 3 образуется вязкая пленка солей, защищающая микровпадины от действия тока и не препятствующая растворению выступов (гребешков), в результате чего поверхность сглаживается (полируется). Электрополирование имеет многообразное применение. Наилучшее качество поверхности достигается при электрополировании чистых и однородных металлов и сплавов.

5. Электрохимическая прошивка отверстий и полостей в металлах (фиг. 3, а). В местной электролизной ванне, образованной торцом трубки — катода 4 и поверхностью изделия 1, происходит анодное растворение последнего на участке, строго ограниченном формой и размерами трубки. Высокая плотность тока и большая скорость протока электролита резко интенсифицируют растворение. Электролит — раствор хлористых солей. Форма и размер получаемого отверстия определяются формой и размером катодной трубки.

6. Электрохимическое сглаживание и доводка шероховатых металлических поверхностей (фиг. 3, б). Струя электролита 3, протекающая с большой скоростью в зазоре между катодом 2 и поверхностью 4 изделия 5, при пропускании тока большой плотности интенсивно растворяет выступы (гребешки), сглаживая тем самым поверхность. Электролит — раствор хлористых солей. Равномерность удаления металла определяется равномерностью зазора.

7. Электрохимическое гравирование и маркирование по металлам (фиг. 3, в). Анодное растворение поверхности изделия 3 происходит лишь в участках 4, где отсутствует изолирующий (лаковый, восковой) слой и обнажен металл. В результате на поверхности воспроизводится углубленный рисунок, прорезанный в изолирующем слое. Электролит — растворы солей.

8. Электрохимическое профилирование металлических заготовок (фиг. 3, г). Анодное растворение профилируемого изделия 4, помещенного внутрь катода 5, происходит интенсивнее в участках, более близких к катоду (углах квадрата), результатом чего является изменение первоначальной формы (в данном случае округление квадрата). Электролит — растворы кислот и солей.



Фиг. 3.

**а** — электрохимическое прошива-  
ние отверстий и полостей в метал-  
лах:

1 — изделие — анод; 2 — корпус местной  
ванночки; 3 — полость ванночки; 4 — труба-  
ка — катод (инструмент); 5 — подача  
электролита от насоса; 6 — выход электро-  
лита; 7 — получающееся при растворении  
отверстие.

**б** — электрохимическое сглажива-  
ние шероховатых поверхностей:

1 — выход электролита; 2 — катодная  
пластина; 3 — вход электролита в зазор  
между электродами; 4 — сглаживаемая  
поверхность изделия; 5 — изделие.

**в** — электрохимическое гравирование и маркирование по металлам:

1 — ванна; 2 — электролит; 3 — гравированное изделие — анод; 4 — свободные от лака  
участки анода, растворяемые с образованием углублений; 5 — слой лака или воска  
на поверхности изделия; 6 — источник питания током; 7 — катодная пластина.

**г** — электрохимическое профилирование металлических заготовок:

1 — ванна; 2 — электролит; 3 — источник питания током; 4 — профилируемое  
изделие — анод; 5 — профилирующий катод.

**д** — электрохимическое изготовление сеток:

1 — ванна; 2 — катод; 3 — электролит; 4 — изделие — анод с напечатанной лаком  
сеткой; 5 — источник питания.

9. Электроцементация стальных изделий (фиг. 5). В процессе электролиза расплавленных углекислых солей (обычно  $\text{BaCO}_3$ )  $\text{Z}$  углерод диффундирует в поверхность стального изделия — катода 7, осуществляя тем самым цементацию. Операция выполняется на черных металлах и сплавах. Скорость электроцементации выше, чем газовой или жидкостной цементации обычными методами.

10. Электрохимическое изготовление сеток (фиг. 3, д). Оно аналогично электрохимическому гравированию. Сетка, нанесенная изолирующим составом на поверхность анода 4, предохраняет металл от растворения; обнажаемые участки внутри лаковой сетки растворяются. Операция применяется для получения сеток в тонких листах. Электролит — растворы кислот и солей.

11. Электрохимическое изготовление листового металла малых толщин. Производится по схеме (фиг. 1, а). Контролируя по времени и току процесс анодного растворения листового металла, доводят толщину последнего до нескольких микронов. Электролит — растворы кислот. Операция применяется в отношении чистых однородных металлов.

*Области применения электрополирования:* общее и специальное машиностроение, энергетика, электромашино- и аппаратостроение; приборостроение, оптика, акустика, светотехника, вакуумная техника: инструментальное производство; исследование и контроль качества металлов и деталей; предметы бытового обихода.

*Объекты электрополирования:* арматура стальная, бронзовая, латунная для водяных, паровых и воздушных газовых магистралей (краны, клапаны); детали машин, механизмов, станков, аппаратов различных форм и размеров, изготовленные из черных, цветных и легких металлов; детали машин, механизмов, станков, аппаратов с поверхностными металлопокрытиями; детали металлические, изготовленные штамповкой, прошивкой, вырубанием, прокалыванием; детали текстильных и других машин, работающие в условиях трения (кольца прядильных машин, рогульки шпинделей и т. п.); кольца (желоба) шарикоподшипников; пружины стальные и бронзовые — цилиндрические ленточные, плоские, специальные, любых типоразмеров; резервуары различного назначения, оболочки, изделия и детали с внутренними полостями; трубы и фитинги из различных металлов; турбинные лопатки, турбинные детали из специальных сталей; фрикционные диски; штампуемые или вытягиваемые детали различных типов и размеров, изготавливаемые из черных и цветных металлов; детали электронных приборов, аноды ламп и различные изделия электровакуумной техники; детали электро- и радиоаппаратуры различных видов; зеркала и отражатели светотехнической аппаратуры, детали оптико-механической промышленности; иглы для приборов и аппаратуры различного назначения; ленточные и конденсаторные микрофоны и детали специальных акустических приборов; шестеренки приборных механизмов, счет-

чиков и т. п.; инструмент металлообрабатывающий и деревообрабатывающий, вновь изготовленный, различных типов и размеров, из углеродистых или быстрорежущих сталей; инструмент изношенный (напильники); калибры (пробки, скобы), шаблоны и другой мерительный инструмент; штампы чеканные, пресс-формы для пластмасс; образцы для измерений микротвердости; образцы для электронной микроскопии; различные изделия из легированных и специальных сталей; шлифы для металлографических исследований; иглы швейные, патефонные и т. п.; столовые приборы, ложки, вилки, ножи из алюминия, серебра, сталей; чайники из нержавеющей стали или латуни; ювелирные изделия — кольца, броши, серьги и т. п. — из серебра и цветных сплавов.

*Цели электрополирования:* снижение трудоемкости обработки; уменьшение потерь на трение; повышение коррозионной стойкости; очистка внутренних полостей; улучшение внешнего вида изделий; экономия полировочных материалов; повышение чистоты поверхности; нанесение блестящих или матовых надписей, знаков, сеток и т. п.; улучшение адгезии и свойств металлопокрытия (снижение пористости, повышение чистоты, блеска, стойкости); экономия металлов; удаление грата и заусениц, сглаживание краев и кромок; повышение долговечности; экономия электроэнергии; снижение себестоимости; повышение усталостной и коррозионной стойкости; уменьшение опасности наводороживания, повышение производительности; осуществление полирования внутренних полостей, труднодоступных при обычных методах полирования; механизация обработки; повышение производительности; удаление поверхностного, отпущенного при заточке, слоя; улучшение микрогеометрии поверхности, облегчающее сход стружки, и уменьшение коэффициента трения, приводящие к повышению стойкости инструмента в эксплуатации; восстановление геометрии зуба; доводка до требуемых размеров; снятие наклепа, искажающего результаты обычных измерений; получение шлифов, свободных от дефектов, вносимых механической обработкой; выявление склонности к интеркристаллической коррозии непосредственно на изделии; выявление деталей строения у мягких металлов и сплавов.

Улучшение микрогеометрии поверхности, обеспечивающее прилегание сопряженных деталей по большей площади и передачу больших усилий; снижение усилий и уменьшение брака по трещинам в процессах штамповки или вытяжки; улучшение специальных электровакуумных характеристик; снижение холодной эмиссии; удаление газов; улучшение электрических и магнитных свойств металлов и сплавов; повышение коэффициента отражения света; экономия электроэнергии; заострение инструмента и игл и получение требуемой микрогеометрии; получение тончайшей (1—2 мк) ленты с соответствующими акустическими характеристиками; снижение трудоемкости отделочных операций. В табл. 7 приведены основные варианты использования электрополирования.

Таблица 7

**Возможные варианты технологических процессов  
электрополирования**

Содержание операций и переходов	№ вариантов							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Шлифование черновое . . . . .	+	—	+	—	—	+	—	—
Шлифование чистовое . . . . .	+	—	—	+	—	—	—	—
Полирование предварительное . . . .	+	—	—	—	—	—	—	—
Глянцевание . . . . .	+	—	—	—	—	—	—	—
Обезжиривание растворителями . . . .	+	+	—	—	—	—	—	—
Обезжиривание химическое . . . . .	+	—	—	—	—	—	—	—
Обезжиривание электрохимическое . .	—	—	+	+	—	—	—	—
Промывка в холодной воде . . . . .	+	+	+	+	+	+	—	—
Промывка в горячей воде . . . . .	+	—	—	—	—	—	—	—
Травление химическое . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	—
Травление электрохимическое . . . .	+	—	—	—	+	—	—	—
Промывка в холодной воде . . . . .	+	—	—	—	+	—	—	—
Декапирование . . . . .	+	—	—	—	—	+	—	—
Промывка в холодной воде . . . . .	+	—	—	—	—	+	+	—
Электрополирование . . . . .	+	+	+	+	+	+	+	+
Промывка в сборнике . . . . .	+	+	+	+	+	+	+	+
Промывка в холодной воде . . . . .	+	+	+	+	+	+	+	+
Нейтрализация в растворе соды . . . .	+	—	—	—	—	—	+	—
Промывка в горячей воде . . . . .	+	—	+	+	+	+	+	+
Сушка . . . . .	+	+	+	+	+	+	+	+
Механическое глянцевание . . . . .	+	—	—	—	—	—	—	—
Консервация горячим маслом . . . . .	+	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Назначение вариантов: 1-й — для деталей ответственного назначения с низкой исходной чистотой; 2-й — для холодноштампованных деталей неответственного назначения; 3-й — для придания блеска без сглаживания; 4-й — для деталей неответственного назначения, но с высокой конечной чистотой; 5-й — то же, что для 2-го; 6-й — то же, что и для 2-го, но горячекатанного металла; 7-й — для холодной штамповки ответственного назначения; 8-й — для высокой исходной чистоты и чистого металла.

### ОСНОВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПОЛИРОВАНИЯ

1. *Ванна полировочная*: для помещения электролита и размещения в нем полируемых изделий и катодов; наружный каркас — сталь, дерево, бетон. Внутренняя облицовка для различных электролитов следующая:

а) для фосфорнокислых и сернокислых (холодных) — пластмассы (винипласты, органическое стекло и др.), стекло, фарфор, керамика, каменное литье;

б) для азотнокислых и хлорнокислых (холодных) — стекло, фарфор, керамика;

в) для сернолимонных, сернофосфорных, серноуксусных и т. п. (горячих) — термостойкие винипласты, каменное литье, керамика, жаростойкое стекло;

г) для хромовосернофосфорных и хромовофосфорных (горячих) — термостойкие винипласты, каменное литье; жаростойкое стекло;

д) для серебро-цианистых холодных — стекло, фарфор, керамика, эмаль;

е) для щелочных холодных — углеродистая сталь, резина, керамика, эмаль;

ж) для щелочных горячих — углеродистая сталь, керамика.

Размеры определяются величиной и количеством полируемых изделий и силой проходящего тока. В холодных электролитах на каждые 0,5 а силы тока требуется 1 л электролита, в горячих на 1,5—2 а — 1 л. Ванна снабжается подогревом и вентиляционными устройствами.

2. *Ванна промывочно-сборная*: улавливание электролита, уносимого на деталях из полировочной ванны. Наружный каркас (сталь, облицовка) — любой кислотостойкий материал. Размеры определяются габаритами промываемых деталей, желательны минимальные.

3. *Ванна холодной промывки*: для смывания с изделий остатков электролита, уносимого из полировочной ванны. Материал — бетон, дерево или сталь; специальной защиты не требуется. Размеры определяются габаритами изделий и необходимостью обеспечить 15—20-кратную смену объема воды в течение часа.

4. *Ванна горячей промывки*: для окончательного смывания возможных следов электролита и подогрева изделия перед сушкой. Материал — сталь. Размеры определяются габаритами изделий и необходимостью 3—4-кратной смены объема воды в течение часа.

5. *Сушильный шкаф*: для просушки изделий после промывки, металлический. Размеры шкафа — по расчету; снабжен электрическими нагревателями.

6. *Ванна масляная*: для пропитки маслом изделий ответственного назначения перед консервацией и для удаления возможных остатков влаги; материал ванны — сталь; размеры — по габаритам деталей. Внешний нагреватель должен обеспечивать температуру масла 120—130°.

7. *Подвески (крепления)* служат для крепления полируемых изделий при помещении их в ванны и для подвода тока к изделиям. Материал подвесок выбирается в зависимости от материала детали и состава электролита. Наиболее универсальные материалы — освинцованная сталь, латунь. Конструкция, размеры и сечение подвесок определяются формой изделия, силой подводимого тока и местными условиями.

В табл. 8 и 9 приведены основные режимы проведения электрохимической обработки и составы электролитов для электрополирования.

Основные технические характеристики некоторых операций электрополирования металлов, проводимых на постоянном токе

Наименование показателей	Полирование режущего инструмента		Глицеринное никелевое покрытие	Декоративное полирование изделий из металлов			Снятие заусениц и града	Заострение лезвий	Скоростное полирование труб
	канавок	лезвий		черных	цветных	легких			
Напряжение источника тока в в .	15—24	12—20	15—18	15—18	6—12	6—15	15—18	6—20	18—24
Напряжение на электродах в в .	13—15	10—14	10—12	12—14	$\frac{1,7-2}{5-7}$	4—12	11—13	5—12	13—16
Расчетная плотность тока* в $a/dM^2$ . . . . .	45—50	45—50	$\frac{20-40^2}{40}$	40—60	$\frac{2-10}{10-50}$	10—15	$\frac{5-10}{50-70}$	10—40	70—170
Удельный расход энергии кат-ч/кг . . . . .	8—25	8—25	10—15	10—30	5—20	5—20	10—30	10—25	20—40
кат-ч/дм <sup>2</sup> . . . . .	—	—	$\frac{0,01-0,05}{0,01-0,1}$	$\frac{0,01-0,1}{0,01-0,1}$	0,01—0,1	0,01—0,1	—	—	0,03—0,1
Энергетический к. п. д. (выход по току) в % . . . . .	60—80	60—90	85—95	50—80	70—95	40—75	60—90	10—50	40—75
Состав электролита . . . . .	Различные кислоты (серная, фосфорная, хромовая) или их смеси в различных соотношениях								
Длительность операции в мин .	$\frac{5-7}{5-10}$	$\frac{0,5-1}{1-3}$	$\frac{0,25-0,8}{0,2-0,3}$	5—10	3—10	3—5	$\frac{15-20}{1-3}$	0,5—5	0,5—1
Температура электролита в град. .	$\frac{70-90}{80-90}$	$\frac{80-85}{70-80}$	$\frac{30-40}{40}$	70—90	15—25	70—90	50—60	20—80	70—80
Чистота исходной поверхности до обработки (класс по ГОСТ 2789—51)	4—5	6—7	6—7	4—5; 6—7	8—9	10—11; 1	—	9—10	4—5
Чистота поверхности после обработки (класс по ГОСТ 2789—51) . .	6—7	8—9	8—10	6—7; 8—9	10—11	12—13; 14	—	12—13	6—7
Интенсивность съема** в $мк/мин$	$\frac{7-10}{8-12}$	$\frac{20-30}{8-10}$	$\frac{3-4}{6-12}$	7—10	3—5	4—8	$\frac{0,5-0,6}{9-10}$	3—7	10—15
Толщина удаляемого слоя в $мк$	50	20—30	$\frac{2-3}{1-2}$	50—100	40—80	40—80	$\frac{7-11}{10-30}$	2—10	10—15
Точность обработки . . . . .	В зависимости от условий проведения операции — 2—3-й класс и ниже								

\* В числителе и знаменателе приведены данные различных вариантов.

\*\* Может быть значительно повышена изменением параметров режима.



Т а б л и ц а

Составы некоторых электролитов для полирования и режимы их применения

№ электро- лита	Составные части		Режим применения					Удельный вес 20° в г/см³	Преимущественно поли- руемые в данном электро- лите металлы и сплавы
	наименование	удельный вес	содержа- ние в % по весу	плотность тока в а/дм²	темпе- ратура в °С	продолжи- тельность в мин.	прора- ботка		
1	Ортофосфорная кислота	1,5 - 1,6	100	5—20	15—25	3—10	Н	ВВ 1,5—1,6	Медь, томпак; ла- туни Л168, ЛН56-3; бронзы БрА5, Бр5
2	Серная кислота	1,57—1,62	100	30—40	35—40	0,25—0,8	Н	В 1,6	Никелевые покры- тия
3	Ортофосфорная кислота Серная кислота Хромовый ангидрид	1,6 1,82	60 20 20	50—70	70—80	5—10	Н	О	Стали 1Х13, 2Х13, 1Х18Н9, 2Х18Н9 и аналогичные
4	Ортофосфорная кислота Серная кислота Хромовый ангидрид Вода	1,6—1,7 1,84 —	65—70 15—12 5—6 15—12	35—50	70—80	5—10	Т	О 1,72—1,74	Стали среднеугле- родистые, алюминий, железо, алюминисевые сплавы АМц, АМг, Д1, Д16
5	Ортофосфорная кислота Хромовый ангидрид Вода	1,6	80 6 14	5—10	50—60	15—20	Н	О 1,7	Железо, алюминий, стали различных ма- рок
6	Ортофосфорная кислота Серная кислота Хромовый ангидрид Вода	1,6 1,84	40 40 3 17	40—70	70—80	5—10	Т	О 1,65	Стали хромонике- левые, стали хроми- стые
7	Ортофосфорная кислота Серная кислота Глицерин Вода	1,6 1,84 1,26	50 16 12 22	40—100	50—70	2—10	Н	О	Нержавеющие хро- мистые и хромонике- левые стали

Продолжение табл. 9

№ электро- лита	Составные части			Режим применения				Работоспо- собность электролита	Удельный вес 20° в г/см <sup>3</sup>	Преимущественно поли- руемые в данном электро- лите металлы и сплавы
	наименование	удельный вес	содержа- ние в % по весу	плотность тока в а/дм <sup>2</sup>	темпе- ратура в °С	продолжи- тельность в мин.	прора- ботка			
8	Ортофосфорная кислота Хромовый ангидрид Вода	1,7	70 14 16	50—70	70—80	1—5	Т	О	1,76	Стали высокоугле- родистые и низкоугле- родистые, железо
9	Ортофосфорная кислота Хромовый ангидрид Вода	1,8	88 10 2	40—100	80—90	0,8—5	Н	О	1,9	Алюминий, медь, латуни, бронзы, стали углеродистые и леги- рованные
10	Серная кислота Ортофосфорная кислота Лимонная кислота Вода	1,84 1,6	53 43,5 1,2 2,3	3 35—50	20 20	0,25—0,75	Т	В	1,65—1,67	Мельхior НМ-70, никель
11	Ортофосфорная кислота Хромовый ангидрид	1,6	91 9	35—50	20—30	0,5—2	Т	О	1,60—1,64	Алюминиевые спла- вы АМц, АМг, Д1, Д16; латуни Л68, Л62; медь, стали
12	Ортофосфорная кислота	1,5—1,6	75—80	40—60	70—90	3—10	Т	О		Алюминий, стали низкоуглеродистые, средне- и высокоуг- леродистые

№ электро- лита	Составные части			Режим применения				Работоспо- собность	Удельный вес 20° в г/см <sup>3</sup>	Преимущественно поли- руемые в данном электро- лите металлы и сплавы
	наименование	удельный вес	содержа- ние в % по весу	плотность тока в а/дм <sup>2</sup>	темпера- тура в °С	продолжи- тельность в мин.	прора- ботка			
13	Серебро цианистое Калий цианистый Вода		3—4,5 3—4 91,5—94	1,5—2	18—25	3—5	Н	В		Серебряные покры- тия
14	Хлорная кислота Уксусная кислота ле- дяная Вода	1,61	5 94 1	10—30	15—25	3—7	Н	В		Олово, свинец, сплавы меди, бабби- ты, различные желез- ные сплавы
15	Серная кислота Хромовый ангидрид Глицерин Вода	1,83—1,84 1,26	70 2 1 27	25—30	20—35	0,5—0,75	Т	В	1,60—1,61	Никелевые покры- тия
16	Фосфорная кислота Серная кислота Плавиковая кислота	1,6 1,84	55 40	20—30	15—25	5—10	Н	О		Алюминиево-крем- ниевые сплавы, цин- ковые сплавы, силумины, кремнистые бронзы

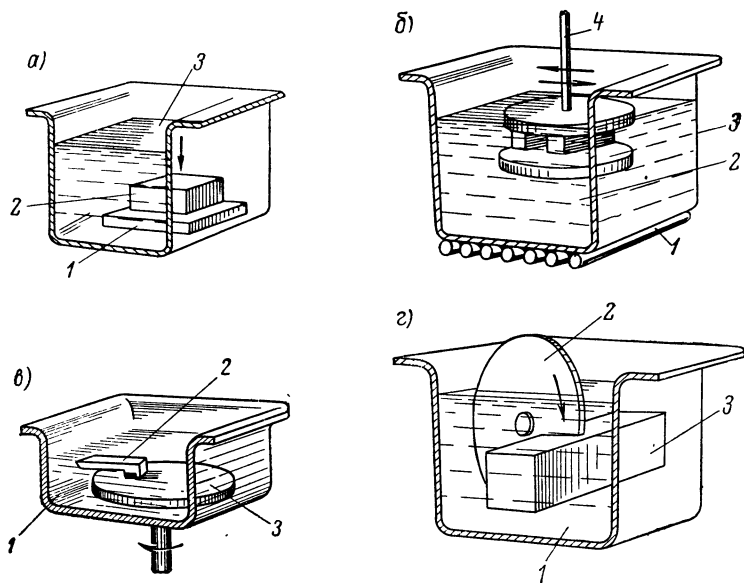
Примечания: 1. Н — не требует обязательной проработки перед употреблением; Т — требует предварительной проработки (нагревом или током); ВВ — весьма высокая работоспособность (5000 а-час/а); В — высокая работоспособность (1000—5000 а-час/а); О — ограниченная работоспособность (до 1000 а-час/а).

2. Материал катодов в электролитах № 1, 3, 4 — 12, 14—16 — свинец, стали типа Х18Н9; в электролите № 13 — серебро, цинк, свинец; в электролите № 2 — свинец.

### III. ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ



Химико-механический способ обработки основан на одновременном химическом (или электрохимическом, без внешнего источника тока) и механическом воздействии на поверхность материалов, приводящим к ускоренному разрушению последних. Обработка производится в присутствии поверхностно активных, а также химически агрессивных веществ, нейтральных электролитов или металлических солей (фиг. 4, а). В машиностроении получила рас-



Фиг. 4.

а — принципиальная схема химико-механической обработки:

1 — притир; 2 — шлифуемое или притираемое изделие; 3 — смесь раствора соли с абразивным порошком.

б — химико-механическое шлифование (доводка):

1 — нагреватель; 2 — ванна; 3 — нижний притир; 4 — верхний притир.

в — химико-механическое затачивание твердосплавного инструмента:

1 — ванна; 2 — резец, оснащенный твердым сплавом; 3 — притир.

г — химико-механическое разрезание:

1 — раствор соли с абразивным порошком; 2 — режущий диск; 3 — разрезаемое изделие.

пространение для размерной обработки разновидность химико-механического способа, осуществляемая в растворах металлических солей.

Сущность процесса. При соприкосновении поверхности металлов с растворами некоторых солей возникает взаимодействие, приводящее к растворению поверхностного слоя металла. Так, например, при погружении железного сплава в раствор медных со-

лей между ними происходит реакция, приводящая к вытеснению меди и переходу железа в раствор.

Аналогичное явление наблюдается при погружении в раствор медных солей металлокерамического твердого сплава, состоящего из карбидных зерен, связанных металлическим кобальтом.

Кобальтовая связка при этом разрушается, так как кобальт переходит в раствор, вытесняя медь. В результате твердый сплав в поверхностном слое разрыхляется. Наличие в поверхностном слое разнородных металлов и неоднородность строения твердого сплава способствуют его разрушению вследствие образования большого числа гальванических микропар, между которыми возникают местные электрические токи. По мере выделения из раствора медь покрывает обрабатываемую поверхность тонким слоем, и растворение прекращается.

Для того чтобы поддержать скорость растворения высокой, разрыхляют медную пленку при помощи трения ее абразивным порошком под небольшим давлением.

Равномерность съема пленки достигается соответствующими механическими устройствами, создающими эксцентрические движения обрабатываемой поверхности относительно шлифовальника.

К основным факторам, оказывающим влияние на чистоту и производительность химико-механического шлифования, относятся: концентрация раствора соли, температура смеси, удельное давление шлифовальника на обрабатываемую поверхность, скорость перемещения шлифовальника, длина хода шлифовальника, зернистость абразивного порошка.

Оборудование для проведения химико-механического способа промышленностью не выпускается. Для этой цели применяются станки различных конструкций индивидуального или мелкосерийного выпуска.

Чистота поверхности твердого сплава после химико-механической обработки обычно равна 9—11-му классу (ГОСТ 2789—51).

Подбором зернистости абразива можно изменять чистоту поверхности. Строение поверхностного слоя металла после химико-механической обработки большей частью не изменяется, хотя у твердых сплавов наблюдается иногда разрыхление, возникающее вследствие растворения металлической связки между карбидными зернами и приводящее пробу шлифуемых пластинок к некоторому снижению сопротивления.

Перечислим основные области применения.

1. Шлифование пластинок из твердого сплава для напайки. Обычно одновременно шлифуют несколько десятков пластинок, закрепляя их с помощью смолы (воск + канифоль 1:8) на латунном диске. Условия шлифования: концентрация сернокислой меди — 25%, зернистость абразива — 80—100, окружная скорость шлифовальника — 1,5 м/сек, длина хода шлифовальника — 50 мм, удельное давление — 0,08—0,1 кг/см<sup>2</sup> (фиг. 4, б).

2. Шлифование пластинок из твердого сплава в размер с малыми допусками. Производится в два пере-

хода. Первый переход выполняется по режиму, приведенному выше. Второй переход производится по режиму: концентрация сернокислой меди — 20—25 %, зернистость абразива — 180, окружная скорость шлифовальника — 1 м/сек, длина хода — 30 мм, удельное давление — 0,06—0,08 кг/см<sup>2</sup>.

В табл. 10 приведены некоторые характеристики химико-механического способа обработки твердых сплавов.

Таблица 10

**Технические характеристики химико-механического  
способа обработки твердых сплавов  
(электролит — 20 % CuSO<sub>4</sub>)**

Наименование показателя	Сплав Т15К6		Сплав ВК8	
Производительность в $\frac{\text{мм}^3/\text{мин}}{\text{см}^2}$	20—30	10—15	15—20	10—12
Удельное давление в кг/см <sup>2</sup>	0,1—0,15	0,1—0,15	0,1—0,15	0,1—0,15
Скорость шлифования в м/сек	1,5	1,5	1,5	1,5
Продольное перемещение в мм	50	50	50	50
Точность шлифования в мм	0,01—0,03	0,01—0,03	0,01—0,03	0,01—0,03
Зернистость абразива (№ зернистости по ГОСТ)	80—120	200—325	80—120	200—325
Чистота поверхности (класс по ГОСТ 2789—51)	8—9	10—11	8—9	10—11

3. Затачивание и доводка резцов (фиг. 4, в). Производится в специальных приспособлениях, служащих для установки и закрепления нескольких резцов одновременно. Схема химико-механического разрезания показана на фиг. 4, г.

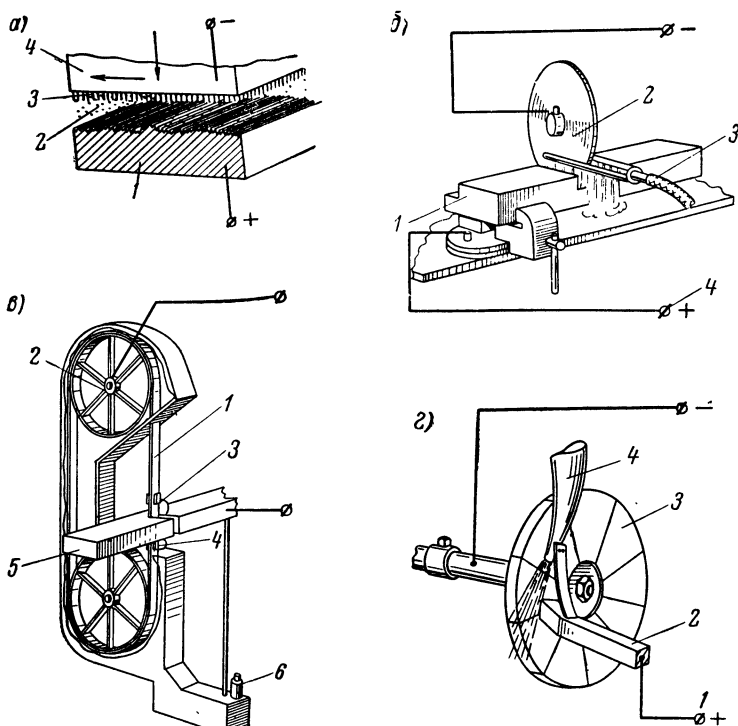
## IV. АНОДНО-МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

### СУЩНОСТЬ СПОСОБА



При прохождении постоянного электрического тока через электролитическую ванну с электролитом определенного состава на поверхности анода образуется нерастворимая пленка продуктов растворения металла. Удаляя эту пленку механическим путем, удастся значительно интенсифицировать съем металла в заданном направлении. Одновременное сочетание анодного растворения с механическим воздействием получило название анодно-механической обработки. Известны две основные разновидности анодно-механической обработки — чистовая и черновая. При чистовой обработке съем металла происходит благодаря сочетанию электрохимического

действия тока и механического воздействия; при черновой обработке наряду с механическим воздействием начинают играть значительную роль электротермические явления — выделение тепла в точках соприкосновения электродов. При чистовой обработке продукты



Фиг. 5.

*а* — принципиальная схема анодно-механической обработки:

1 — изделие (заготовка) — анод; 2 — пленка продуктов анодного растворения; 3 — электролит; 4 — движущийся катод.

*б* — анодно-механическое разрезание диском:

1 — заготовка (изделие) — анод; 2 — диск — катод; 3 — подача электролита; 4 — подвод тока.

*в* — анодно-механическое разрезание лентами:

1 — лента — катод; 2 — контактное кольцо со щетками для подвода тока; 3 — верхняя направляющая головка с подачей электролита; 4 — нижняя направляющая головка; 5 — заготовка — анод; 6 — насос с баком для электролита.

*г* — анодно-механическое затачивание инструмента:

1 — подвод тока; 2 — затачиваемый резец (анод); 3 — заточный диск (катод); 4 — подача электролита.

растворения можно удалять механически любым электронейтральным инструментом или движущимся с большой скоростью потоком электролита, или перемещающимся катодом. При черновой обработке необходимое механическое воздействие производится только движущимся катодом. Принципиальные схемы осуществления анодно-механической обработки приведены на фиг. 5, *а*.

Соответственно этой схеме при прохождении постоянного тока через электролит 3 и погруженные в него электроды 1, 4 происходит растворение поверхности анода с образованием пленок, которые снимаются механическим путем (движущимся металлическим катодом или электронейтральным инструментом).

Необходимая обработка осуществляется направленным снятием пленок на соответствующих участках изделия.

Анодно-механический способ используется при резании, обдирке, долблении, точении, шлифовании, затачивании, чистовой отделке и других операциях обработки твердых сплавов, закаленной стали и подобных материалов.

### ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ ОПЕРАЦИЙ

1. Анодно-механическое разрезание (фиг. 5, б, в). Производится при помощи движущегося металлического катода 2 (диска, ленты), соприкасающегося под небольшим давлением, через пленку рабочей среды 3, с поверхностью разрезаемого металла. Направленное разрушение металла осуществляется при электрохимическом и электротермическом действии, происходящем между электродами.

2. Анодно-механическое затачивание инструмента (фиг. 5, г). Удаление металла или сплава с затачиваемой грани 2 производится электрохимическим действием тока, протекающего в зазоре между резцом 2 и металлическим вращающимся диском 4 в присутствии рабочей жидкости. Применяется в основном для заточки твердосплавного инструмента.

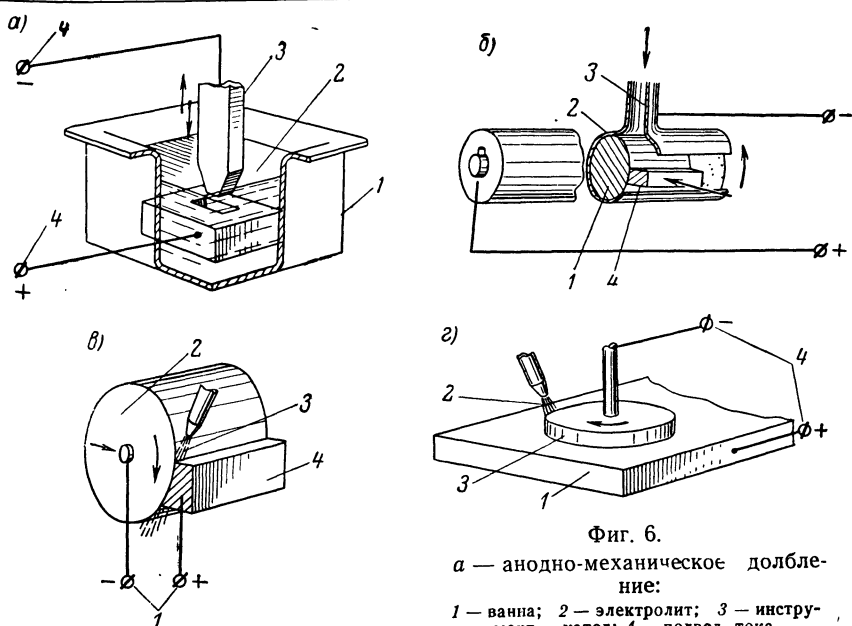
3. Анодно-механическое долбление (фиг. 6, а). Производится при помощи электрода — инструмента 3, представляющего негативную форму полости. Направленное разрушение металла осуществляется электрохимическим и электротермическим действием тока, протекающего между электродами 3 и 4 в жидкой среде 1.

4. Анодно-механическое отделочное шлифование (фиг. 6, б). Производится путем механического удаления продуктов анодного растворения (пленок) 4, образующихся на поверхности анода — изделия 1 при прохождении тока между его поверхностью и катодной пластиной 3 через электролит 2. Пленки удаляют электронейтральным инструментом 4.

5. Анодно-механическое шлифование (фиг. 6, в, г и 7, а). Производится при помощи металлического вращающегося катода, удаляющего при небольшом давлении пленку, образующуюся на изделии вследствие анодного растворения его поверхности.

6. Анодно-механическое притирочное шлифование (фиг. 7, б). Проводится подобно механическому хонингованию, но с наложением тока на систему головка — изделие. Притирочные бруски 2 удаляют с поверхности изделия 1 тонкую пленку, образующуюся в результате протекающих электрохимических процессов.





Фиг. 6.

*a* — анодно-механическое долбление:

1 — ванна; 2 — электродлит; 3 — инструмент — катод; 4 — подвод тока.

*б* — анодно-механическое отделочное шлифование:

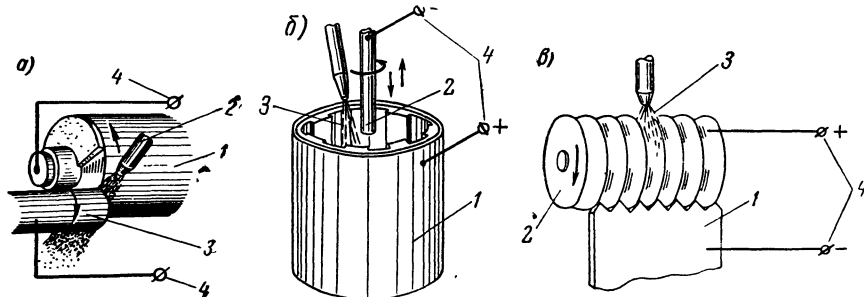
1 — шлифуемая деталь — анод; 2 — зазор между электродами, заполненный электролитом; 3 — катодная пластина; 4 — абразивный скребок.

*в* — анодно-механическая обдирка (черновое шлифование):

1 — подвод тока; 2 — инструмент — катод; 3 — подача электролита; 4 — изделие — анод.

*г* — анодно-механическое плоское шлифование:

1 — изделие; 2 — подача электролита; 3 — шлифовальный круг — катод; 4 — подвод тока.



Фиг. 7.

*a* — анодно-механическое круглое шлифование:

1 — металлический диск — катод; 2 — подача электролита; 3 — шлифуемое изделие — анод; 4 — подвод тока.

*б* — анодно-механическое притирочное шлифование:

1 — обрабатываемое изделие — анод; 2 — притир с брусками — катод; 3 — электролит; 4 — подвод тока.

*в* — анодно-механическое профилирование (точение):

1 — плоский шаблон — катод; 2 — профилируемое изделие — анод; 3 — подача электролита; 4 — подвод тока.

**Некоторые назначения анодно-механического способа  
обработки металлов**

Операция	Преимущества	Недостатки
Разрезание заготовок и изделий	Отсутствие необходимости в дорогостоящем инструменте, повышение производительности при разрезании твердых и сверхтвердых сплавов, уменьшение ширины реза и экономия на резком сокращении отходов. Уменьшение мощности привода и облегчение станков, независимость от твердости обрабатываемого материала	При обработке материалов небольшой твердости производительность меньше чем при механической обработке. Жидкое стекло загрязняет обрабатываемые объекты
Затачивание одно- и многолезвийного и фасонного твердосплавного инструмента	Отсутствие необходимости в абразивах, повышение качества, механизация операции, повышение точности заточки, значительное повышение производительности по сравнению с механизированной абразивной заточкой	Производительность одношпиндельных станков ниже, чем ручной заточки; требуется отмывка остатков жидкого стекла
Шлифование чистовое, отделочное, притирочное	Возможность достижения высоких классов чистоты, повышенная по сравнению с абразивным шлифованием производительность, экономия абразивов, повышение качества поверхности	—
Прорезка узких пазов, шлифов и т. п.	Возможность прорезки узких (до 0,1 мм) изделий, без разбивки и деформации, отсутствие необходимости в специальном, дорогостоящем инструменте, независимость от твердости обрабатываемого изделия	Необходимость отмывки остатков жидкого стекла
Долбление полостей матриц штампов, отверстий в волоочильных глазах, соплах и т. п.	Повышение производительности операции, малый износ инструмента, дешевизна инструмента, независимость от твердости изделия	Недостаточная чистота поверхности, необходимость отмывки остатков жидкого стекла
Подрезка торцов пружин, изготовление пружинных шайб	Многократное повышение производительности по сравнению с механическими приемами, независимость от твердости изделия, отсутствие термических изменений материала	Необходимость отмывки остатков жидкого стекла

# Основные технические характеристики

Наименование показателя	Пределы параметров при разрезке сечений до 300 мм	Затачивание твердосплавных торцов по переходам		
		I	II	III
Напряжение холостое в <i>в</i>	24—32	20—24	20—24	20—24
Напряжение рабочее в <i>в</i>	20—28	18—22	16—18	10—15
Плотность тока в <i>а/мм²</i>	0,7—5	0,15—0,25	0,04—0,06	0,01—0,02
Сила рабочего тока в <i>а</i>	20—500	55—65	15—20	4—8
Удельный расход энергии в <i>квт-ч/кг</i>	3—5	3—5	4—6	10—15
Скорость перемещения электродов в <i>м/сек</i>	15—20	12—20	12—20	12—20
Удельное давление в <i>кг/см²</i>	0,5—2	0,2—1,5	0,2—1,5	0,2—1,5
Материал электрода	Сталь		Чугун	
Материал изделия	Черные сплавы	Твердые сплавы		
Интенсивность съема в <i>мм³/мин</i>	2000—6000	120—200	25—45	1—3
Скорость обработки в <i>см²/мин</i>	8—20	1—1,5 мм	0,1—0,2 мм	0,03—0,06 мм
Чистота поверхности (класс по ГОСТ)	2—4	4—6	6—7	7—8 (9)
Точность обработки (класс по ГОСТ)	3—4	Определяется точностью станка		
Износ инструмента в %	10—30	15—50	5—10	2—4
Среда	Водные растворы жидкого стекла, уд. вес 1,28—1,30	Водные растворы жидкого стекла, уд. вес 1,36—1,38		

## анодно-механической обработки металлов

Шлифование				Долбление полостей штампов	Разрезание контактов
черновое	чистовое	отделочное	притирочное		
20—24	18—20	6—24	12—24	20—36	27—30
16—20	14—16	4—5	10—20	19—25	18—21
0,08—1,5	0,03—0,07	0,005—0,01	0,005—0,01	0,05—0,15	
Определяется площадью непосредственного и одновременного контактирования					35—40
10—20	15—25	3—6	8—15	2—3	
20—30	20—30	0,5—1,0	30	0,5—2,0 (возвратно- поступательная 15—20 хо- дов/сек.)	6—12
0,5—1,5	0,5—1,5	0,5—5	1—1,5	0,5—2,0	6—12
Сталь, реже медь	Чугун, медь	Электронейтральный инструмент и катодные пластины		Медь	Сталь, латунь
Черные и твердые сплавы		Черные и твердые сплавы		Сталь	Вольфрам
10—30	2—15	2—3	2—6	50—250	
0,1—0,3 мм	0,02—0,15 мм	0,02—0,03	0,025—0,06	0,5—2,5	
6—7	8—10	10—12	9—11	4—6	
2—3	2	1	1—2	2—4	
1—2	1—2	0—1	0—2	5—15	
Водные растворы жидкого стекла, уд. вес 1,27—1,30		Водные растворы различных солей		Водные рас- творы жидкого стекла, уд. вес 1,35—1,38	Водные ра- створы жидкого стекла, уд. вес 1,25—1,26

7. Анодно-механическое профилирование (фиг. 7, в). Производится с помощью инструмента (шаблона) 1, имеющего форму сечения изделия 2 при вращении последнего.

Некоторые примеры назначения анодно-механического способа обработки приведены в табл. 11; основные технические и технологические характеристики анодно-механического метода обработки, облегчающие выбор объектов его применения, приведены в табл. 12.

Анодно-механическая обработка производится при постоянном токе; применение переменного тока снижает интенсивность процесса и повышает износ инструмента. Наложение переменного тока на постоянный, либо применение пульсирующего постоянного тока, повышает интенсивность процесса по сравнению с чистым постоянным током.

В качестве рабочей жидкости применяются растворы различных солей, образующих на аноде плохопроводящие пленки, водные суспензии минеральных диэлектриков и в ряде случаев обычная вода. Наиболее широко используются водные растворы жидкого стекла.

Количество жидкости должно быть не менее 5—10 л/мин при глубине врезания инструмента до 30 мм и 25—35 л/мин при диаметре изделия 200—300 мм.

#### ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

Анодно-механическая обработка применима для любых металлов и сплавов независимо от их твердости.

Интенсивность съема зависит в некоторой степени от теплофизических свойств обрабатываемого металла.

Основное назначение инструмента при анодно-механической обработке: подвод тока в рабочую зону, удаление образующихся продуктов, создание направленного разрушения.

Для резания употребляют металлические диски или ленту небольшой толщины, для шлифования и затачивания — массивные диски, для долбления — профильные электроды, для чистовой обработки — неметаллические скребки или ролики в сочетании с катодными пластинами и т. д.

Материалами для инструмента служат: при резании — мягкая сталь, латунь, реже медь; при затачивании — отбеленный чугун, сталь, реже красная медь; при долблении — красная медь; при чистовой обработке металлическим инструментом — чугун, красная медь; при чистовой обработке нейтральным инструментом — абразивы, резина, твердые породы дерева и т. п. (табл. 13).

Диски для резания изготавливаются из стали толщиной 0,5—6 мм, диаметром не более 1000—1200 мм в связи с трудностью правки. Толщина лент обычно 0,4—1,5 мм, ширина 15—40 мм.

Диски для анодно-механического затачивания изготавливаются из стали, а также из серого и отбеленного чугуна. На торцевой поверхности дисков прорезают канавки для равномерного подвода рабочей жидкости ко всем участкам затачиваемой поверхности и для лучшего удаления из зоны затачивания отходов обработки.

## Инструменты — катоды для анодно-механической обработки металлов

Наименование операции	Тип инструмента	Материал	Краткая характеристика
Анодно-механическое резание	Диск или лента	Сталь	Толщина инструмента 0,1—6 мм в зависимости от условий работы. Для резки сечений размером не свыше 300 × 300 мм применяется диск, для любых сечений — лента
Анодно-механическая обдирка	Массивный диск	Чугун, сталь	Работа периферией
Анодно-механическое затачивание инструмента	Массивный диск	Чугун, сталь	Работа торцом диска. Обычно наскаются канавки для подвода электролита и удаления отходов
Анодно-механическое долбление	Фасонный электрод — негативная форма выдалбливаемой полости	Медь, чугун, сталь, алюминий, металло-керамические массы	Работа торцом. Обязательны жесткость и устойчивость при вибрации и ударах
Анодно-механическое отделочное шлифование	Скребок прямоугольной формы	Мелкозернистый абразив, древесина, резина, пластмассы	Твердость и зернистость в зависимости от требуемой чистоты и производительности
Анодно-механическое профильное точение	Профильная пластина	Медь, латунь, сталь	

Таблица 14  
Характеристики некоторых анодно-механических станков и установок \*

Элементы характеристики станка	Модель станка				
	АМО-12	4821	АМО-32	Ар-300	АМЗР·
Назначение станка					
Наибольший размер обрабатываемого сечения в мм	30	150	100	300	25×45 20×45
Мощность приводного двигателя в квт	3,5	1,2	2,0	2,7	1,0 0,65
Наибольшая мощность технологического тока в квт	13	7,5	6,5	8,0	1,0 1,2
Диаметр диска в мм	1100	650	420	350	180 160
Максимальная сила рабочего тока в а	600	300	250	300	70 70
Напряжение рабочего тока в в		До 30	22—25	24	22—24 22—24
Окружная скорость диска в м/сек	22	16; 20	17	17; 20	15 12; 15; 20
Источник питания постоянным током	Механический выпрямитель	Механический выпрямитель	Посторонний выпрямитель	Механический выпрямитель	Селеновый выпрямитель
Емкость бака в л	100	60	35	85	35 30
Габариты станка в мм	1775×1975×1690	1675×1150×1320	1310×760×1376	550×800×1800	900×900×1450 1000×840×1460
Вес станка в кг	2300	1100	700	1200	600 900

\* Здесь даны только модели станков, выпущенных серийно.

Продолжение табл. 14

Элементы характеристики станка	4362	К-1	АЗК-2	4ФМ362	3Г12-АМ	4820	4822	4823
Назначение станка	Затачивание инструмента		Затачивание буровых коронки	Профилиро- вание фасонного инструмента	Шлифова- ние	Разрезка		
Наибольший размер обрабаты- ваемого сечения в мм	30×45	30×45	Все типы буровых коронки	До Ø 68 До 25×40	До 150 — наружное До 50 — внутреннее	До Ø 75 До 75×75	До Ø 300	До Ø 600
Мощность при- водного двигателя в кВт	0,65	1,5	1,5	4,5	5,3	4,5		
Наибольшая мощность техно- логического тока в кВт	1,0	1,5	2,4	1,4	—	4	11,2	17
Диаметр диска в мм	50—150	150	2×400	240	—	350	Лента 5700×30, толщина 0,8—1,5	Лента 6000×40, толщина 0,8—1,2



Элементы характеристики станка	4362	К-1	АЗК-2	4ФМ362	ЗГ12-АМ	4820	4822	4823
Максимальная сила рабочего то- ка в а	70	70	30—40	80	48	150	300	600
Напряжение ра- бочего тока в в	22—24	10—28	18—20	18—20	—	24—26	22—30	24—28
Окружная ско- рость диска в м/сек	10; 15	10,5	9—12	0,2/20	—	25	Лента 16	Лента 16
Источник пита- ния постоянным током	Селеновый выпрямитель	Механиче- ский выпря- митель	Селеновый выпрямитель	Селеновый выпрямитель	Селеновый выпрямитель	Селеновый выпрямитель	Селеновый выпрямитель	Селеновый выпрямитель
Емкость бака в л	40	50	90			60		
Габариты стан- ка в мм	1290×700×1550	1100×1100×1680	1500×1200×1500+ +700×500×1600	1260×1250×1610	2880×1680×1700	1080×1190×1790	1640×2240×2625	2500×2400×2800
Вес станка в кг	630	800	1285	1200	1700	1173	3500	4800

Применяются диски с канавками двух типов — в виде спирали и в виде пазов, расположенных под углом  $15\text{--}30^\circ$  к радиусу, проведенному через точку пересечения канавки с окружностью диска.

Диски могут изготавливаться также штамповкой или отливкой. Часто применяют диски, состоящие из постоянной ступицы и сменной рабочей накладки. Профильные инструменты для долбления изготавливаются из красной меди, иногда из стали. При чистовой отделке применяют инструменты, изготовленные из резины, дерева, мелкозернистых абразивов и т. п.

Стойкость инструмента зависит от его материала, электрического режима и условий работы. Износ стальных дисков и ленты при резании составляет  $10\text{--}30\%$  по отношению к удаленному в виде отходов металлу.

При затачивании износ медного диска по отношению к снимаемому металлу составляет  $3\text{--}6\%$ , чугуна —  $5\text{--}8\%$ , стального —  $6\text{--}15\%$ . Правильным подбором режимов, подачи жидкости и давления можно износ инструмента еще снизить.

Точность обработки при резании не превышает 4—5-го класса, при шлифовании соответствует 2—3-му классу, при чистовых доводочных операциях — 1-му классу.

Изменение структуры поверхности наблюдается у стальных изделий после анодно-механической обработки при высокой плотности тока. Образующийся подкаленный слой имеет толщину  $10\text{--}100\text{ мк}$ . Ширина реза обычно в  $1,5\text{--}2$  раза больше толщины диска.

## ОБОРУДОВАНИЕ

Типичным для всех анодно-механических станков является совмещение электрической и механической частей в одних и тех же узлах. Характеристики некоторых анодно-механических станков приведены в табл. 14.

## V. НАГРЕВ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ В ЭЛЕКТРОЛИТАХ



способ нагрева металлов в электролите основан на использовании тепла, выделяющегося в процессе электролиза при повышенной плотности тока на катоде за счет совместного протекания электрических разрядов и экзотермических реакций.

В последние годы способ получил распространение для выполнения ряда операций термической обработки в массовом производстве (табл. 15). Сущность способа показана на фиг. 8, а.

При прохождении постоянного электрического тока соответствующего напряжения и плотности через электролит между электродами поверхность катода нагревается с большой скоростью до высокой температуры.

Нагрев обуславливается искровыми разрядами между поверхностью катода и электролитом, создающими пульсирующие тепловые потоки, а также экзотермическими реакциями, протекающими в газовой оболочке, образующейся у катода.

## Некоторые назначения способа нагрева металлов в электролитах

Наименование операции	Преимущества	Недостатки
Местный, или общий сквозной, или поверхностный нагрев изделий инструмента и заготовок из токопроводящих материалов для горячей механической или термической обработки	Весьма высокая и легко регулируемая скорость нагрева; отсутствие окисления поверхности; сохранение исходной чистоты и точности обработки; пригодность для любых токопроводящих материалов; простота автоматизации; простота обслуживания и улучшение условий труда; улучшение качества обрабатываемого материала	Необходимость применения специальных устройств и работа на повышенных напряжениях
Пайка	Отсутствие необходимости в применении флюсов; сокращение расхода припоя; значительное повышение производительности; легкость автоматизации и ввода в поточные линии	То же
Светлый отжиг проволоки, тонких трубок, гибких валов, игл и т. п.	Повышение качества продукции и упрощение операции	.
Спекание и горячая прессовка металлокерамических сплавов	Сочетание процесса спаивания зерен и прессовки в одной операции; упрощение технологии; улучшение качества	.

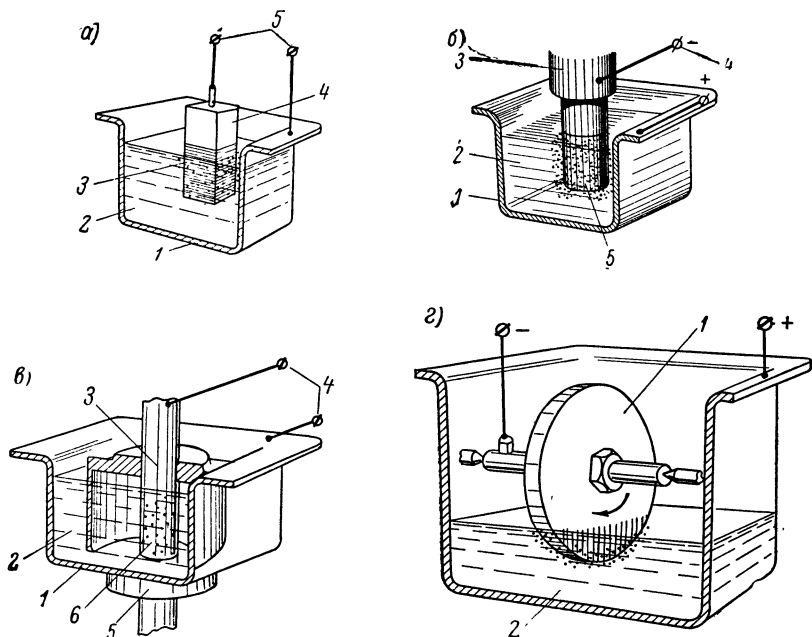
Процесс обычно имеет две фазы: первая из них — прерывистых разрядов — при правильном режиме кратковременна либо отсутствует; ведущим фактором нагрева является разряд через устойчивую газовую оболочку у катода.

Для практических целей наиболее целесообразен двухступенчатый нагрев, при котором после определенного периода проведения процесса при повышенных напряжениях производится снижение напряжения.

Для устойчивости процесса плотность тока на катоде должна значительно превышать плотность тока на аноде.

Способ позволяет осуществлять местный или общий нагрев любых металлических токопроводящих материалов и изделий с большой скоростью, без окисления поверхностей, на любую заданную глубину.

Из выполняемых по данному способу операций можно перечислить: поверхностную закалку, сквозной нагрев под штамповку,



Фиг. 8.

*а* — принципиальная схема нагрева в электролите:

1 — ванна-анод; 2 — электролит; 3 — поверхность, нагреваемая под газовой пленкой; 4 — изделие-катод; 5 — подвод тока.

*б* — схема общего концевго нагрева в электролите:

1 — ванна-анод; 2 — электролит; 3 — изделие-катод; 4 — подвод тока; 5 — нагреваемая поверхность изделия.

*в* — схема общего последовательного нагрева в электролите:

1 — ванна-анод; 2 — электролит; 3 — изделие-катод; 4 — подвод тока; 6 — нагреваемая поверхность изделия; 5 — изоляционная втулка для прохода изделия через ванну.

*г* — схема последовательного нагрева тел вращения в электролите:

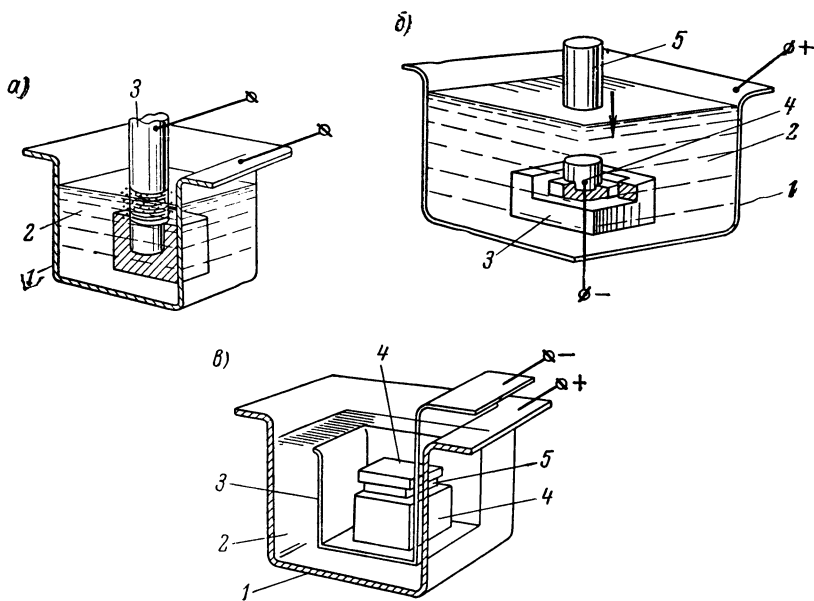
1 — изделие-катод (шестерня); 2 — электролит.

пайку твердыми припоями без флюсов, безокислительный отжиг. Сущность отдельных операций, выполняемых по методу нагрева в электролите, приводится ниже.

Общий концевой нагрев показан на фиг. 8, б. Изделие 3, подлежащее нагреву, погружается в качестве катода в электролизную ванну 1, заполненную электролитом 2, через который пропускается электрический ток повышенного напряжения от источника 4. Часть

изделия 5, соприкасающаяся с электролитом, нагревается до требуемой температуры; степень нагрева регулируется длительностью процесса.

Общий последовательный нагрев показан на фиг. 8, в, г. Нагреваемое изделие 3 непрерывно перемещается через ванну 1 с элек-



Фиг. 9.

*а* — схема местного нагрева под закалку или отжиг:

1 — ванна-анод; 2 — электролит; 3 — изделие.

*б* — схема нагрева в электролите под горячую высадку:

1 — ванна-анод; 2 — электролит; 3 — изолятор-подставка; 4 — нагреваемая заготовка-катод в матрице; 5 — боек-пуансон.

*в* — схема пайки при нагреве в электролите:

1 — ванна-анод; 2 — электролит; 3 — подвеска; 4 — соединяемые пайкой детали; 5 — припой.

тролитом 2 при пропускании тока повышенного напряжения. Соответственно перемещается зона нагрева.

Местный нагрев под закалку или отжиг (фиг. 9, *а*) осуществляется изоляцией участков, не подлежащих нагреву, при помощи неметаллических экранов (например, огнеупорного кирпича).

Нагрев под горячую высадку показан на фиг. 9, *б*. Заготовка 4, помещенная в изолированную матрицу-подставку и включенная катодом, нагревается при прохождении тока повышенного напряжения через электролит 2. По достижении требуемой температуры ток выключается и боек 5 опускается на размягченную заготовку.

Пайка при нагреве в электролите показана на фиг. 9, *в*. При прохождении тока повышенного напряжения через электролит 2, спаиваемые детали 4, находящиеся в приспособлении, нагреваются,

и припой 5 между ними плавится, прочно соединяя детали по остыванию.

Некоторые технологические характеристики, облегчающие выбор условий использования метода нагрева в электролите, приведены в табл. 16; характеристика оборудования, применяемого для осуществления метода, дана в табл. 17.

Таблица 16

Примеры проведения нагрева в электролитах

Тип нагрева	Диаметр заготовки в мм	Глубина погружения в мм	Глубина слоя электролита в мм	Время нагрева в сек.	Напряжение в в	Средняя сила тока в а	Скорость перемещения в мм/мин	Длина нагреваемой части в мм	Температура нагрева в °С
Концевой	15	45	—	19	200	60	—	42	1200
	20	56	—	19	220	110	—	45	1200
	15	45	—	16,5	200	60	—	42	1200
	20	56	—	16,5	240	110	—	45	1200
	15	45	—	13	220	65	—	42	1250
	20	56	—	13	250	115	—	46	1200
	15	45	—	10	220	65	—	40	1150
	20	56	—	10	250	115	—	43	1000
Последовательный	40	—	30	130	245	145	08	120	1200
	40	—	45	105	245	180	08	120	1200
	40	—	60	100	245	210	08	120	1200
	40	—	30	215	245	140	08	200	1100
	40	—	45	165	245	180	08	200	1200
	40	—	60	130	245	220	08	200	1300

Таблица 17

Оборудование для проведения операций по способу нагрева металлов в электролитах

Характер операции	Тип (модель)	Назначение и основные характеристики
Концевой нагрев при свободном торце	АЭ1 (1937 г.)	Закалка концов выхлопного и всасывающего клапанов моторов. Управление педальное. Сигнализация окончания рабочего цикла. Производительность 400 деталей в час

Характер операции	Тип (модель)	Назначение и основные характеристики
Концевой нагрев при свободном торце	АЭ2 (1940 г.)	Обработка без специальных переналадок деталей нескольких видов. Полная автоматизация. Включение кнопочное. Производительность до 2000 деталей в час. Одновременно обрабатываются 8 деталей
Концевой нагрев при изолированном торце. Пайка и спекание	АЭ4 (1944—46 гг.)	Обработка различных деталей машин. Полная автоматизация. Магнитное крепление деталей. Автомат универсален. Производительность 300—400 деталей в час
Концевой нагрев	АЭ5	Универсальный автомат карусельного типа непрерывного действия. Производительность 600—800 деталей в час; возможен нагрев штанг до 1,5—2 м. Нагреваемая площадь до 100—150 см <sup>2</sup> . Мощность 80 ккал
Концевой нагрев	АЭ7	Для заготовок диаметром до 20 мм. Полная автоматизация, включая подачу и сьем заготовок
Последовательный сплошной и поверхностный нагрев	АЭ8	Для нагрева заготовок под горячую механическую обработку и поверхностную закалку деталей трактора. Строго ограниченная зона нагрева. Автоматическая выдача деталей
Последовательная поверхностная закалка	АЭ9  АЭ12	Автомат специализирован для поверхностной последовательной закалки звеньев гусеницы трактора. Одновременно обрабатываются 4 детали. Мощность 60 ккал. Производительность 120—150 деталей в час. Резервный бак для электролита Автомат циклического действия
Концевой нагрев при свободном торце, закалка и отжиг при экранированном торце. Последовательная поверхностная закалка	АЭ5а  АЭ13 (вариант)	Автомат специализирован для закалки клапанов. Все операции автоматизированы. Мощность 6—7 квт. Производительность 1200—1400 деталей в час Автомат специализирован для закалки пальцев звена гусеницы трактора. Автоматическая загрузка и выдача. Душевая закалка. Мощность 150 квт. Производительность 240 деталей в час
Непрерывный последовательный нагрев за несколько оборотов	АЭ15	Закалка ободьев катков, роликов, венцов шестерен и т. д. Автомат карусельного типа. Мощность 250 квт. Производительность 60 деталей в час

## VI. ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫЕ СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ

### СУЩНОСТЬ СПОСОБОВ



электроконтактные способы основаны на использовании тепла, выделяющегося при прохождении электрического тока через участки цепи с повышенным сопротивлением, в частности, через контакты. В связи с технологической простотой и экономичностью способов они получают все большее распространение.

Сущность способов (фиг. 10, а) — прохождение электрического тока соответствующей плотности по замкнутой цепи; сопровождается выделением тепла. Степень тепловыделения при данной силе тока пропорциональна сопротивлению цепи, поэтому в участках повышенного сопротивления температура может достигать больших значений.

Соприкосновение под небольшим давлением двух металлических электродов — инструмента 1 и изделия 2 — приводит к образованию в месте контакта повышенного, переходного, сопротивления. Проходящий через место контакта электрический ток разогревает, размягчает и плавит металл, облегчая его удаление с изделия. Для предотвращения плавления инструмента ему придают большую скорость перемещения или искусственно охлаждают.

Описанное явление электроконтактного тепловыделения используется как для проведения операций обработки, проводящихся с удалением металла (резка, шлифование, заточка, фрезерование, прошивка и т. д.), так и для операций, при которых металл не удаляется (сглаживание, контактная сварка), либо наносится (виброконтактная наплавка, электроконтактная наварка).

Приводим характеристики некоторых операций.

1. Электроконтактное затачивание инструмента (фиг. 10, б). Тепло, выделяемое при прохождении электрического тока через переходное сопротивление, создавшееся в месте контакта поверхности вращающегося заточного диска 3 и затачиваемого резца 2, разрушает поверхность резца в направлении, задаваемом диском, осуществляя заточку резца.

2. Электромеханическая очистка стали от окалины (фиг. 10, в). При контактировании стальной щетки с поверхностью стального листа, покрытого окалиной, и пропускании через образовавшуюся цепь тока в месте контакта выделяется тепло, плавящее окалину. Расплавленная окалина сметается быстровращающейся щеткой.

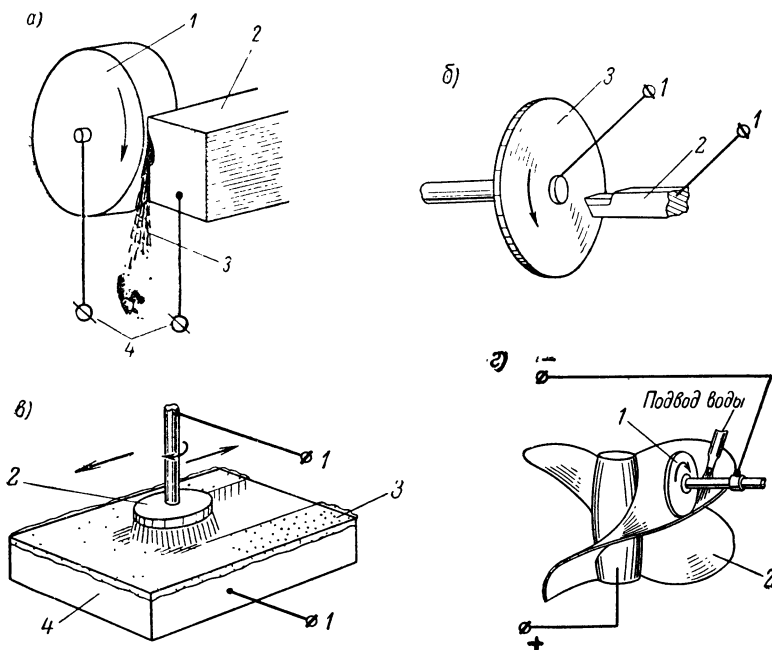
3. Скоростная электроэрозионная обработка (фиг. 10, г). Контактное металлического диска инструмента с металлической поверхностью изделия в присутствии воды и при прохождении электрического тока большой плотности приводит к интенсивному разрушению металла изделия.

Направление разрушению задается перемещением диска.



4. Глубокое электроконтактное сверление (фиг. 11, а). Разрушение металла обрабатываемого изделия 5 производится при помощи металлической трубки инструмента 3, контактирующей с изделием в присутствии жидкости 2, и при прохождении электрического тока. Разрушенный металл 4 уносится струей жидкости.

5. Виброконтактная наплавка (фиг. 11, б). Нанесение прочного слоя металла на заготовку производится при плавлении



Фиг. 10.

а — принципиальная схема электроконтактной обработки:

1 — электрод-инструмент (диск); 2 — заготовка; 3 — зона контактного нагрева и плавления; 4 — подвод тока.

б — электроконтактное затачивание инструмента:

1 — подвод тока; 2 — затачиваемый резец; 3 — заточный диск.

в — электромеханическая очистка от окалины:

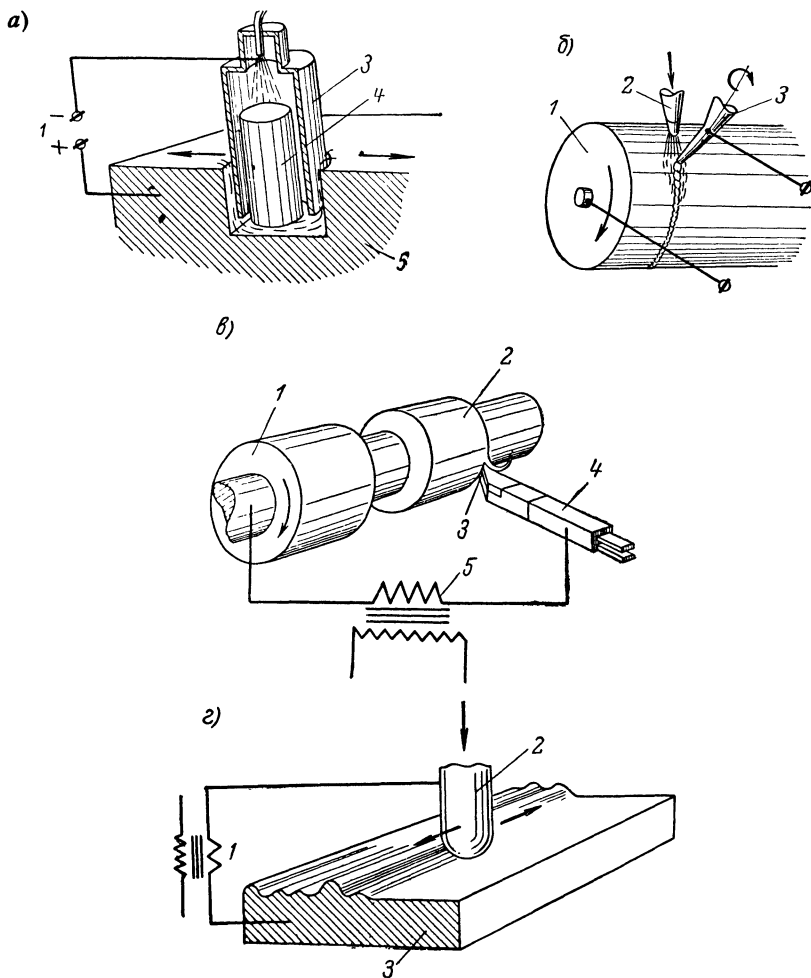
1 — подвод тока; 2 — проволочная щетка-электрод; 3 — слой окалины на изделии; 4 — изделие.

г — электроконтактная обдирка (шлифование) профильных изделий:

1 — шлифующий диск; 2 — поверхность изделия.

нии электродной проволоки теплом, выделяющимся в момент контактирования с заготовкой. Вращение и продольная вибрация проволоки, а также присутствие жидкости препятствует сильному прогреву заготовки, свойства которой остаются неизменными.

6. Электромеханическое точение (фиг. 11, в). Наложение электрического тока низкого напряжения и большой плотности на систему резец — изделие приводит к интенсивному



Фиг. 11.

*a* — электроконтактное сверление (прошивка):

1 — подвод тока; 2 — подача масла или воды; 3 — режущая трубка-электрод;  
4 — вырезаемая часть заготовки; 5 — изделие.

*б* — виброконтактная наплавка:

1 — изделие; 2 — подача жидкости; 3 — подача наплавляемой проволоки.

*в* — электромеханическое точение:

1 — зажимной патрон (планшайба); 2 — обрабатываемая поверхность; 3 — резец; 4 — державка резца, охлаждаемая водой; 5 — понижающий трансформатор.

*г* — электроконтактное сглаживание:

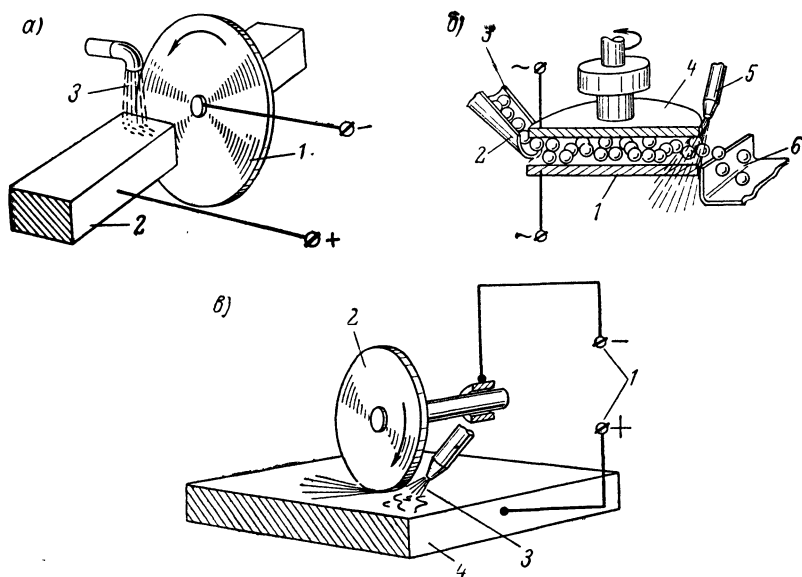
1 — понижающий трансформатор; 2 — сглаживающий электрод (резец); 3 — сглаживаемая заготовка.

выделению тепла в зоне их контакта 3, что изменяет условия резания; при этом повышается производительность либо чистота обработанной поверхности.

7. Электромеханическое сглаживание (фиг. 11, з). Сглаживание гребешков 3 шероховатой поверхности производится с помощью ролика или резца 2, перемещающегося под давлением вдоль сглаживаемой поверхности при прохождении между ними электрического тока низкого напряжения и большой плотности, выделяющего тепло, размягчающее контактные площадки.

### НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОГО СПОСОБА

*Выполняемые операции:* разрезание металлических заготовок и изделий (фиг. 12, а), затачивание твердосплавного инструмента;



Фиг. 12.

а — схема электроконтактной резки:

1 — режущий диск; 2 — заготовка; 3 — подача жидкости.

б — электроконтактная опиловка шаров:

1 — нижний диск-электрод; 2 — желоб для подачи шаров заготовок; 3 — обрабатываемые шары; 4 — верхний диск-электрод; 5 — подача воды; 6 — выход обкатанных шаров.

в — схема электроконтактной обдирки (шлифования) плоских поверхностей:

1 — подвод тока; 2 — шлифовальный диск; 3 — подача жидкости; 4 — обрабатываемое изделие.

профильная обработка (скоростное электрофрезерование); электромеханическое точение; электромеханическая очистка от окалины; электромеханическое сглаживание; электромеханическая обкатка

шариков (фиг. 12, б); глубокое электроконтактное сверление; электроконтактная обдирка (фиг. 12, в).

*Цели применения:* повышение стойкости или сокращение расхода дорогостоящего инструмента; повышение производительности по сравнению с механическим разрезанием; облегчение разрезания специальных сплавов; повышение производительности по сравнению с абразивной заточкой и доводкой; экономия абразивов; упрощение конструкции станков; значительное повышение производительности при обработке твердых металлов и сплавов; устранение необходимости в специальном инструменте; некоторое повышение чистоты обработки с сохранением постоянной производительности при точении; некоторое повышение стойкости резца и твердости поверхности при точении; облегчение удаления прочносцепленной окалины с поверхности стали; повышение производительности и облегчение проведения чистовой отделки поверхности.

*Недостатки:* при больших съемах металла — невысокая чистота и точность; термические изменения металла в зоне резания; необходимость тщательного контроля режима и качества при операциях обдирки и шлифования во избежание сетки трещин.

Производительность электроконтактной очистки ниже пескоструйной и химической очистки.

Укажем типы применяемых инструментов для некоторых операций электроконтактной обработки.

1. Для электроконтактного затачивания инструмента: массивный диск из отбеленного чугуна, меди, стали; в зависимости от конструкции станка работа производится торцом или периферией.

2. Для скоростной электроэрозионной обработки: массивный диск из стали, чугуна, меди, алюминия; работает периферией.

3. Для электромеханической очистки стали от окалины: щетка из стальной проволоки  $\varnothing 2\text{--}3\text{ мм}$ ; работа торцом или периферией в зависимости от конструкции.

4. Глубокое электроконтактное сверление: трубка из латуни или меди; работа торцом.

5. Виброконтактная наплавка: проволока из стали или сплава заданного состава; электродная проволока плавится и переносится на изделие.

6. Электромеханическое точение: токарный резец, оснащенный твердым сплавом; резец обычного типа с водяным внутренним охлаждением державки.

7. Электромеханическое сглаживание: чашечный токарный резец, оснащенный твердым сплавом, или стальной ролик; рекомендуется внутреннее охлаждение державки.

В табл. 18 приведены основные технические характеристики некоторых операций электроконтактной обработки, а в табл. 19 — сведения о назначении способа. Характеристика оборудования, применяемого для электроконтактной обработки, дана в табл. 20.

# Основные технические характеристики некоторых

Наименование показателя	Электроконтактное затачивание			Электроэрози- онное фрезерование		Электромеха- ническая очистка от окалины	
	I	II	III	I	II	I	II
Напряжение холостое в в .	12	6	2	29—36	36	16—18	8—10
Напряжение рабочее в в .	10—11	4—5	1,5—1,8	36—30	21—22	14—15	7—9
Сила тока короткого замы- кания в а . . . . .	300	120	30	650—1000	400—600	800—1000	300—400
Сила рабочего тока в а . .	200—250	100—110	25—28	500—650	200—400	350—400	150—200
Расчетная плотность тока в а/мм <sup>2</sup> . . . . .	0,5—0,6	0,2—0,3	0,05—0,06			35—100	15—40
Удельный расход энергии:							
в квт-ч/кг . . . . .	5—6	4—5	4—5	1,8—20	3,4	—	—
в квт-ч/м <sup>2</sup> . . . . .	—	—	—	—	—	18—21	0,8—1,3
Скорость перемещения электродов в м/сек . . . . .	30—40	30—40	30—40	15—20	15—20	35—40	35—40
Давление в кг/см <sup>2</sup> . . . . .	0,3—0,5	0,3—0,5	0,3—0,5	0,4—0,6	0,4—0,6	0,2—0,4	0,2—0,4
Материал электрода-инстру- мента . . . . .	—	Медь, сталь		Чугун, сталь		Стальная проволока	
Материал изделия . . . . .	Твердые сплавы			Сталь	Спе- циаль- ные спла- вы		Ст
Интенсивность съема:							
в мм <sup>3</sup> /мин . . . . .	400—500	150—200	20—40	30 000	5000	—	—
в м <sup>3</sup> /час . . . . .	Грань 20×20		3,6—4,5 мин.			2,5—3,5	1,2—1,3
Чистота поверхности (класс по ГОСТ) . . . . .				1	3	2—3	3—5
Точность обработки (класс по ГОСТ) . . . . .				2—3			
Износ инструмента в % к весу . . . . .	0,5—0,8	0,2—0,5	0,1—0,2	4—5	1—1,5	1 сетка Ø 150 мм на 30 м <sup>2</sup>	
Среда . . . . .	Минеральное масло + вода или масло + эмульсия			Вода		Воз	

Примечание. I, II, III — переходы. Все операции, кроме электроэрозионного фрезерования,

## операций электроконтактной обработки металлов

Электро- контактная разрезка листов	Электромеханическое точение		Электроме- ханическое сглажива- ние	Электромеха- ническая обработка шаров	Электро- контактное сверление	Электро- контактное извлечение сломанного инстру- мента	Электро- контактное оплавление
	I	II					
8—12 7—10	0,2—2,0 0,1—1	2—6 2—3	0,2—1,2 0,1—1	15—30 10—20	24—35 22—30	3—15 1—10	18—28 16—25
800—1000 250—400	1200—2000 800—1200	300—600 100—200	400—700 200—500	6000—8000 3000—5000	250 90—120	5—20	1100 1100—2600
10—15	50—200	5—30			0,6—0,8		3,5—7
4—5 —	0,2—0,5	0,1—0,2		10 —			14—20 14—20
40—50 0,3—0,5	1—5 0,6—0,8 усилия	0,2—0,8 от обыч- ного резания	2—6	7—30 1—6	1—2 (масло)	3—9 (жидко- сти)	30
Латунь, медь, сталь	Твердосплавный резец			Чугун	Латунь ЛС59	Медь	Сталь
аль				Сталь ШХ	Сталь	Сталь, твердые сплавы	Сталь
1000—2000	10000—40000	1000—10000	0	720 000—960 000	800—1500	400	3 000 000
2—3	6—8	5—6	8—10	1—3	1—3	2—3	1
4—5	1—2	2—3	2				4—5
10—15	Несколько ниже, чем без тока		0	50—60	20—110		Незначи- телен
дух	Воздух или эмульсия		Воздух	Вода	Масло	Вола, эмульсия	Вода

проводятся на переменном токе.

## Некоторые назначения электроконтактного способа обработки металлов

Операция	Преимущества	Недостатки
Разрезание металлических заготовок и изделий	Повышение стойкости или сокращение расхода дорогостоящего инструмента. Повышение производительности по сравнению с механическим разрезанием. Облегчение разрезания специальных сплавов	Невысокая чистота и точность. Термические изменения металла в зоне резания
Затачивание твердосплавного инструмента	Повышение производительности по сравнению с абразивной заточкой и доводкой. Экономия абразивов. Упрощение конструкции станков	Необходимость тщательного контроля режима и качества при операциях обдирки и шлифования во избежание сетки трещин
Профильная обработка (скоростное электрофрезерование)	Значительное повышение производительности при обработке твердых металлов и сплавов. Устранение необходимости в специальном инструменте	Низкая чистота и точность при больших съемах металла
Электромеханическое точение	Некоторое повышение чистоты обработки при сохранении постоянной производительности. Некоторое повышение стойкости реза и твердости поверхности. Повышение производительности при неизменной чистоте поверхности	Несколько усложняется оснастка станка
Электромеханическая очистка от окалины	Облегчение удаления прочносцепленной окалины с поверхности стали	Пониженная производительность по сравнению с пескоструйной и химической очисткой
Электромеханическое сглаживание	Повышение производительности и облегчение проведения чистовой отделки поверхности. Отсутствие съема металла и уплотнение поверхностного слоя	
Электромеханическая обкатка шариков	Упрощение конструкции станков, устранение расхода абразивов. Повышение производительности	
Глубокое электроконтактное сверление	Облегчение обработки твердых материалов на значительные глубины	Наличие термического влияния в зоне обработки

## Характеристики некоторых станков и установок, применяемых при электроконтактной обработке металлов

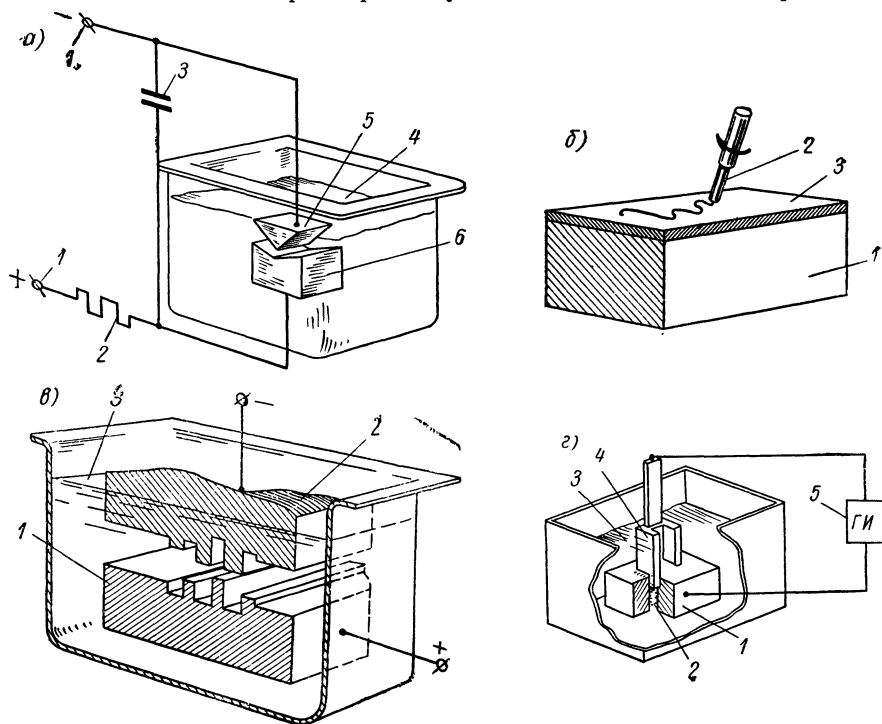
Наименование характеристик	Электромеханический заточный станок ЛП-2	Копировально-шлифовальный станок, модель 711	Электромеханическая щетка	[Головка для вибронанавки
Назначение . . . . .	Заточка инструмента, оснащенного твердым сплавом	Обработка криволинейных поверхностей	Удаление прочной окалины со стали	Нанесение прочного слоя металла на изношенные участки цилиндрических изделий
Тип привода инструмента . . . . .	Электродвигатель	Электродвигатель	Пневматический двигатель	Электродвигатель
Мощность привода в <i>квт</i> . . . . .	0,5	1,5×3	0,6	0,5
Наибольшая мощность технологического тока в <i>квт</i> . . . . .	4	25—30	4—5	4—6
Диаметр инструмента в <i>мм</i> . . . . .	200	170	150	2—4
Окружная скорость инструмента в <i>м/сек</i> . . . . .	30—35	30—32	35—40	—
Максимальная сила рабочего тока в <i>а</i> . . . . .	300	1000	500—800	300—500
Средняя сила рабочего тока в <i>а</i> . . . . .	—	300—400	200—400	150—200
Напряжение рабочего тока в <i>в</i> . . . . .	10—12	28—36	8—16	—
Наибольшие размеры изделия в <i>мм</i> : . . . . .	30×45	Ø 700	Не ограничены	Не ограничены
Подача . . . . .	Ручная	Ручная + автоматическая	Ручная	Ручная + автоматическая
поперечная в <i>мм/мин</i> . . . . .	0,05—0,2	3—10	0,05—0,1	1000—2000
продольная в <i>мм/мин</i> . . . . .	1000—2000	1000—3000	300—600	20—50



## VII. ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ СПОСОБ ОБРАБОТКИ

### СУЩНОСТЬ СПОСОБА

**К** ак видно из фиг. 13, *а*, протекание электрического, импульсного, разряда между электродами приводит к разрушению их поверхности. Преимущественно разрушается анод 6; форма и размеры разрушенного участка практически точно воспроизводят форму и размеры катода 5, что используется в различных операциях направленной, размерной обработки по электрическому способу. Основой любой электроискровой установки является электрическая



Фиг. 13.

*а* — принципиальная схема электроискровой разновидности электроэрозионной обработки с применением релаксационной конденсаторной схемы:

1 — подвод тока; 2 — сопротивление; 3 — конденсатор; 4 — жидкая диэлектрическая среда; 5 — электрод-инструмент; 6 — электрод-изделие (элементы 1, 2, 3 во всех последующих схемах обозначены ГИ — генератор импульсов).

*б* — принципиальная схема электроэрозионного гравирования

1 — изделие; 2 — электрод; 3 — слой масла на поверхности изделия.

*в* — электроискровая прошивка (копирование, гравирование):

1 — изделие-анод; 2 — электрод-инструмент-катод; 3 — рабочая жидкость.

*г* — электроэрозионная прошивка (копирование, гравирование):

1 — заготовка (изделие); 2 — образующаяся полость в изделии; 3 — рабочая среда; 4 — электрод-инструмент; 5 — генератор импульсов.

схема, генерирующая импульсы тока необходимой мощности и характера.

Обычно применяемая простейшая релаксационная ( $RC$ ) схема (фиг. 13, а) включает в себя источник тока, ограничивающее сопротивление и конденсатор постоянной емкости.

Электроискровой способ применяется для выполнения различных операций: прошивка полостей и отверстий любой формы, разрезание, затачивание инструментов, шлифование, упрочнение инструментов, нанесение металлов, получение порошков, гравирование и роспись на металлах и др.

### ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ ОПЕРАЦИЙ

1. Гравирование по металлу методом рисования (фиг. 13, б). Углубленные линии гравюры получаются в результате разрушения металла импульсным разрядом, возникающим при движении электрода (катода) по поверхности металла. Техника гравирования подобна гравированию штихелем, но приложение усилия не требуется, так как металл удаляется электрическим разрядом. Возможно гравирование по металлам и сплавам любой твердости. Поверхность покрыта небольшим слоем жидкости (масла, керосина).

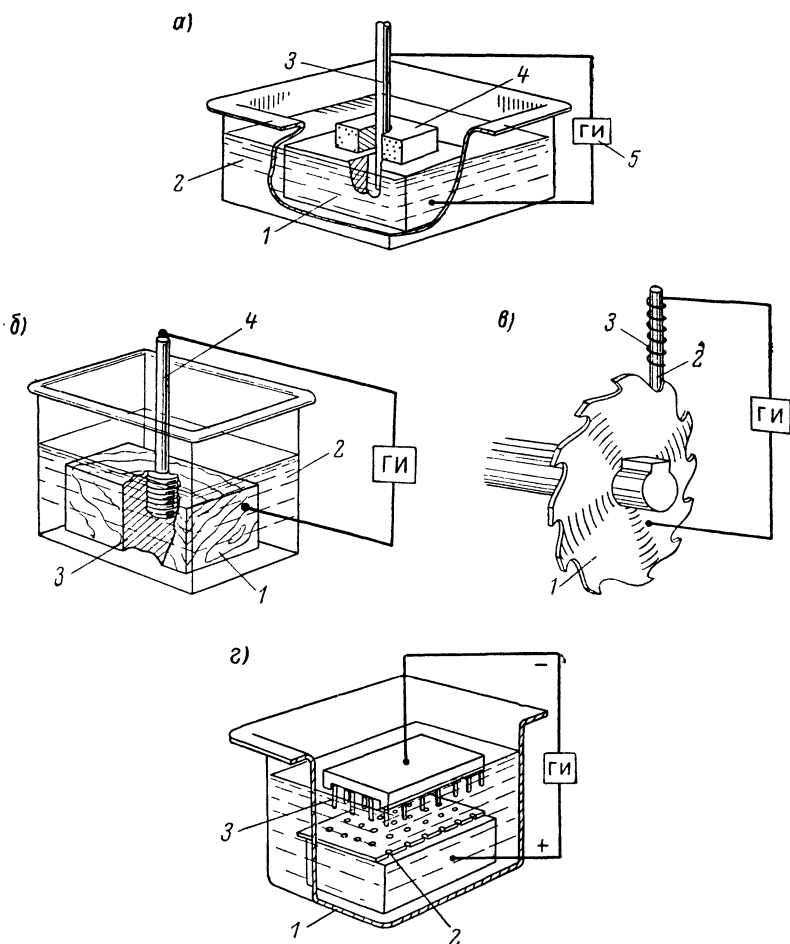
2. Гравирование методом печатания (фиг. 13, в). Гравюра образуется путем сближения штемпеля-катода 2, несущего негативное изображение рисунка, с поверхностью металла — анода 1. Электрический разряд между электродами точно воспроизводит рисунок катодной поверхности на анодной.

3. Электроискровая прошивка полостей и отверстий (фиг. 13, г). Импульсный электрический разряд, возникающий между торцом электрода и изделия, вызывает направленное, размерное, разрушение последнего, с образованием отверстия, воспроизводящего форму сечения электрода и имеющего размеры, превышающие номинальный размер электрода на величину боковых зазоров. Обработка производится в жидкой среде при питании импульсным током от источника.

4. Электроискровая прошивка малых отверстий (фиг. 14, а). Процесс в принципе аналогичен происходящему при электроискровой прошивке полостей, но осуществляется при обязательной вибрации электрода-инструмента или изделия, что облегчает удаление образующихся отходов. Кондуктор изготавливается из твердого материала, который не проводит ток и необходим для обеспечения надежной жесткости инструмента.

5. Электроискровое извлечение сломанного инструмента и крепежа (фиг. 14, б). Для извлечения из тела изделия остатка сломанного инструмента (или крепежа), последний разрезается на части или распыляется при помощи электрического разряда, направляемого катодным электродом. Разрушение производится в среде жидкости при питании электродов импульсным током.

6. Электроискровое упрочнение инструмента (фиг. 14, в). Тепловое и химическое действие электрического разряда, возникающего между электродом и поверхностью инстру-



Фиг. 14.

**а** — электроэрозионная прошивка малых отверстий:

1 — изделие; 2 — рабочая жидкость; 3 — электрод-инструмент; 4 — кондуктор из изоляционного материала; 5 — генератор импульсов.

**б** — электроэрозионное извлечение сломанного инструмента и крепежа:

1 — деталь с застрявшим обломком инструмента или крепежа; 2 — рабочая жидкость; 3 — извлекаемый обломок; 4 — электрод, разрезающий обломок.

**в** — электроэрозионное упрочнение инструментов

1 — упрочняемый инструмент; 2 — упрочняющий электрод; 3 — вибратор.

**г** — электроэрозионное изготовление сеток:

1 — ванна с рабочей жидкостью; 2 — прошиваемое изделие; 3 — электрод для прошивки.

мента, производит резкие структурные изменения последней, приводящие большей частью к увеличению стойкости инструмента. Упрочняющему электроду придается колебательное движение при помощи вибратора.

7. Электроискровое изготовление сеток (фиг. 14, *г*). Сетка получается при электроискровой прошивке листового металла набором из отдельных электродов, размещенных на оправке в соответствии с расположением отверстий в сетке.

8. Электроискровое разрезание (фиг. 15, *а, б*). Разрезание производится под действием электрического разряда, возникающего между движущимся диском-катодом (лентой) и изделием-анодом в среде жидкости при питании цепи импульсным током от источника тока.

9. Роспись по металлу (фиг. 15, *в*). Производится аналогично гравированию методом рисования, но с переменной полярности электродов и подбором состава наносимого металла под требуемый цвет.

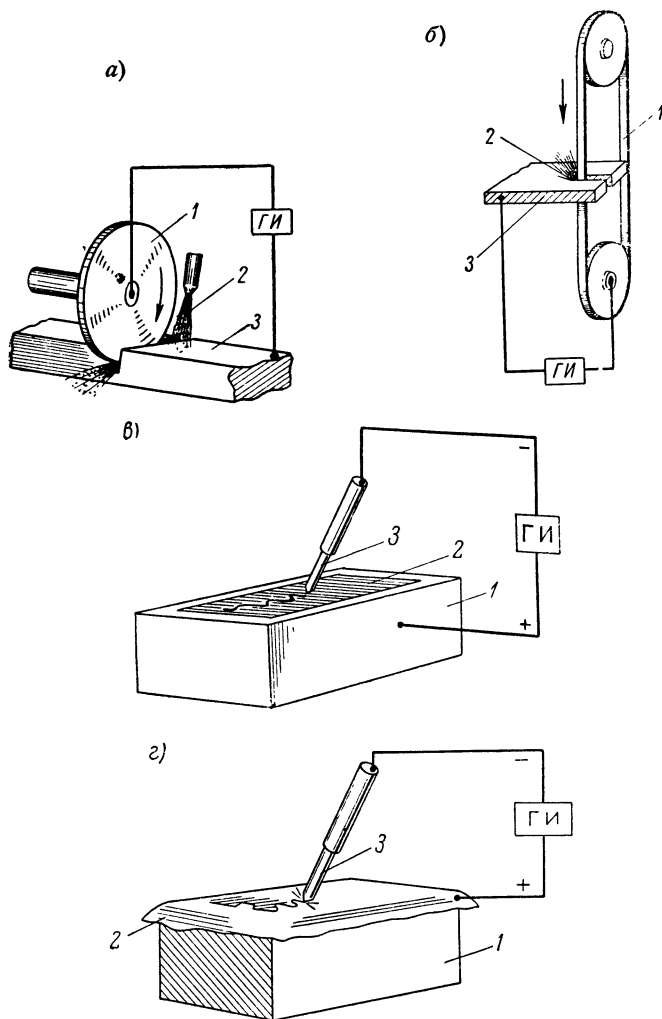
10. Роспись по неметаллическим материалам (стекло, фарфор, керамика). Роспись производится (фиг. 15, *г*) аналогично росписи по металлу, но предварительно неметаллическая поверхность оклеивается листовой фольгой, играющей роль второго электрода. Разряд между катодным электродом («пером») и фольгой плавит последнюю и вжигает ее в основу, оставляя прочные металлические следы образуемого изображения.

11. Электроискровое затачивание и профилирование инструмента (фиг. 16, *а—г*). Импульсный электрический разряд, возникающий между гранью затачиваемого резца, включенного катодом, и поверхностью быстродвигающегося металлического диска (анода), в присутствии жидкости и при питании импульсами тока от источника *З* направленно разрушает и удаляет металл с грани резца, производя шлифование и затачивание ее.

12. Электроискровое шлифование (фиг. 17, *а*). Удаление материала с поверхности шлифуемого изделия происходит в результате действия импульсного электрического разряда, создаваемого между движущимся электродом — шлифовальным диском — и поверхностью изделия, включенного анодом. Обработка производится в среде жидкости при питании цепи импульсами тока от источника.

13. Электроискровое нанесение металлов (фиг. 17, *б*). При определенных параметрах разрядного контура электрический разряд в воздухе и газах сопровождается переносом некоторого количества материала анода на катод. Перемещая по поверхности изделия электрод — анод, приводимый в колебательное движение при помощи вибратора, и создавая между электродами разряд, удастся покрыть поверхность изделия тонким пористым слоем катодного металла.

14. Электроискровое получение порошков (фиг. 17, *в*). Импульсный электрический разряд, разрушая



Фиг. 15.

*a* — принципиальная схема электроэрозионного разрезания диском:

1 — режущий диск; 2 — подача рабочей жидкости; 3 — разрезаемая заготовка.

*б* — принципиальная схема электроэрозионного разрезания лентой:

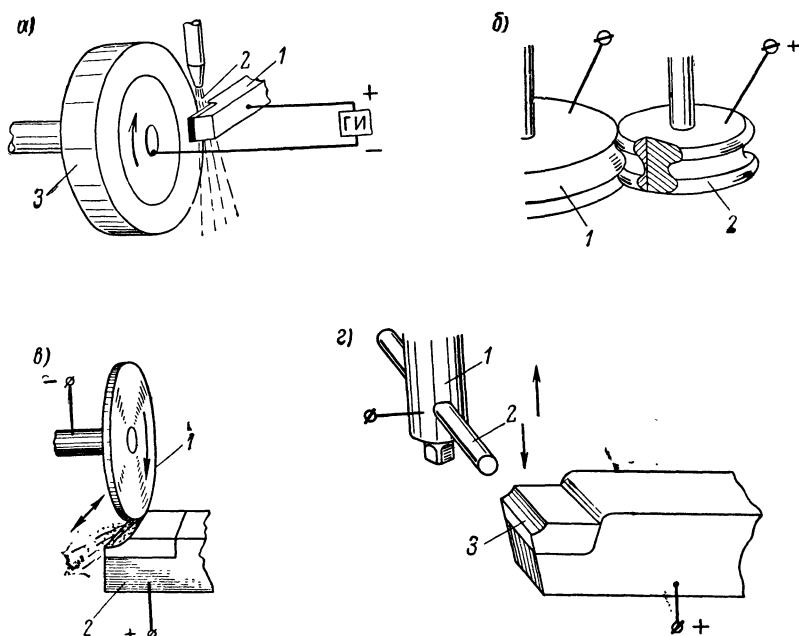
1 — лента; 2 — подача рабочей жидкости; 3 — разрезаемая заготовка.

*в* — электроэрозионная роспись по металлу:

1 — изделие; 2 — слой масла; 3 — гравировальный электрод.

*г* — электроэрозионная роспись по неметаллическим материалам:

1 — изделие; 2 — лист металлической фольги; 3 — электрод.



Фиг. 16.

*a* — электронискровое затачивание инструмента:

1 — затачиваемый резец; 2 — подача рабочей жидкости; 3 — заточной диск.

*б* — электроэрозионное профилирование твердо-сплавного инструмента:

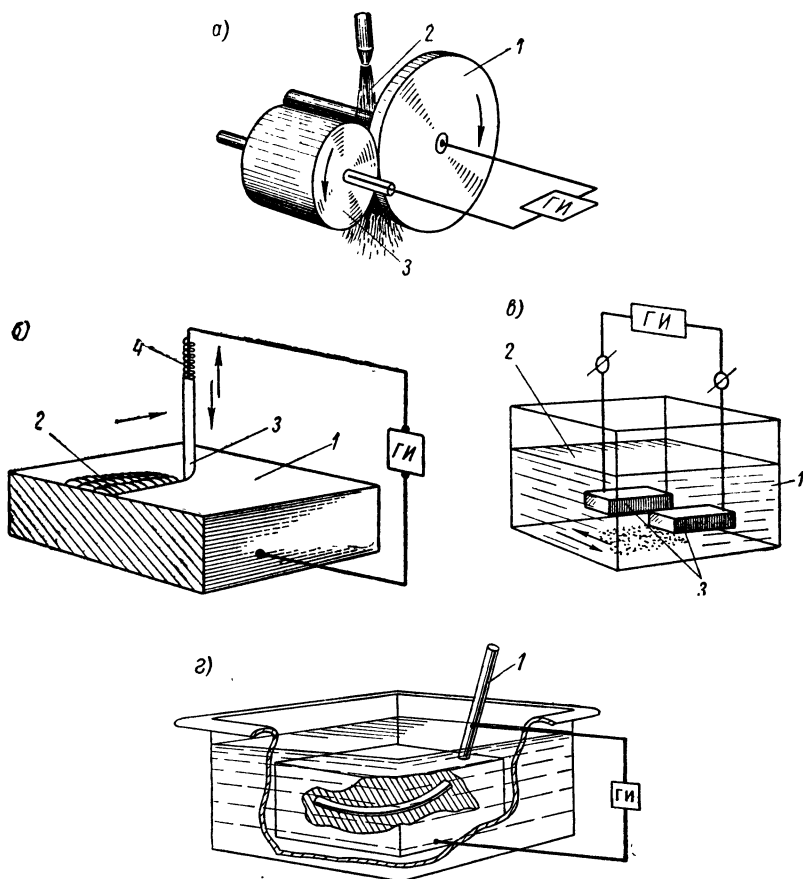
1 — профилирующий электрод; 2 — профилируемый инструмент.

*в* — электроэрозионное профилирование стружколомающих канавок диском на твердосплавном инструменте:

1 — профилирующий диск; 2 — профилируемый резец.

*г* — электроэрозионное профилирование стружколомательных канавок неподвижным электродом:

1 — державка; 2 — профилирующий электрод; 3 — профилируемая канавка.



Фиг. 17.

**а — электроискровое шлифование:**

1 — шлифовальный диск-электрод; 2 — подача рабочей жидкости; 3 — шлифуемое изделие.

**б — электроэрозионное нанесение металлов:**

1 — изделие, покрываемое металлом; 2 — наносимый металл; 3 — электрод; 4 — вибратор.

**в — электроэрозионное получение порошков:**

1 — ванна; 2 — рабочая жидкость; 3 — распыляемые электроды.

**г — электроэрозионная прошивка отверстий с криволинейной осью:**

1 — криволинейный электрод-катод.

в жидкой среде электроды, образует продукты разрушения в виде зерен различной величины, оседающих в жидкости.

15. Электроискровая прошивка криволинейных отверстий (фиг. 17, г). Операция проводится аналогично прошивке отверстий и полостей, но катодный электрод имеет криволинейную форму, повторяемую в отверстии.

### НЕКОТОРЫЕ НАЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО СПОСОБА

*Выполняемые операции:* изготовление штампов вырубных, просечных, кузнечных, чеканочных, пресс-форм и кокилей; изготовление отверстий малых диаметров до 0,12—0,15 мм; изготовление волоков и волочильных досок; прямолинейная резка металла; криволинейная резка металла; заточка резцов и многолезвийного инструмента; извлечение сломанного инструмента и крепежа; гравирование, печатание и роспись по металлу; нарезание резьбы; шлифование плоское и круглое, наружное и внутреннее; изготовление сеток; прорезание пазов и узких щелей; наращивание металлов и сплавов; упрочнение металлических поверхностей; получение металлических порошков; прошивка криволинейных отверстий.

*Цели проведения:* возможность изготовления сложных фигур в твердых материалах без применения трудоемких ручных и механических приемов; уменьшение брака при прошивке малых отверстий; повышение производительности и улучшение качества; экономия дефицитного инструмента; улучшение условий труда; автоматизация процесса; снижение трудоемкости и повышение производительности при изготовлении волоков из твердых сплавов; возможность быстрого разрезания твердых металлов и сплавов; возможность изготовления сложных, фигурных резцов в твердых материалах без специального инструмента и сложных станков; экономия абразивных материалов; сохранение деталей, в которых произошла поломка, облегчение операции; возможность нанесения изображений на поверхности любой твердости; возможность нарезания резьбы на изделиях из твердых сплавов; устранение необходимости в абразивах; возможность шлифования твердых металлов и сплавов; возможность изготовления сеток в твердых материалах; прошивка тонких пластин без деформаций; изготовление узких пазов в твердых материалах; нанесение различных металлов и сплавов тонким слоем; повышение твердости и износостойкости стальных поверхностей; получение порошков из любых металлов и сплавов; изготовление отверстий с криволинейными осями в деталях и изделиях.

Основные технические характеристики некоторых операций, выполняемых при помощи электроискрового способа, приведены в табл. 21. Некоторые технологические характеристики (чистота поверхности, точность, удельный съем металла), получаемые при проведении электроискровой обработки, приведены в табл. 22—24.

Состояние поверхностного слоя после электроискровой обработки обычно отличается от состояния и свойств основного металла.



# Основные технические характеристики некоторых

Наименование показателя	Пределы параметров при обработке крупных кованых штампов	Изготовление полостей штампов	Изготовление полостей штампов	Прошивка отверстий в трубах	Изготовление сеток	Прошивка отверстий в распылителях
Напряжение холостое в <i>в</i> . . . . .	220	220	220	130	110	127/220
Напряжение рабочее в <i>в</i> . . . . .	70—160	120—150	100—110	30—40		70—200
Сила тока короткого замыкания в <i>а</i> . . . . .	2—85	18—42	2—8	40	10	0,1—0,8
Сила рабочего тока в <i>а</i> . . . . .	1—55	11—28	1—5	60—80		0,05—0,4
Емкость конденсаторов в <i>мкф</i> . . . . .	4—765	216—500	2—30	1100	260	0,15
Энергия единичного импульса в <i>дж</i> . . . . .	0,05—3,05	2,2—3,6	0,024—0,15	0,50—0,85	1,3	$0,3 \cdot 10^{-2}$ $0,4 \cdot 10^{-3}$
Мощность станка в <i>квт</i> . . . . .	20	9				
Удельный расход энергии в <i>квт-ч/кг</i> . . . . .	14—71	20—40	12—25	55		
Скорость перемещения электродов в <i>м/сек</i> . . . . .	—	—	—	—	—	Вибрация 0,15—0,30 <i>мм</i>
Материал электрода-инструмента . . . . .	Алюминиевый сплав	ЛС59	ЛС59	Латунь	ЛС59	ЛС59
Материал изделия . . . . .	Сталь 5ХНМ, 5ХНГ	Сталь У8, У10	Сталь 5ХНМ	Медь	Сталь Х18Н9	Сталь 50ХФА
Съем металла: <i>мм³/мин</i> . . . . .	12—650		30—80			
<i>кг/час</i> . . . . .	0,005—0,31					
Глубина прошивки в <i>мм</i> . . . . .					2,5	0,7—2,5
Диаметр отверстия в <i>мм</i> . . . . .					2	0,15—0,35
Длительность обработки в сек. . . . .					9—10	20—80
Износ инструмента в % по весу от съема	12—17	50—70		100		
Чистота обработки (класс по ГОСТ) . . . . .	2—5	3—4	4—5	2—3		
Точность обработки (класс по ГОСТ) . . . . .	3—5	3	3	4		+0,008 <i>мм</i>
Зазор на сторону в <i>мм</i> . . . . .	0,1—0,61					
Тип станка . . . . .	Л-44	ЭИСК-3	ЛКЗ-18	ТД-3	эисб	ЛКЗ-20
Среда . . . . .	Трансформаторное масло	Минеральное масло	Минеральное масло	Вода		Керо

Примечание. Все операции, кроме прошивки отверстий в трубах, проводятся на посто

## операций электроискровой обработки металлов

Пропивка волока	Упрочне- ние ин- струмента	Упрочне- ние инст- румента и деталей машин	Упрочне- ние инст- румента	Гравиро- вание ко- пирова- нием	Изготов- ление че- каночного штампа	Изготов- ление уступов в резцах	Обдирка резцов	Заточка (шлифо- вание) резцов
180							26—28	26—28
130	70—130	10—45	14—200	30—50	20—100	20—60	24	24
0,8	0,5—1,5	10—50	2,5—5	0,05—0,5	0,5—1,5	7—20	200	100
0,3							80	30
0,5	10—150	600	320	0,15—2	0,1—15	400	300	100
0,4·10							0,09	0,03
		0,03—0,65	0,02—0,18	0,6·10 25·10	0,2·10 <sup>-4</sup> 75·10 <sup>-2</sup>	0,08—0,07		
							16	14
—		Вибрация		Вибрация 0,2—0,5 мм		6	12	12
ЛС59	T15K6, T30K4, T60K4	ВК-2, КЗ-3, графит, феррохром	T15K6, графит	Латунь, медь			Чугун	Чугун
ВК-3	—	—	—	Закален- ные стали	Сталь, твердый сплав	Твердый сплав	ВК и ТК	ВК и ТК
				1—4	1—15		140	50
3	—	—	—	—	—	—	—	—
0,15	—	—	—	—	—	—	—	—
90	—	—	—	—	—	—	—	—
				15—30				
	3—5	3—6	3—5	4—6	3—6		5	
ЛКЗ-14 син		ИК2 Воздух	Упр-3М	Керосин	Масло, керосин	Масло	Минеральное масло	

яном токе.

Таблица 22

**Приближенные характеристики основных групп режимов  
(при напряжении 100 в)**

Условные наименования режимов	Энергия единичного импульса в дж	Сила тока в разрядном контуре в а	Емкость конденсаторов в мкф	Сила тока в зарядном контуре в а
Жесткие (черновые, обдирочные) . . . . .	0,5—5	Свыше 100	Свыше 100	Свыше 100
Средние (промежуточные) . . . . .	0,05—0,5	10—100	10—100	1—5
Мягкие (чистовые, отделочные) . . . . .	0,005—0,05	Ниже 10	Ниже 10	Ниже 1

Таблица 23

**Чистота поверхности после электронской прошивки (напряжение источника тока — 220 в, напряжение на электродах среднее — 110 в)**

Емкость конденсаторов в мкф	Материал					
	сталь У8А незакаленная	сталь У8А закаленная	твердый сплав ВК8	магнитный сплав Алюни	латунь	алюминий
200—400	1	1	2	1	1	1
50—100	1	2	3	1	1	1
10—30	3	4	5	3	3	3
1—2	6	6	7	5	5	4
0,1—0,3	6	7	8	6	6	5

Таблица 24

**Удельный съем металла при электронской обработке**

Операция	Сталь		Твердые сплавы		Магнитные сплавы		Среда
	$\frac{см^3}{квт-ч}$	$\frac{г}{квт-ч}$	$\frac{см^3}{квт-ч}$	$\frac{г}{квт-ч}$	$\frac{см^3}{квт-ч}$	$\frac{г}{квт-ч}$	
Изготовление глухих отверстий	3—9	24	1,0	10	4	28	Керосин и жидкие минеральные масла
Резка	20	160	3,0	30	40	280	Взвесь каолина в воде или в станочной эмульсии
Заточка	15	120	2,5—4	25—50	—	—	Минеральные масла МК, МС и автол
Шлифование	15	120	2,5	25	30	210	То же
Прорезка узких щелей	4	32	1,2	12	5	35	Минеральное масло, керосин
Прошивка отверстий площадью 30 мм <sup>2</sup>	7,5	60	1,4	15	9,6	67	Керосин или жидкое минеральное масло

Весьма высокая температура разряда, мгновенность охлаждения металла, интенсивное химическое взаимодействие с элементами окружающей среды приводят к возникновению существенных изменений в тонком поверхностном слое. У черных металлов и сплавов образуется почти бесструктурный слой толщиной 10—100 мк, имеющий высокую твердость (65—72 HRC), повышенную износостойкость и коррозионную стойкость.

Этот слой полезен для ряда целей и специально создается электроискровой обработкой.

Изменением состава среды, окружающей электроды, и электрода-инструмента можно осуществлять местную или общую термохимическую обработку металлических поверхностей.

Интенсивный съем металла при электроискровой обработке происходит только в жидких средах. В газообразных средах, в частности, на воздухе, интенсивность съема металла снижается в десятки раз в связи с тем, что расплавленный при разряде металл электродов не распыляется, как в жидкой среде, а вновь затвердевает, и только небольшая часть его удаляется испарением. Лишь операции, использующие термохимическое действие разряда и выполняющиеся без удаления металла с обрабатываемой детали (упрочнение, наращивание), проводятся в отсутствии жидкости — на воздухе или в защитной газовой среде.

Основное назначение жидкости при электроискровой обработке: удаление частиц разрушаемого металла из места обработки, охлаждение электродов, повышение электрической прочности межэлектродного промежутка. Без жидкости точная обработка невозможна. Жидкость, пригодная для электроискровой обработки, должна иметь низкую вязкость, электроизоляционные свойства и высокую температуру вспышки; кроме того, она не должна оказывать химического действия на электроды и должна быть достаточно устойчивой к действию разрядов.

Наиболее часто применяют низковязкие минеральные масла и керосин.

Удовлетворительные результаты дает применение воды. Употребление бензина, ацетона, эфира и других легковоспламеняющихся жидкостей — запрещается.

Электрод-инструмент служит для подвода тока и направления разряда к месту обработки. Инструмент при электроискровой обработке может быть значительно мягче обрабатываемого изделия.

Материал инструмента должен иметь высокую износостойкость. Основные факторы, определяющие износостойкость инструмента, приведены в табл. 25.

К числу наиболее износостойчивых материалов, применяемых для изготовления сплошных электродов-инструментов, относится спеченный медный порошок. Чистый медный порошок, полученный электролитически, прессуется в соответствующих пресс-формах при давлении 3—5 т/см<sup>3</sup>.

**Факторы, определяющие износостойкость инструмента  
при электроискровой обработке**

Причины износа	Факторы, увеличивающие износ	Факторы, уменьшающие износ
Механическое разрушение поверхности ударяющимися о нее частями удаляемого металла	Увеличение жесткости режима: заострение торца инструмента, уменьшение зазора между электродами, применение мягких материалов	Снижение жесткости режима, увеличение зазора между электродами, повышение вязкости среды, применение твердых материалов
Механическое разрушение ударами газовых пузырьков в жидкости (кавитация)	Применение маловязких жидкостей с низкой температурой кипения, малые зазоры, применение сплошных массивных электродов, увеличение жесткости режима	Снижение жесткости режима, увеличение зазора, применение пустотелых, с каналами, и тому подобных конструкций, употребление воды или вязких сред с высокими температурами кипения
Тепловое разрушение благодаря высокой температуре разряда	Увеличение жесткости режима, снижение сопротивления разряда контура, применение материалов с низкими температурами плавления	Снижение жесткости режима, применение тугоплавких материалов, введение сопротивления в разрядный контур
Собственно эрозионное разрушение, вызываемое переменной полярности	Применение длинных проводников, употребление материалов низкой эрозионной стойкости, работа в неподходящей среде	Уменьшение индуктивности разрядного контура, снижение жесткости режима, введение отсечки обратного тока
Технологическое и конструктивное несовершенство инструмента	Увеличение поверхности соприкосновения инструмента с деталью, застой рабочей жидкости, неточность размеров и формы, вызывающая отклонения при движении	Защита боковых поверхностей непроводящими покрытиями, применение нагнетания жидкости через инструмент, сообщение инструменту вибрации или вращения

Спрессованный электрод-инструмент для увеличения механической прочности спекается при температуре 600—800°. Затраты труда при изготовлении прессованных электродов-инструментов в 8—10 раз меньше, чем при изготовлении их обычными приемами с применением слесарной обработки. Стойкость прессованного инструмента в 2 раза выше стойкости литого медного инструмента.

Износостойкость электродов-инструментов зависит также от жесткости режима. В случае использования латунных электродов износ их при жестких режимах составляет до 60—100% от объема металла, удаляемого из детали. При средних режимах обработки износ снижается до 40—50%, при мягких — до 10—30% (табл. 26).

Т а б л и ц а 26

**Относительная стойкость электродов-инструментов при электронской обработке (при жестких режимах)**

Материал электрода	Способ изготовления	Условная стойкость инструмента при обработке стали	Область применения
Латунь ЛС59-1	Использование профильного проката	1	Различные профильные отверстия
То же	Механическая обработка	1	Сложно-профилированные отверстия и полости
Латунь ЛС25-1	Отливка с последующей слесарной обработкой	0,6	То же
Латунь ЛС62	Слесарно-механическая обработка листа	0,9	Единичные и серийные работы
Чугун	Слесарно-механическая обработка	0,8	Серийные работы
Меднографитовая масса МГ-2	Прессование и слесарная обработка	1,2	Единичные отверстия и полости несложного профиля
Алюминий листовой	Штамповка	0,5	Единичные и мелкосерийные работы
Медный порошок	Прессование и спекание	2,5	Сложно-профилированные отверстия и полости; серийные и массовые работы
Красная медь	Гальваническое осаждение	0,7	Единичные и мелкосерийные работы
Красная медь	Распыление жидкого металла	0,8	Мелкосерийные и массовые работы
Красная медь	Использование обрезков листового и профильного материала	0,85	Различные профильные отверстия
Вольфрам	Использование прутков и проволоки	2	Единичные и мелкосерийные работы

# Характеристики некоторых

Элементы характеристики	Л18	Л44	Л47
Назначение станка . . . . .	Универсальный прошивочный	Обработка крупных штампов	Извлечение сломанного инструмента
Наибольшие размеры обраба- тываемой детали и вес:			
в мм . . . . .	150×400×600	500×500×1000	Не ограничены
в кг . . . . .	250	2000	
Максимальная потребляемая мощность в квт . . . . .	6,4	16	5
Максимальная емкость кон- денсаторов в мкф . . . . .	320	750	400
Максимальный ток короткого замыкания в а . . . . .	38	77	30
Наибольшее напряжение на электродах в в . . . . .	220	200	200
Интенсивность съема металла в мм <sup>3</sup> /мин . . . . .	300—600	900	200
Производительность в шт./час.			
Объем ванны в л . . . . .	120	320	5
Габариты станка в мм . . . .	900×110×1860	2100×1250×1300	800×500×500
Вес станка в кг . . . . .	700	2000	80

Элементы характеристики	4Б721
Назначение станка . . . . .	Универсальный копи- ровально-прошивочный
Наибольшие размеры обрабатываемой детали и вес:	
в мм . . . . .	150×150×100
в кг . . . . .	15
Максимальная потребляемая мощность в квт . . . . .	0,6—0,8
Максимальная емкость конденсаторов в мкф . . . . .	
Максимальный ток короткого замыкания в а . . . . .	
Наибольшее напряжение на электродах в в . . . . .	30
Интенсивность съема металла в мм <sup>3</sup> /мин . . . . .	
Производительность в шт./час. . . . .	
Объем ванны в л . . . . .	
Габариты станка в мм . . . . .	685×660×880
Вес станка в кг . . . . .	130

Таблица 27

электронскровых станков и установок <sup>1</sup>

Л14	Л20	Л30	Л34	Л37
Обработка малых отверстий	Операционный для малых отверстий в мелких деталях	Операционный для малых отверстий в средних деталях	Универсальный для круглых и профильных отверстий малого сечения	Заточка твердосплавных резцов
0,2	Распылители форсунок	1,5	30	Пластика 10×20
0,15	0,18	0,45	0,6	10
0,95	0,5	5	2	74
0,5	0,8	2	3	50
100	180	220	220	200
80 отверстий Ø 0,15—0,7 мм	110 отверстий Ø 0,15—0,75 мм	100 отверстий Ø 0,3 мм		5 шт. по трем граням
1,5	2	3	2	60
920×340×430	540×330×352	1200×850×680	1600×420×600	1000×960×860
28	40	280	240	850

Продолжение табл. 27

Л38	Л58	Л55	Л57
Специальный прошивочный шестишпindleльный	Специализированный шлифовальный	Разрезка	Специализированный прошивочный
До Ø 0,15	Роторы тракторных генераторов	Ø 30	80×80×50
1,2 0,25 0,3 220	30	4	0,8
100	1500 (Альни)	100 (твердый сплав)	20 (твердый сплав)
1400×810×100 400	400 1600×1400×1450 2000	12 1360×740×600 180	2 1200×450×400 80



Элементы характеристики	Л48	Л49	Л28	Л51	ПУ4
Назначение станка .	Сверление круглых отверстий в твердосплавных волоках	Прорезка узких щелей	Расточка отверстий	Расточка люнетных втулок	Универсальный переносный
Наибольшие размеры обрабатываемой детали и вес:					
в мм . . . . .	Волоки с отверстием до 3 мм	Щели 0,1—0,3 мм	Распылители дизельных насосфорсунок	$l = 100 \text{ мм}$ $\varnothing 80 \text{ мм}$	2
в кг . . . . .					
Максимальная потребляемая мощность в кВт . . . . .	0,6	0,75	0,66	8,4	1,0
Максимальная емкость конденсаторов в мкф . . . . .	2	2	5	320	60
Максимальный ток короткого замыкания в а . . . . .	10	1	3	38	5
Наибольшее напряжение на электродах в в . . . . .	200	200	200	220	300
Интенсивность съема металла в мм <sup>3</sup> /мин	20 шт. $\varnothing 1 \text{ мм}$ , $l = 3 \text{ мм}$	40 резцов $2 \times 2 \text{ мм}$		3—4 шт. $\varnothing 10 \text{ мм}$	70
Производительность в шт./час. . . . .	0,5	3		120	
Объем ванны в л .					
Габариты станка в мм . . . . .	250×150×175	500×300×600	750×800×1000	900×1100× ×1860 800	250×450×350
Вес станка в кг . .	12	80	120		15

Примечания: 1. В таблице приведены лишь данные о станках и установках промышлен или головных образцов.  
2. Модель Л58 обрабатывает скользящей дугой.

ЭР-2		ЭР-3		ЭП-5		ЭП5-М		4722		КЭИ-1		ТД-4	
Шлифование отверстий малого диаметра				Сверление малых отверстий				Универсальный прошивочный		Упрочнение стального инструмента		Прошивка отверстий в трубах	
Распылители дизельных насос-форсунок				До Ø 0,6 мм				300×200×200		Не ограничены		До Ø 300 мм	
0,3		0,3		0,15		0,1		6,6		0,3		8	
1		0,5		0,5				250		120		500	
2		1		0,8		0,9		25		1,5		80	
110		90		120		70				210		220	
12 шт. Ø 1,5 мм		25—30		25 шт. Ø 0,25 мм				270				10 отверстий Ø 50 мм, l = 2,5 мм, без ванны	
650×400×500		680×420×745		400×285×750		280×260×400		1350×880×2020		420×250×270		1723×640×740	
55		85		75		35		90		25		375	

ного выпуска; не приведены характеристики станков и установок, существующих в виде опытных

Массивные электроды-инструменты более стойки, чем тонкие, причем в процессе обработки важно сохранить постоянство сечения электрода на различных его участках.

От точности изготовления электрода-инструмента в большой мере зависит экономичность применения электроискрового способа для прошивки точных отверстий и полостей. Предпочтительными являются методы точного литья и порошковой металлургии.

При электроискровой прошивке применяются инструменты, которые по форме рабочей части представляют негативное изображение изготавливаемой фигуры. При ступенчатой обработке можно получить сложные фигуры последовательной обработки рядом простых по форме электродов.

При электроискровой обработке всегда наблюдается износ инструмента.

Основные факторы, определяющие стойкость (износ) инструмента, даны в табл. 26; технические характеристики оборудования для электроискровой обработки приведены в табл. 27.

## VIII. ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНАЯ ОБРАБОТКА



анный вид обработки представляет разновидность электроэрозионной обработки, отличающуюся от электроискровой обработки характером (униполярность), длительностью (100—10 000 мк/сек), средней и малой скважностью<sup>1</sup> ( $q = 1—10$ ) импульсов.

Принципиальная схема проведения электроимпульсной обработки почти аналогична схеме искровой обработки, показанной на фиг. 13, но питание рабочего контура импульсным током производится не от релаксационного генератора импульсов (конденсатор сопротивления), а от независимого генератора (ГИ), преимущественно от машинного генератора, вырабатывающего униполярные импульсы постоянной частоты (табл. 28).

В отличие от электроискровой обработки обрабатываемое изделие при электроимпульсной обработке является катодом, а электрод-инструмент — анодом.

Краткая техническая характеристика коммутаторных генераторов униполярных импульсов типа МГИ-2 и МГИ-3, выпускаемых серийно, приведена в табл. 28.

Электроимпульсная обработка отличается от электроискровой более высокими скоростями съема металла при жестких и средних режимах, значительно меньшей энергоемкостью процесса, малым износом инструмента и более низкой производительностью при чистовых режимах.

Технологические характеристики операций электроимпульсной обработки применительно к изготовлению штампов даны в табл. 29.

<sup>1</sup> Отношение периода  $T$  к продолжительности импульса  $t_n$ :  $q = \frac{T}{t_n}$ .

## Характеристики генераторов

Характеристики	МГИ-2		МГИ-3	
	Номинальный режим	Режим часовой перегрузки	Номинальный режим	Режим часовой перегрузки
Частота импульсов в имп/сек. . . . .	400	400	400	400
Средняя мощность в квт . . . . .	4,3	6,4	20,5	24
Среднее напряжение в в	26	29	27	27,5
Сила тока нагрузки (средняя) в а . . . . .	80	100	300	340
Скорость съема (по стали) в мм <sup>3</sup> /мин . . . . .	1200	1500	5500	6100
Скорость вращения приводного двигателя в об/мин. . . . .	3000	3000	3000	3000
Мощность приводного двигателя в квт . . . . .	6	—	30	—

Таблица 29

## Технологические характеристики операций электроимпульсной обработки ручьев ковочных штампов на станке ЭПШ-2

Режим	Рабочее напряжение в в	Сила тока в а	Производительность в мм <sup>3</sup> /мин	Износ электродов в %		Межелектродный промежуток (при алюминиевом электроде) в мм
				алюминиевых	графитизированных	
Грубый	20—50	150—200	2000—3000	7	0,5	0,9
Средний	20—50	20—50	450—500	10	0,5	0,6
Мягкий	20—50	3—10	10—60	12	1	0,4

При электроимпульсной обработке, в случае жестких и средних режимов, в связи с большей энергией единичного импульса происходят несколько большие изменения поверхностных слоев, чем при электроискровой обработке (табл. 30). Характеристики оборудования для электроимпульсной обработки приведены в табл. 31.

Электроды-инструменты при электроимпульсной обработке могут изготавливаться из меди, алюминия и его сплавов, чугуна и других материалов. Наибольший эффект дает применение углерафитированных материалов, в частности, марок И9 и В1. По данным ЭНИМС, углерафитированные материалы типа И9 и В1 наиболее целесообразно применять при единичном и мелкосерийном изготовлении фасонных поверхностей (штампы, пресс-формы, при

гравировальных работах), а также пазов и профильных отверстий в изделиях из углеродистых и легированных сталей. Скорость съема при электроимпульсной обработке как сырых, так и закаленных сталей с использованием указанных электродных материалов достигает 1500—2000 мм<sup>3</sup>/мин. Износ при работе с прокачкой для электрода марки И9 не превышает 0,3—0,5% и для марки В1 2—3%. Нецелесообразно применять рабочий ток свыше 100 а для площадей до 10 000 мм<sup>2</sup>, так как скорость съема металла при этом почти не увеличивается, а процесс становится неустойчивым.

Таблица 30

**Наибольшая глубина зоны термического влияния для различных материалов**

Обрабатываемый материал	Наибольшая глубина зоны термического влияния в мм при $I_{cp}$				
	5а	10а	30а	50а	100а
Сталь 15 . . . . .	0,08	0,07	0,12	—	0,17
Сталь 45 в состоянии послековки, HB = 241—244 . . . . .	0,09	0,12	—	—	—
Сталь 45, закаленная до твердости HRC = 48—52 . . . . .	0,08	0,12	0,14	0,17	0,18
Сталь У8А, закаленная до твердости HRC = 48—52 . . . . .	0,07	—	0,15	0,17	0,18
Сталь 5ХНВ, закаленная до твердости HRC = 48—52 . . . . .	—	—	0,07	0,1	0,1
Жаропрочный сплав ЭИ 437 . . .	—	—	0,07	—	0,1
Жаропрочный сплав ЭИ 617 . . .	—	0,05	—	—	0,08

Электроды марок И9 и В1 для электроимпульсной обработки твердых сплавов на обратной полярности можно использовать при мягких режимах с введением прокачки и вибрации электрода, поскольку при силе тока свыше 10 а наблюдается зашлаковывание промежутка. На обратной полярности при токе 8 а скорость съема составляет лишь 2—4 мм<sup>3</sup>/мин, износ почти неощутим. Изменение полярности с обратной на прямую позволяет несколько стабилизировать процесс и увеличить рабочий ток до 30 а. При этом скорость по сплаву ВК-20 достигает 100 мм<sup>3</sup>/мин, износ углеродистого электрода — около 30%. Испытания показали, что углеродистые материалы могут применяться при обработке алюминия и его сплавов, обеспечивая высокую производительность и незначительный износ.

Минимальные размеры элементов фигуры, которые могут быть выполнены при помощи инструментов из И9, не превышают примерно 0,5 мм. Углеродистые материалы можно рекомендовать для прошивки щелей толщиной 2—3 мм и выше. Для прошивки более тонких щелей и отверстий сечением менее 10 мм<sup>2</sup> значительно

удобнее пользоваться медными электродами (из листовой меди, проволок или трубок); при этом износ составляет всего несколько процентов. При прошивке глубоких отверстий необходимо создать хорошие условия для эвакуации продуктов эрозии, например, вводить прокачку или использовать электроды со ступенчатой формой.

По скорости съема углеграфитированные материалы не уступают медным и алюминиевым электродам при силе тока до 50 а. С увеличением силы тока (свыше 70—100 а) металлические электроды оказываются более производительными. Поэтому при достаточной серийности производства, когда скорость съема имеет важное значение и допустимо применение интенсивных режимов, целесообразно использовать для предварительной грубой обработки алюминиевые электроды, а углеграфитированными инструментами производить лишь окончательную доводку профиля.

В качестве среды при использовании углеграфитированных электродных материалов могут применяться те же рабочие жидкости, что и для обычной электроимпульсной обработки, например, индустриальное масло 12 (веретенное № 2).

Инструментами из материалов И9 и В1 можно работать как на специальных станках моделей 4А722 и 473, так и на модернизированном для проведения электроимпульсной обработки оборудовании, с питанием от машинных генераторов импульсов МГИ-2, МГИ-3 и др. Для работы с углеграфитированными материалами наиболее пригоден по мощности генератор МГИ-2; его номинальный рабочий ток — 80 а, допустимая перегрузка в течение часа — 100 а. Генератор МГИ-3 имеет мощность в три раза большую, чем генератор МГИ-2. Поэтому целесообразно вводить многоконтурную обработку с целью полного использования его мощности при работе с углеграфитированными электродами. Нагрузка на один контур не должна превышать 100 а на соответствующей площади обработки.

При прокачке жидкости износ электродов из марки углеграфита И9 составляет:

Средний ток в а . . . .	5	30	70
Минимальный износ в %	0,05	0,1	02

Величина съема металла при этом составляет:

Средний ток в а . .	5	10	30	50	70	100
Съем в м <sup>3</sup> /мин . . .	20	60	400	700	900	1100

Использование углеграфитированных электродов должно производиться при оптимальном режиме.

Электрический режим при электроимпульсной обработке устанавливается по средней силе тока, определяющей скорость съема металла, чистоту, структуру обработанной поверхности, износ и искажение профиля изделия.

Плотность тока при использовании углеграфитированных материалов следует принимать несколько меньшую, чем для медных и

# Некоторые характеристики электроим

Элементы характеристики	4Б721	4А722	473
Номинальная площадь обработки в мм <sup>2</sup>	20	1500	$\frac{600}{10\ 000}$
Наибольшие размеры обрабатываемой детали в мм . . . . .	150×150×100	300×200×150	340×260×250
Наибольший вес обрабатываемой детали в кг . . . . .	15	50	200
Наибольшая глубина прошивки отверстия Ø 5 мм в мм . . . . .	20	80	160
Производительность по стали:			
номинальная в мм <sup>3</sup> /мм . . . . .	20	1200	3000
форсированная в мм <sup>3</sup> /мм . . . . .	—	1500	5000
Размеры стола в мм . . . . .	160×200	250×400	400×500
Уровень жидкости над столом в мм . .	125	210	500
Относительное перемещение инструмента и детали в мм:			
продольное . . . . .	160	260	280
поперечное . . . . .	100	160	250
Наибольшее вертикальное перемещение инструмента в мм . . . . .	100	150	200
Наибольший угол поворота головки в град. . . . .	±15	±10	—
Напряжение питающей сети в в . . . .	220/380	—	—
Потребляемая мощность в квт . . . . .	0,6	—	—
Ход ванны в мм . . . . .	—	—	—
Вертикальный ход головки в мм . . . .	—	—	200
Емкость в мкф . . . . .	0,1—26,0	—	—
Габариты станка в мм . . . . .	685×660×880	—	1400×1030×1800
Вес станка в кг . . . . .	130	—	1500
Номинальная сила тока в а . . . . .	—	80	200
Сила тока одночасовой перегрузки в а	—	100	300
Расстояние от стола до торца шпинделя в мм . . . . .	—	170/320	500
Скорость механического вертикального перемещения каретки в м/мин . . . . .	—	2,3	—
Источник импульсного тока . . . . .	—	МГИ-2	МГИ-3
Импульсная мощность источника в квт	—	4,3	—
Мощность привода генератора в квт .	—	7,0	20
Частота импульсов в имп/сек. . . . .	—	400	400
Номинальное напряжение генератора в в	—	25	26,5
Число одновременно работающих электродов . . . . .	1	1	1

## пульсных прошивочных станков

4724	4Ц24	4611	4А723	4Ц24М	ЭИП-1
10 000	—	Диаметр до 26 мм	—	—	—
600×550×350	380×830	—	600×49×380	380—830	—
300	—	—	1200	—	—
200	—	40—50	100	—	—
5000	—	—	6000	30 щелей в час	—
—	—	—	—	—	—
630×800	—	285×320	—	—	—
—	—	—	—	—	—
600	—	—	760	—	—
430	—	—	200	—	—
250	50	60	—	50	—
—	—	360	—	—	—
—	380	380	—	—	220/380
—	—	2	—	5	5
—	120	—	—	—	—
—	—	250	350	—	—
—	—	—	—	—	—
1895×1210×2030	1272×1200×1700	1158×1596×1450	2300×1275×2400	1600×1200×1700	780×615×780
2000	1900	280	3000	1900	150
300	50	—	300	40	—
340	—	—	—	—	—
640	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
МГИ-3	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
28	—	—	—	—	—
400	490	50	150	490	490
30	—	—	50—60	40	50
1	48—100	1	1	2	4



алюминиевых электродов. При больших площадях обработки (свыше 1000 мм<sup>2</sup>) плотность тока не должна превышать 1—3 а/см<sup>2</sup>; при малых площадях она может быть в несколько раз увеличена (до 10 а/см<sup>2</sup> при площади менее 200 мм<sup>2</sup>).

Рабочее напряжение на промежутке  $U_s$  для устойчивого протекания процесса без коротких замыканий надо поддерживать несколько более высоким (15—18 в), чем при работе с металлическими (10—14 в) электродами. Для этого регулятор рекомендуется настраивать на работу с небольшим запаздыванием.

Напряжение холостого хода генератора  $U_x$  может изменяться так же, как и для медных алюминиевых электродов, в пределах 25—35 в в зависимости от требуемой силы рабочего тока, величина которого определяется по формуле

$$I_{cp} = \frac{U_x - U_s}{R} = I_k - \frac{U_s}{R},$$

где  $R$  — величина токоограничивающего сопротивления;

$I_k = \frac{U_x}{R}$  — ток короткого замыкания.

Например, при  $U_x = 30$  в,  $U_s = 15$  в

$$I_{cp} = \frac{30}{R} - \frac{15}{R} = I_k - \frac{1}{2} I_k = \frac{1}{2} I_k,$$

т. е. сила рабочего тока равна 50% тока короткого замыкания.

Прокачка рабочей жидкости без примеси графитового порошка уменьшает скорость съема и износ инструмента. Поэтому ее следует вводить лишь при плохих условиях эвакуации продуктов эрозии и необходимости достижения минимального износа инструмента. Поскольку специальные жидкости, содержащие неосаждающиеся примеси графита, еще не разработаны, целесообразно в случае использования обычных сред, для получения максимальной производительности при грубых режимах, работать без прокачки.

При доводочных операциях, когда требуется минимальный износ, а также при обработке больших площадей, фигурных профилей и при прошивке глубоких полостей и отверстий ( $\dot{H} > 20$  мм), где наблюдается ухудшение условий эвакуации, необходимо вводить прокачку. Она осуществляется через ряд отверстий в инструменте, которые следует выполнять диаметром 1,5—2,5 мм и располагать в местах с ухудшенными условиями эвакуации (в середине электрода, на резко выделяющихся выступах, впадинах и т. д.) на расстоянии до 40—50 мм одно от другого. Столбики, получающиеся на изделии против отверстий, легко удаляют при абразивной доводке. Подача жидкости к инструменту производится под небольшим давлением (до 0,5 ат). С этой целью могут быть использованы обычные центробежные электронасосы для охлаждающей жидкости.

При использовании углеграфитированных электродных материалов надо избегать применения сильной вибрации, особенно в случае малых площадей обработки и наличия наклонных поверхностей, так как при этом может происходить механическое разрушение (износ) инструмента вследствие наличия у изделия шероховатой режущей поверхности. При грубых режимах, когда сила тока более 15—20 а, можно вести обработку без вибрации. При меньшей силе тока в случае доводочных режимов для стабилизации процесса необходима небольшая вибрация инструмента.

## IX. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ



Наиболее широко применяются ультразвуковая интенсификация процессов очистки, размерная обработка твердых и сверхтвердых материалов, пайка быстроокисляющихся металлов и сплавов.

К основным источникам ультразвуковых колебаний в большинстве промышленных установок относятся магнитострикционные и пьезоэлектрические преобразователи электрического тока повышенной частоты в механические колебания той же, либо удвоенной частоты (ультразвуковые).

В табл. 32, 33 приведены характеристики некоторых магнитострикционных и пьезоэлектрических преобразователей, применяемых в ультразвуковом оборудовании. Характеристики магнитострикционных материалов даны в табл. 34.

Наиболее распространенным источником электрического тока повышенной частоты для питания ультразвуковых преобразователей являются ламповые генераторы с самовозбуждением и генераторы независимого возбуждения. В табл. 35—37 приведены технические характеристики некоторых генераторов.

### УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ДОЛБЛЕНИЕ И ПРОШИВКА

Ультразвуковое долбление твердых и сверхтвердых материалов производится при помощи инструмента соответствующей формы. Инструмент приводится в колебания с частотой ультразвука и небольшой амплитудой. В процессе обработки он приближается к обрабатываемой поверхности в присутствии жидкости со взвешенными частичками абразивного порошка. Принципиальная схема операции показана на фиг. 18, а, б.

Оборудование для ультразвукового долбления состоит из следующих основных узлов: источника ультразвуковых колебаний, излучателя (вибратора), передаточного механического звена (концентратора, трансформатора скорости), инструмента и устройства для подвода жидкой абразивной среды в зону обработки.

Характеристики некоторых станков для ультразвукового долбления приведены в табл. 38.

Таблица 32

### Характеристики пьезоэлектрических преобразователей из пьезокварца и керамики титаната бария

Наименование характеристик	Пластины из керамики титаната бария	Пластины из кварца
Количество пластин в излучателе . . . . .	6—7*	3
Рабочая частота колебаний в <i>кГц</i> . . . . .	150, 350	480, 750, 960 2250, 2880
Удельная акустическая мощность в <i>вт/см²</i>	5	16
Максимальная допустимая акустическая мощность при длительной работе в <i>вт</i> ** . .	600	600
Потребляемая мощность в <i>вт</i> . . . . .	1200	1200
Активная излучающая поверхность в <i>см²</i> .	120	37,6

\* Излучатель для частоты 150 *кГц* состоит из шести пластин, соединенных в две параллельные ветви по три пластины последовательно; излучатель для частоты 350 *кГц* состоит из шести пластин, соединенных последовательно.

\*\* Нормальная работа пьезоэлементов с отдачей 600 *вт* обеспечивается при подаче излучателю следующих эффективных напряжений: на частоте 150 *кГц*—4,3 *кв*, на частоте 960 *кГц*—3,4 *кв*, на частоте 2250 *кГц*—2,2 *кв* и на частоте 2880 *кГц*—1,9 *кв*.

Таблица 33

### Характеристики магнитострикционных преобразователей с плоскими трансформаторами для очистки

Наименование характеристик	ПМС-4	ПМС-8	ПМС-10	ПМС-12
Собственная частота в <i>кГц</i> . . . . .	18,5	19	22	22
Максимальная потребляемая мощность в <i>квт</i> . . . . .	3	3	1,25	0,3
Размер излучающей поверхности трансформатора в <i>мм</i> . . . . .	Ø 300	300×300	100×100	100×100
Расход охлаждающей воды в <i>л/мин</i>	0,5	0,5	0,2	0,1
Материал пакета преобразователя .	Пермен- дюр	Пермен- дюр	Пермен- дюр	Пермен- дюр
Размер излучающей поверхности пакета в <i>мм</i> . . . . .	65×65	65×65	—	—

## Характеристики некоторых магнитострикционных материалов

Наименование материала	Химический состав в %	Магнито- стрикционное удлинение $\frac{\Delta l}{l} \cdot 10^{-6}$	Магнито- стрикционная постоянная $\frac{10^4 \text{ дин/см}^2}{\text{эрстед}}$	Напряжен- ность подмагничи- вающего поля в эрстедах	Плотность в $\text{г/см}^3$	Скорость звука в стержне $V \times 10^5$ $\text{см/сек}$
Никель	100Ni	40	40	10—20	8,7	4,76
Альфер	13Al, 87Fe	40	80	6—10	6,7	4,3—5,15
Альфер Ю-14	14Al, 86Fe	40	—	5—10	6,3	5,09
Гиперник	50Ni, 50Fe	25	86	—	—	—
Алзифер	4Al, 2Si, 94Fe	11	29	—	—	—
Пермаллой 40	40Ni, 60Fe	25	87	—	—	—
Гиперко	35Co, 0,45 Cr, 64Fe	9	63	—	—	—
Пермендюр	49Co, 2V, 49Fe	50—60	61	15—30	6,2	5,3
Пермендюр К50Ф2	59Co, 2V, 39Fe	50—60	—	20—30	8,29	5,1

# **Характеристики ультразвуковых генераторов для**

Наименование характеристик	УЗГ-0,25	УЗГ-0,5	УЗГ-1	УЗМ-1,5	УЗГ-2,5
Мощность потребляемая в <i>квa</i>	0,75	1,2	2,8	3,5	5,0
Мощность выходная в <i>квт</i> .	0,25	0,5	1,25	1,5	2,5
Пределы регулирования чистоты в <i>кГц</i> . . . . .	18—25	18—25	18—25	15—30	18—25
Пределы регулирования тока подмагничивания в <i>a</i> . . . . .	0—17	0—17	0—30	10	0—55
Тип генераторной лампы . .	Пентод ГК-71	Пентод ГК-71	Триод ГУ-27А	Пентод ГУ-80	Триод ГУ-5А
Количество генераторных ламп	1	2	1	2	1
Охлаждение генераторной лампы . . . . .	Воздушное	Воздушное	Водяное	Воздушное	Водяное
Расход воды для охлаждения в <i>л/мин</i> . . . . .	—	—	5	—	8
Напряжение питающей сети в <i>в</i> . . . . .	220	220	220	220/380	220/380
Число фаз . . . . .	1	1	1	3	3
Тип применяемых преобразователей . . . . .	ПМС-10, ПМС-11	ПМС-10, ПМС-11	ПМС-1, ПМС-4, ПМС-8, ПМС-9	ПМ-1,5	ПМС-1, ПМС-4, ПМС-8, ПМС-9
Количество одновременно работающих преобразователей . .	1	1—2	1	1	1
Размеры генератора в <i>мм</i> :					
в плане . . . . .	460	460×300	600×400	660×600	665×480
высота . . . . .	530	500	1025	1425	1300

Примечание. Генераторы УЗМ-3, УЗМ-4,5 и УЗМ-6 состоят соответственно из двух.

## питания магнитострикционных преобразователей

УЗМ-3	УЗГ-3,5	УЗМ-4,5	УЗМ-6	УЗГ-10	УЗМ-10	УЗМ-30	УЗП-10
6,5	5,5	10	12,5	12	15,5	42,5	—
3	2,8	4,5	6	8	10	30	8
15—30	18—25	15—30	15—30	18—25	15—30	15—30	18—25
10	0—40	10	10	0—60	20	60	0—60
Пентод ГУ-80	Триод ГУ-5А	Пентод ГУ-80	Пентод ГУ-80	Триод ГУ-10А	Триод ГУ-5А	Триод ГУ-10А	— —
4	1	6	8	1	2	2	—
Воздуш- ное	Водяное	Воздуш- ное	Воздуш- ное	Водяное и воз- душное	Водяное и воз- душное	Водяное и воз- душное	—
—	8	—	—	8	14	25	5
220/380	220/380	220/380	220/380	220/380	220/380	220/380	—
3	3	3	3	3	3	3	—
ПМ-1,5	ПМС-1, ПМС-4, ПМС-8, ПМС-9	ПМ-1,5	ПМ-1,5	ПМС-1, ПМС-4, ПМС-8, ПМС-9	ПМ-1,5	ПМ-1,5	ПМС-1, ПМС-4, ПМС-8, ПМС-9
2	1	3	4	4	6	20	4
990×890	665×480	920×880	920×880	750×600	1240×990	2550×1495	665×480
1450	1300	1675	1910	1620	2010	2250	950

трех и четырех самостоятельных блоков с выходами, аналогичными УЗМ-1,5 [11].

**Характеристики универсальных ультразвуковых генераторов  
для питания магнитострикционных и пьезоэлектрических  
преобразователей**

Наименование характеристик	Тип генератора		
	„Москип“	УЗГ-3	УЗГ-60
Мощность потребляемая в <i>кВа</i> . . . . .	—	5	80
Мощность выходная в <i>квт</i>	—	2	30
Пределы регулирования частоты в <i>кГц</i> . . . . .	25—1000	12—400	12—400
Тип генераторной лампы выходного каскада . . . . .	Пентод ГУ-80	Пентод ГУ-80	Триод Г-431
Количество генераторных ламп . . . . .	1	4	2
Охлаждение генераторной лампы . . . . .	Воздушное	Воздушное	Водяное
Расход воды для охлажде- ния в <i>л/мин</i> . . . . .	—	—	50
Напряжение питающей се- ти в <i>В</i> . . . . .	220	220/380	220/380
Количество фаз . . . . .	1	1	3
Размеры генератора в <i>мм</i> :			
длина . . . . .	900	645	870
ширина . . . . .	1200	740	1810
высота . . . . .	1500	1550	1470
Размеры блока питания в <i>мм</i> :			
длина . . . . .	—	—	810
ширина . . . . .	—	—	880
высота . . . . .	—	—	1700

Таблица 37

Характеристики ультразвуковых генераторов для питания пьезоэлектрических преобразователей

Наименование характеристик	Тип генератора			
	1G602 (ГДР)	„Хирана“ (Чехословакия)	Мощностью 2 квт	Мощностью 30 квт
Мощность потребляемая в квт . . . . .	2,8	—	3,7	40
Мощность выходная в квт . . . . .	1,5	—	1,2	12
Пределы регулирования частоты в кГц . . . . .	200—5000	1000±50	100—3000	375—2000
Тип генераторной лампы выходного ка- скада . . . . .	—	—	Пентод ГУ-80	Триод Г-431
Количество генераторных ламп . . . . .	—	2	2	1
Охлаждение генераторной лампы . . . . .	Воздушное	—	Воздушное	Водяное
Расход воды для охлаждения в л/мин . . . . .	—	—	—	25
Напряжение питающей сети в в . . . . .	380	220	380	220/380
Количество фаз . . . . .	3	1	3	3
Размеры генератора в мм: в плане . . . . .	1100×1150	—	550×550	870×1810
высота . . . . .	700	—	1400	1470
Размеры блока питания в мм: длина . . . . .	—	—	—	810
ширина . . . . .	—	—	—	880
высота . . . . .	—	—	—	1700

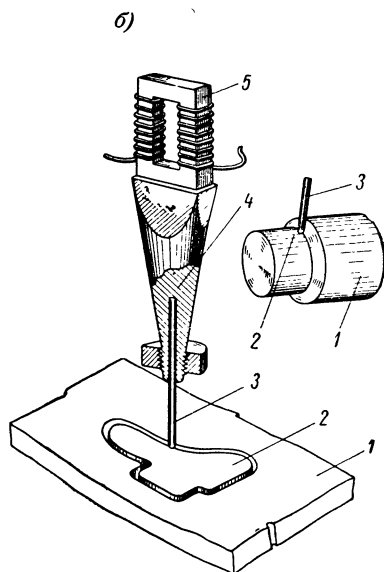
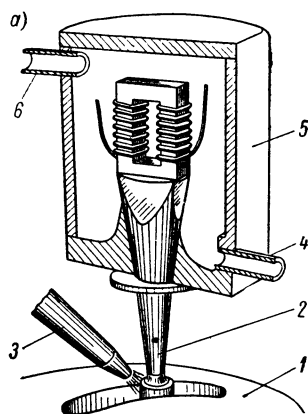


Характеристики некоторых ультразвуковых станков

Наименование характеристик	4770	4772	УЗС-1	УЗС-4	УЗС-5
Диаметр обрабатываемых отверстий при сплошном инструменте в <i>мм</i> . . . . .	0,5—10	80	—	—	50
Наибольшая глубина обработки в <i>мм</i> . . . . .	1—2 диаметра	80 (оптимальная)	—	—	—
Размеры стола в <i>мм</i> . . . . .	165×125	250×350	260×600	250×600	Ø 140
Продольное перемещение стола в <i>мм</i> . . . . .	100	100	360	360	60
Поперечное перемещение стола в <i>мм</i> . . . . .	80	150	230	200	30
Ход ползуна в <i>мм</i> . . . . .	100	150	—	135	40
Усилие подачи в <i>кг</i> . . . . .	До 4,5	—	—	0,5—25	0,2—10
Чувствительность механизма подачи в <i>г</i> . . . . .	50—100	—	—	—	—
Рабочая частота в <i>кГц</i> . . . . .	18	20—22	20	18—22	18—22
Диапазон регулирования частоты в <i>кГц</i> . . . . .	16—20	—	—	—	—
Мощность преобразователя в <i>квт</i> . . . . .	0,25	До 1,5	До 1,5	2—3	1—2
Производительность по стеклу в <i>мм³/мм</i> (на 1 <i>квт</i> при абразиве карбид бора № 120)	—	800	—	—	—
То же по твердому сплаву ВК-20 . . . . .	—	20	—	—	—
Оптимальная площадь обработки в <i>мм²</i> . . . . .	—	700	—	—	—
Габариты станка в <i>мм</i> . . . . .	—	560×875×1850	1125×1405×2100	1075×1037×1863	220×570×435
Вес в <i>кг</i> . . . . .	—	700	850	1100	100
Вертикальное перемещение преобразователя . . . . .	—	—	—	60	50

Обрабатываемый инструмент (долбяк) крепится к преобразователю через трансформатор скорости (концентратор), увеличивающий амплитуду колебаний инструмента в  $k$  раз по сравнению с амплитудой колебаний преобразователя.

Для черновой сквозной обработки коэффициент  $K=4-6$ , для



Фиг. 18.

*а* — ультразвуковое дробление:

1 — ванна; 2 — изделие; 3 — подача абразивной суспензии; 4 — выход охлаждающей воды; 5 — корпус головки (магнитостриктора); 6 — вход охлаждающей воды.

*б* — ультразвуковая прошивка методом последовательного копирования:

1 — изделие; 2 — прошиваемая полость; 3 — инструмент; 4 — концентратор; 5 — магнитостриктор.

чистовой  $K=3-4$ . С увеличением  $K$  величина присоединенной массы (вес инструмента) должна уменьшаться. В табл. 39 приведены соответствующие данные.

Таблица 39

Величина присоединенной массы инструмента ( $Q_{и макс}$ )

Коэффициент концентрации $K$	$Q_{и макс}$ при различных массах двухстержневого пакета $Q_{и в з}$						$Q_{и в з}$
	100	200	300	500	800	1000	2000—3000
1	14,2	28,2	42,5	71,	113,5	142	284—425
2	7,1	14,2	21,3	35,5	56,7	71	142—213
3	4,7	9,5	14,2	23,7	37,9	47	95—142
4	3,5	7,1	10,6	17,5	28,4	35	71—106
5	2,8	5,7	7,5	14,2	22,7	28	57—85
6	2,4	4,7	7,1	11,8	18,9	24	47—71
8	1,8	3,5	5,3	8,9	14,2	18	35—53
10	1,4	2,8	4,3	7,1	11,4	14,2	28—42

Так как инструмент в процессе ультразвуковой обработки совершает лишь возвратно-поступательное движение, то им можно обрабатывать отверстия и полости любого профиля.

Достоинством ультразвуковой обработки по сравнению с электроэрозионными методами обработки твердых и сверхтвердых материалов является пригодность для обработки не только токопроводящих, но и изолирующих материалов (стекла, кварца, фарфора, керамики и т. п.).

Технологические характеристики ультразвуковой прошивки приведены в табл. 40—43.

Таблица 40

**Скорость ультразвуковой обработки твердосплавных матриц**

Характер отверстия	Размеры в мм	Толщина в мм	Время в мин.	№ абразива
Круг	Ø 3	4,5	15	220
	Ø 7	4,5	20	220
	Ø 15	6	40	220
	Ø 20	20	30	М-14
	Ø 32	20	12	М-14
	Ø 47,5	5	60	220
	Ø 76	4	340	М-14
Квадрат	3×3	4,5	15	220
	6×6	4,5	30	220
Щель	0,5×16	4,5	20	220
	0,5×20	6	50	М-14
	1×14	6	30	220
	1×40	6	60	М-14
Прямоугольник	10×40	6	90	М-14
	28×65	3	230	М-14
Ш-образная	30×45	6	200	М-14
„Звездочка“	Ø 28	14	68	150
15 отверстий	Ø 5×15	6	212	220
Фаски	Ø 20—30	5	30	220

В табл. 41 приведены данные об относительной скорости обработки и износе инструмента при ультразвуковой прошивке различ-

ных материалов. В табл. 42 приведены данные о влиянии на скорость обработки величины давления инструмента на деталь в процессе ультразвуковой обработки сплава ВК8.

Таблица 41

**Относительная скорость ультразвуковой прошивки**

Обрабатываемый материал	Относительное время обработки на 1 мм глубины	Относительный износ инструмента (при глубине обработки 1 мм)	Относительный износ инструмента за 1 мин.
Стекло оптическое .	0,79	0,905	1,15
Стекло натриевое . .	1,0	1,0	1,0
Кварц . . . . .	1,82	2,14	1,11
Агат . . . . .	3,12	2,88	0,92
Корунд . . . . .	13	12	0,91
Сплав ВК-8 . . . . .	20	17,3	0,87
Карбид вольфрама . .	45	48	1,05

Таблица 42

**Влияние давления на скорость обработки  
(концентрация карбида бора зернистостью 240 в суспензии с водой 50%)**

Давление в кг/см <sup>2</sup>	Скорость обработки в мм/мин	Износ инструмента в мм	Амплитуда в мм	Частота в кГц
0,068	0,29	2	98	16,8
0,09	0,27	2		16,8
0,11	0,33	1,5		17,0
0,125	0,21	1,6		17,1
0,14	0,2	2		17,0
0,16	0,15	1,5		17,0

Износ инструмента при ультразвуковой прошивке твердых материалов (твердые сплавы, драгоценные камни) происходит как в продольном, так и в поперечном направлениях.

Износ тонких инструментов в поперечном направлении значительно влияет и на продольный износ. Относительный износ инструмента в зависимости от примененного материала колеблется в широких пределах.

В табл. 43 приведены сравнительные данные, полученные при обработке сплава ВК8 различными инструментами.

## Износ инструментов

Материал инструмента	Толщина инструмента в мм	% износа инструмента
Сталь твердая (закаленная) . . . . .	0,06	100
Пермендюр . . . . .	0,45	45
Сталь трансформаторная . . . . .	0,7	33,3
Сталь мягкая . . . . .	0,2	73
То же . . . . .	0,35	62,5
Медь . . . . .	0,5	61
	2,0	45
	0,5	83,5

## УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОЧИСТКА

Принципиальная схема ультразвуковой очистки показана на фиг. 19, а, б.

Для проведения ультразвуковой очистки колебания соответствующей частоты подводятся к поверхности очищаемого изделия, погруженного в соответствующий растворитель (иногда просто в воду). При достаточной удельной мощности этих колебаний и отсутствии препятствий на пути их прохождения интенсивность удаления загрязнений резко возрастает, особенно из труднодоступных мест.

Применение ультразвука при очистке и надлежащее конструктивное и технологическое оформление процесса позволяет добиться почти полного удаления загрязнений с очищаемой поверхности.

Оборудование, применяемое при ультразвуковой очистке, состоит из следующих основных частей (фиг. 19, а): ванны или сосуда с растворителем для основной очистки; источника ультразвука с устройством для подвода колебаний в рабочую зону, состоящим из магнитостриктора с обмоткой и мембраной; ванны, сосуда или душевого устройства для ополаскивания изделий, прошедших ультразвуковую очистку.

В табл. 44 и 45 приведены характеристики некоторых ванн для проведения ультразвуковой очистки, а в табл. 46 и 47 — составы моющих растворов для проведения ультразвуковой очистки.

Очистку с наложением ультразвука наиболее целесообразно применять при удалении загрязнений из труднодоступных полостей, углублений и каналов небольших размеров, при удалении загрязнений с мелких деталей сложной конфигурации, оптических и других изделий, требующих высокой степени очистки, а также для ускоренного удаления загрязнений, от которых трудно очистить поверхность обычными растворителями.

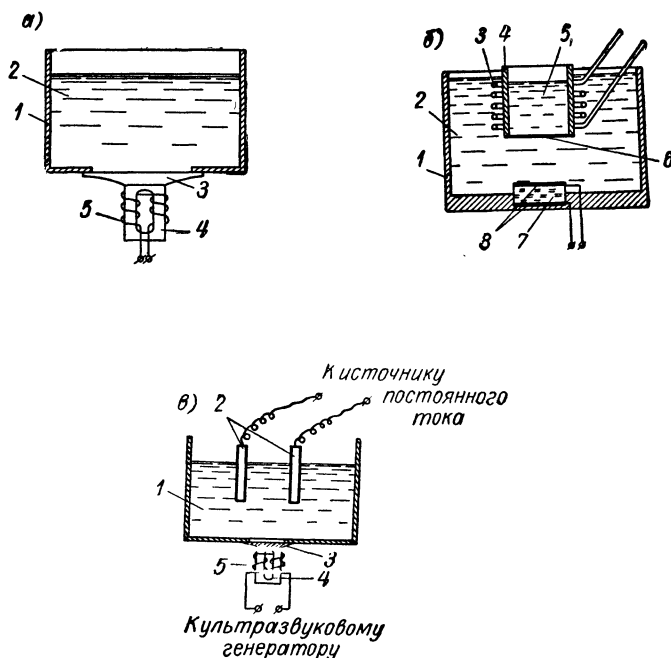
**Характеристики крупных ультразвуковых ванн\***  
(Материал — нержавеющая сталь толщиной 3 мм)

Тип ванны	Емкость рабочего пространства в л	Размеры ванны в мм	Количество магнитострикционных преобразователей	Тип насоса	Тип питающего генератора
ВМ-60	60	400×350×550	1	—	УЗМ-1,5
ВМ-100	100	550×400×580	2	—	УЗМ-3
ВМ-160	160	1000×400×600	4	—	УЗМ-6
ВМ-250	250	1050×500×600	4	—	УЗМ-6
ВМ-400	400	1440×520×600	6	—	УЗМ-10
ВМ-600	600	1200×800×650	8	Центробежный „Кама“	УЗМ-6 (2 шт.)
ВМ-1000	1000	1600×850×740	12		УЗМ-30

\* Разработаны конструкторским бюро электротермического оборудования ЛСНХ.

**Характеристики ультразвуковых ванн и агрегатов с магнитострикционными преобразователями**

Характеристика ванн и агрегатов	Тип ванны					Тип агрегата			
	УЗВ-1	УЗВ-2	УЗВ-3	УЗВ-4	УЗВ-5	УЗА-1	УЗА-2	УЗА-6	
Количество ванн . . . . .	1	1	1	1	1	5	1	—	
Размеры дна ванны в мм . . . . .	Ø 300	300×300	500×750	500×1500	80×600	Ø 300	500×1500	70×500	
Высота ванны в мм . . . . .	150	150	500	500	500	150	500	560	
Тип преобразователя . . . . .	ПМС-4	ПМС-8	ПМС-8	ПМС-8	ПМС-8	ПМС-4	ПМС-8	ПМС-6	
Количество преобразователей . . . . .	1	1	2	4	2	2	4	2	
Место крепления преобразователя . . . . .	Дно	Дно	Дно	Дно	Стенки	Дно	Дно	Стенка	



Фиг. 19.

а — принципиальная схема интенсификации очистки ультразвуком:

1 — ванна; 2 — очищающий раствор; 3 — мембрана; 4 — пакет магнитостриктора; 5 — обмотка магнитостриктора.

б — ультразвуковая очистка с применением кварцевого излучателя:

1 — бак; 2 — промежуточная жидкая среда; 3 — змеевик; 4 — сосуд; 5 — моющий раствор; 6 — диафрагма; 7 — кварцевая пластина; 8 — металлические обкладки.

в — принципиальная схема интенсификации электрохимических процессов ультразвуком:

1 — электролит; 2 — электроды; 3 — мембрана; 4 — пакет магнитостриктора; 5 — обмотка магнитостриктора.

Длительность ультразвуковой очистки зависит от характера загрязнений, природы растворителя, мощности и частоты подводимых колебаний, температуры среды и ряда других факторов. В большинстве случаев длительность процесса колеблется от 10—15 сек. до нескольких минут.

Для удаления с поверхности пленок лаков, масел, очистки штампованных деталей и т. п. преимущественно применяются частоты 15—50 кГц.

Очистка мелких, сложных по конфигурации, деталей, имеющих отверстия и полости, например часовых механизмов, производится при помощи частот 200 кГц — 1 мГц.

Ультразвуковая интенсификация электрохимических процессов производится по принципиальной схеме (фиг. 19, в).

Таблица 46

Составы моющих растворов

Наименование компонентов	Номера растворов						
	1	2	3	4	5	6	7
	Содержание компонентов в г/л						
Едкий натр (NaOH) . . . . .	10	—	—	—	—	—	10
Углекислый натрий (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	30	—	30	40	5	40	70
Тринатрийфосфат (Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ) .	30	30	—	—	—	—	30
ОП-7 . . . . .	3	3	—	3	—	—	3
Мыло хозяйственное . . . . .	—	—	2	—	—	—	—
Азотистокислый натрий (NaNO <sub>2</sub> ) . . . . .	—	—	—	50	50	50	—
Кремнекислый натрий (Na <sub>2</sub> Si O <sub>3</sub> ) . . . . .	—	—	—	—	3	3	—

Таблица 47

Составы растворов для отмывки пасты с петролатумом

Наименование компонентов	Номера растворов						
	1	2	3	4	5	6	7
	Содержание компонентов в г/л						
Триэтаноламин (CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH) <sub>3</sub>	10	10	10	10	—	—	—
Нитрит натрия . . . . .	2	2	2	2	—	—	—
ОП-10 . . . . .	—	2	4	10	—	3	3
Мыло олеинатовое . . . . .	—	—	—	—	20	20	—
Тринатрийфосфат (Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ) .	—	—	—	—	—	—	30

Ультразвуковые колебания вводят в объем ванны при помощи преобразователя, встроенного в ее дно, либо погружаемого в электролит. В табл. 48 и 49 приведены некоторые данные, характеризующие эффективность и условия ультразвуковой интенсификации процессов никелирования и меднения.



Таблица 48

**Значения объемных удельных мощностей ультразвуковых колебаний и допустимых плотностей тока при никелировании**

Размер ванны в мм	Объем электролита в л	Число излучате- лей*	Объемная удельная мощ- ность ультра- звука в $вт/л$	Допускаемая плотность тока в $а/дм^2$	
				с ультра- звуком	без ультра- звука
200×200×250	7,1	1	71	40	—
450×370×450	66	1	7,6	15—20	1,6
980×680×1000	580	2,3,4	1,3; 2,2; 2,6	8—12	—
1500×890×980	1180	4	1,3	8—10	—

\* Применялись излучатели типа НЭЛ-4 (магнитострикционный преобразователь с никелевым пакетом размером излучающей поверхности  $80 \times 85$  мм), которые потребляют электрическую мощность: один преобразователь — 1  $кв\cdot а$ , два — 1,5  $кв\cdot а$ , а излучают соответственно 500 и 700  $вт$ .

Таблица 49

**Режим и результаты никелирования в ультразвуковом поле криватных дуг в производственных условиях (ванна 1500 л, объемная удельная мощность ультразвука 3—3,5  $вт/л$ )**

Тип кро- ватной дуги	Режим никелирования			Толщина покрытия в мм	Характеристика качества покрытия
	плотность тока в $а/дм^2$	температура электролита в $^{\circ}C$	время электро- лиза		
I	5	20	10	7—8	Никель плотный, беспористый; имеются меловые пятна
I	5	30—35	10	7—8	Никель хороший, беспористый блестящий с легким матовым оттенком
I	8	20	5	8	Никель плотный, имеются меловые пятна
II	8	35	5	8	Никель блестящий с очень легким молочным оттенком, без шероховатости
II	8	36—40	5	8	Никель плотный, без шероховатости, толщина покрытия соответствует ТУ
I	8	38	8	12	Никель плотный
I	10	37—40	5	10	Никель плотный, с легким молочным оттенком, шероховатости нет
III	12	35—40	5	12	Никель плотный, беспористый
III	14	35—38	5	14	Никель плотный, большая толщина покрытия

Ультразвуковая пайка осуществляется по схеме, изображенной фиг. 20, а. Ультразвуковые колебания, разрушая окисную пленку на поверхности изделия, способствуют адгезии припоя. В табл. 50 приведены характеристики нескольких типов ультразвуковых паяльников.

Т а б л и ц а 50

**Характеристика оборудования для ультразвуковой пайки**

Наименование характеристик	УП-21	УП-31	УП-42	„Маллард“
Рабочая частота в <i>кГц</i>	20	20	23—26	19—21
Мощность потребляемая в <i>вт</i> . . . . .		800	300	150
Мощность генератора в <i>вт</i> . . . . .	40	300	30	35
Мощность нагревательного элемента в <i>вт</i> . . .	100	530	70 и 120	100
Напряжение подмагничивания в <i>в</i> . . . . .	—	6	24	10
Сила тока подмагничивания в <i>а</i> . . . . .	—	6	0,8	—
Напряжение источника питания в <i>в</i> . . . . .	110—127—220	220	220	110×127×220
Время в мин. для приведения в рабочее состояние:				
паяльника . . . . .	15	—	8—10	10
ванны . . . . .	15	25—30	—	10
Габаритные размеры в <i>мм</i> :				
генератора . . . . .	332×310×250	450×305×280	260×194×230	300×255×225
ванны . . . . .	288×200×162	360×205×296	—	150×140×260
рабочего пространства	Ø 25	100×100×25	—	Ø 23
ванны . . . . .	глубина 10	—	—	глубина 10
паяльника . . . . .	300×50×170	—	268×45×160	250×50×165
Вес в <i>кг</i> :				
генератора . . . . .	14	28	11	1,7
ванны . . . . .	1,7	14	—	2,0
паяльника . . . . .	1,0	—	0,75	1,4

## Технические характеристики ультразвуковых сварочных машин

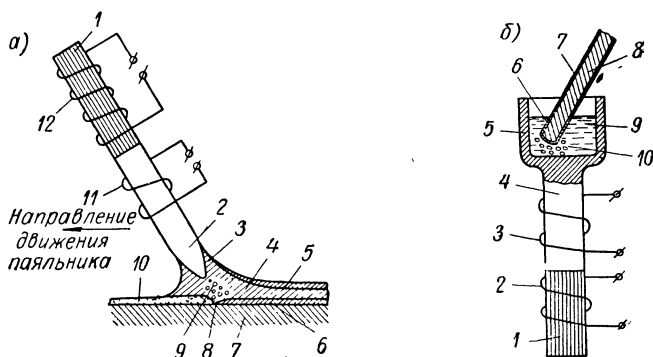
Наименование характеристик	Типы машин	
	УЗСМ-1	УЗСМ-1
Мощность ультразвукового магнитострикционного преобразователя типа ПМС-15 в <i>квт</i>	2,5—4,0	2,5—4,0
Рабочая частота в <i>кГц</i> . . . . .	19±0,5	19±0,5
Максимальное рабочее напряжение в <i>в</i> . .	600	600
Мощность электродвигателя привода в <i>квт</i>	—	0,12
Контактное усилие в <i>кг</i> . . . . .	20—150	20—140
Скорость сварки в <i>мм/мин</i> . . . . .	—	75—850
Максимальное расстояние от свариваемой точки (или сварного шва) до края детали в <i>мм</i>	75	135
Максимальный расход воды в <i>л/мин</i> . . .	3	3
Максимальный расход воздуха при 4 <i>ат</i> в <i>дм³/мин</i> . . . . .	3	—
Габаритные размеры в <i>мм</i> . . . . .	1250×430×670	1320×490×950
Вес в <i>кг</i> . . . . .	120	200

Принципиальная схема ультразвуковой сварки показана на фиг. 21, а.

Прохождение поперечных сдвиговых колебаний ультразвуковой частоты через зону контакта двух листов, предварительно сжатых статическим давлением между волноводом и отражателем, вызывает соединение свариваемых листов, сопровождающееся незначительным их нагревом.

В табл. 51 приведены характеристики некоторых машин для ультразвуковой сварки, в табл. 52 — данные о прочности сварных соединений и режимах проведения сварки.

На фиг. 21, б — 23, б показаны схемы технологического применения ультразвука в металлообработке и металлургии, а на фиг. 24 схемы комбинированных электрических и ультразвуковых процессов; в табл. 53 и 54 приведены данные, иллюстрирующие характер изменений, производимых введением ультразвука.



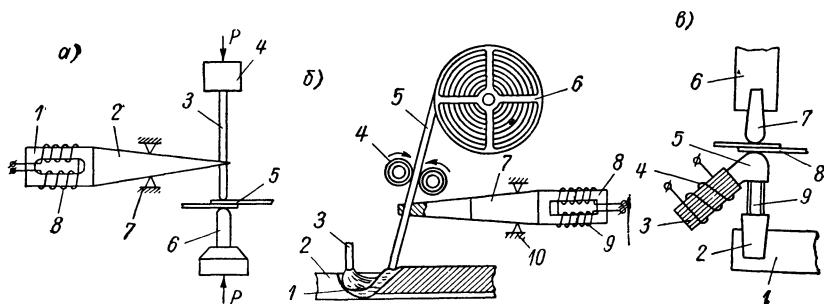
Фиг. 20

*a* — принципиальная схема ультразвуковой пайки:

1 — магнитостриктор; 2 — тело паяльника; 3 — наконечник паяльника; 4 — припой; 5 — удаляемая окисная пленка; 6 — приставшая пленка припоя; 7 — изделие; 8 — зона кавитационного разрушения пленки; 9 — кавитационные пузырьки; 10 — пленка окиси; 11 — нагревательная обмотка паяльника; 12 — обмотка магнитостриктора.

*б* — схема ультразвукового лужения:

1 — магнитострикционный преобразователь; 2 — обмотка возбуждения колебаний и подмагничивания; 3 — нагревательная обмотка ванны; 4 — стержень ультразвуковой ванны; 5 — ванна с припоем; 6 — слой припоя на очищенной поверхности проволоки; 7 — окисная пленка; 8 — алюминиевая проволока; 9 — расплавленный припой; 10 — кавитационные пузырьки.



Фиг. 21.

*a* — принципиальная схема ультразвуковой сварки:

1 — пакет магнитостриктора; 2 — концентратор-волновод; 3 — нагрузочный стержень; 4 — нагрузка; 5 — свариваемые детали; 6 — отражатель; 7 — шарнирные опоры; 8 — обмотка магнитостриктора.

*б* — принципиальная схема ультразвукового воздействия на сварочные процессы:

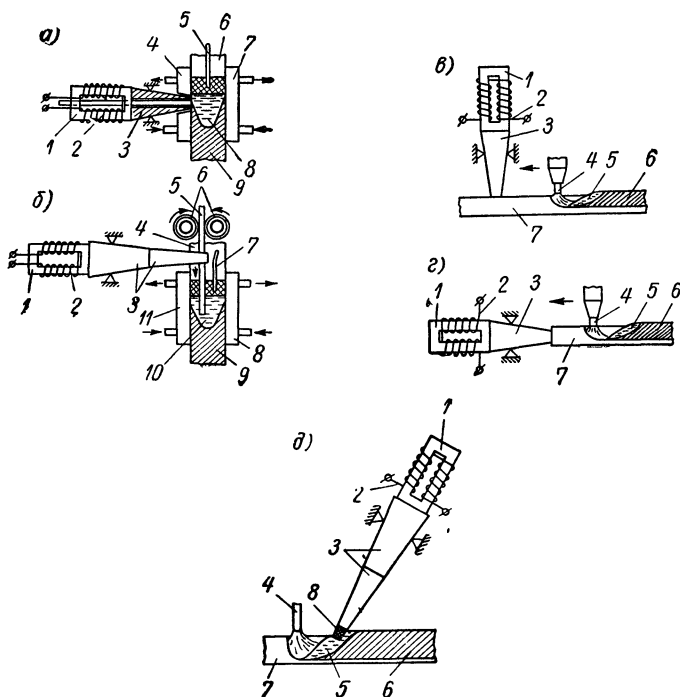
1 — ванна расплавленного металла; 2 — основной металл; 3 — защитный газ; 4 — подающие ролики; 5 — сварочная проволока; 6 — барабан с проволокой; 7 — волновод; 8 — пакет магнитостриктора; 9 — обмотка магнитостриктора; 10 — шарнирные опоры.

*в* — схема введения ультразвуковых колебаний в электрод при точечной электросварке:

1 — нижний хобот; 2 — контактная призма; 3 — магнитострикционный преобразователь; 4 — обмотка возбуждения и подмагничивания; 5 — нижний электрод; 6 — верхний хобот; 7 — верхний электрод; 8 — свариваемый материал; 9 — медные пластины.

Режимы ультразвуковой точечной сварки алюминия и его сплавов  
(частота 19—20 кГц, радиус сферы рабочего наконечника 10 мм)

Наименование материала	Толщина в мм	Усилие сжатия при сварке в кг	Время сварки в сек.	Амплитуда ультразвуковых колебаний наконечника в мк	Рабочий наконечник	
					материал	твердость НВ в кг/мм <sup>2</sup>
Алюминий	0,3—0,7	20—30	0,5—1,0	14—16	ст. 45	160—180
	0,8—1,2	35—50	1,0—1,5	14—16		
	1,3—1,5	50—70	1,5—2,0	14—16		
Сплав АМг6	0,3—0,5	30—50	1,0—1,5	17—19	ст. 45	160—180
Сплав АМг3М	0,6—0,8	60—80	0,5—1,0	22—24	ст. 45	160—180
Сплав Д16АМ	0,3—0,7	30—60	0,5—1,0	18—20	ШХ15	330—350
	0,8—1,0	70—80	1,0—1,5	18—20		
	1,1—1,3	90—100	2,0—2,5	18—20		
	1,4—1,6	110—120	2,5—3,5	18—20		
Сплав Д16АТ	0,3—0,7	50—80	1,0—2,0	20—22	ШХ15	330—350
	0,8—1,0	90—110	2,0—2,5	20—22		
	1,1—1,3	110—120	2,5—3,0	20—22		
	1,4—1,6	130—150	3,0—4,0	20—22		
Сплав Д1АМ	0,3—0,7	30—60	0,5—1,0	14—16	ст. 45	160—180



Фиг. 22.

*a* — схема передачи ультразвуковых колебаний сварочной ванне при электрошлаковой сварке непосредственно водоохлаждаемым концентратором:

1 — магнитострикционный преобразователь; 2 — обмотка возбуждения колебаний и подмагничивания; 3 — водоохлаждаемый концентратор; 4 — водоохлаждаемая направляющая; 5 — плавящаяся проволока; 6 — изделие; 7 — водоохлаждаемая направляющая; 8 — сварочная ванна; 9 — сварной шов.

*б* — то же при электрошлаковой сварке присадочной проволокой, проходящей через специальное скользящее устройство в концентраторе:

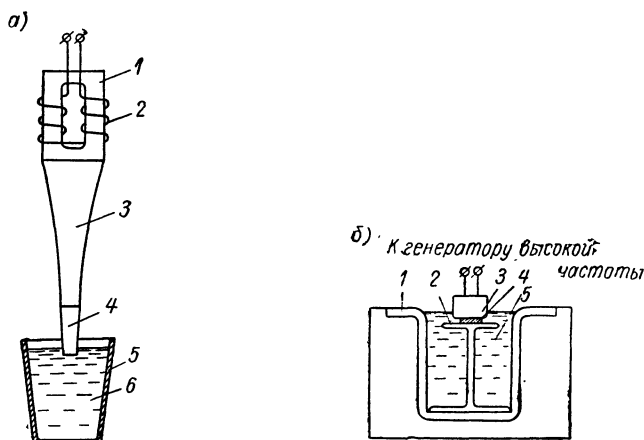
1 — магнитострикционный преобразователь; 2 — обмотка возбуждения колебаний и подмагничивания; 3 — концентратор; 4 — изделие; 5 — присадочная проволока; 6 — подающие ролики; 7 — плавящаяся проволока; 8 — водоохлаждаемая направляющая; 9 — сварной шов; 10 — сварочная ванна; 11 — вода, охлаждающая направляющие.

*в* и *г* — то же через основной металл:

1 — магнитострикционный преобразователь; 2 — обмотка возбуждения электрических колебаний и подмагничивания; 3 — концентратор; 4 — электрод; 5 — сварочная ванна; 6 — шов; 7 — изделие.

*д* — то же путем погружения концентратора в сварочную ванну:

обозначения те же, что на фиг. 22, *а*, *г* (*г* — термостойкий наконечник).



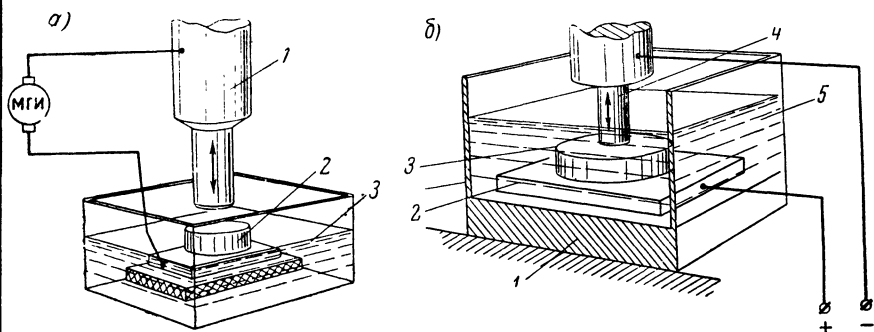
Фиг. 23.

*а* — принципиальная схема ультразвукового воздействия на расплавы металлов:

1 — пакет магнитостриктора; 2 — обмотка магнитостриктора; 3 — концентратор-волновод; 4 — наконечник волновода; 5 — тигель; 6 — расплавленный металл.

*б* — схема установки для воздействия ультразвука на сплавы при повышенных температурах:

1 — тигельная электропечь; 2 — подставка для образца; 3 — пьезо-кварцевый излучатель в держателе; 4 — образец; 5 — масляная среда для передачи ультразвука и нагрева образца.



Фиг. 24.

*а* — принципиальная схема комбинированной ультразвуковой и электроимпульсной обработки:

1 — электрод-инструмент; 2 — изделие; 3 — рабочая среда.

*б* — принципиальная схема комбинированной ультразвуковой и анодно-механической обработки:

1 — изоляционная плита; 2 — стол; 3 — изделие; 4 — электрод-инструмент; 5 — рабочая среда.

Таблица 53

**Влияние длительности дисперсионного твердения при температурах 700 и 750° на твердость и ударную вязкость сплава нимоник без воздействия и с воздействием ультразвука**

Длительность старения в час.	Твердость		Ударная вязкость	
	без ультразвука	с ультразвуком	без ультразвука	с ультразвуком
Старение при 700°				
1/4	35,7	38,1	30,7	24,9
1/2	37,2	40,0	25,8	21,2
1	39,9	41,7	20,4	18
2	42,1	—	16,1	—
4	44,7	—	15,0	—
16	45,1	—	13,0	—
Старение при 750°				
1/4	37,8	39,9	—	—
1/2	39,3	41,5	—	—
1	39,7	—	—	—

Таблица 54

**Средняя (для 30—35 образцов) деформируемость стали X27 при холодной прокатке и стали X25H20 [47]**

Марка стали	Показатели	Состояние металла	
		литой	термически обработанный
X27	Максимально допустимое относительное обжатие при холодной прокатке в %:		
		18	36
		79	83
		49	73
X25H20	Максимальное относительное обжатие в %, при котором начинается разрушение в условиях прокатки при температурах в °C:	92	>96
		46	65
		60	>70
1000		46	68
		67	>71



Марка стали	Показатели	Состояние металла	
		литое	Термически обработанный
X25H20	Максимальное относительное обжа- тие в %, при котором начинается раз- рушение в условиях прокатки при температурах в °С:		
	1100	$\frac{50}{>70}$	$\frac{63}{>79}$
	1200	$\frac{44}{>74}$	$\frac{60}{—}$
	1250	$\frac{41}{70}$	$\frac{49}{>72}$
П р и м е ч а н и я: 1. В числителе данные, полученные при горячей прокатке без обра- ботки ультразвуком, в знаменателе — то же с обработкой ультразвуком. 2. Данные со знаком > соответствуют тем случаям, когда разрушение не было достиг- нуто в связи с недостаточной мощностью привода лабораторного прокатного стана.			

В связи с использованием электрического тока непосредственно в технологических операциях многие из описанных выше методов должны применяться с обязательным учетом требований норм техники безопасности. Соответствующие правила работы подробно описаны в специальной литературе.

=====

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Новые методы электрической обработки материалов, сб. ЛОНИТОМАШ, кн. 36, Машгиз, 1955.
  2. Новое в электрической и ультразвуковой обработке материалов, Лениздат, 1959.
  3. Электрические и ультразвуковые методы обработки материалов, сб. Лениздат, 1958.
  4. Попилов Л. Я. и др., Электротехнология, Судпромгиз, 1952.
  5. Попилов Л. Я., Техника безопасности при электрических способах обработки металлов, Машгиз, 1956.
  6. Попилов Л. Я., Технология электрополирования металлов, Машгиз, 1953.
  7. Попилов Л. Я., Зайцева Л. П., Электрополирование и электро-травление металлографических шлифов, Metallurgizdat, 1955.
  8. Кизельштейн В. Я., Применение химии в обработке металлов, Лениздат, 1958.
  9. Ясногородский И. З., Нагрев металлов и сплавов в электролите, Машгиз, 1949.
  10. Давыдов А. С., Электроконтактная обработка металлов, «Станки и инструмент», 1957, № 7.
  11. Бакши О. А. и др., Восстановление изношенных деталей автоматической вибродуговой наплавкой, Челябинск, 1956.
  12. Алексеев М. К. и др., Анодно-механическая обработка металлов, Лениздат, 1950.
  13. Левинсон Е. М., Электроискровая обработка металлов, Лениздат, 1957.
  14. Попилов Л. Я., Козловский Л. И., Электроискровая обработка металлов, Машгиз, 1950.
  15. Лившиц А. Л., Электроэрозионная обработка металлов, Машгиз, 1957.
  16. Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., ИЛ, 1957.
  17. Бабиков О. П., Промышленные применения ультразвука, Машгиз, 1959.
-

## О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
Введение . . . . .	3
I. Общие сведения об электрических, химико-механических и ультразвуковых методах обработки материалов . . . . .	5
Основные характеристики электрических методов обработки материалов . . . . .	—
Химико-механические методы обработки . . . . .	6
Ультразвуковые методы обработки . . . . .	7
Комбинированные методы . . . . .	—
Применение электрических, химико-механических и ультразвуковых методов обработки . . . . .	—
II. Электрохимические способы . . . . .	44
Сущность способов . . . . .	—
Характеристики некоторых операций . . . . .	—
Основное оборудование для электрополирования . . . . .	53
III. Химико-механическая обработка металлов . . . . .	59
IV. Анодно-механическая обработка металлов . . . . .	61
Сущность способа . . . . .	—
Характеристики некоторых операций . . . . .	63
Обрабатываемость различных металлов . . . . .	68
Оборудование . . . . .	73
V. Нагрев металлов и сплавов в электролитах . . . . .	—
VI. Электроконтактные способы обработки . . . . .	79
Сущность способа . . . . .	—
Некоторые примеры применения электроконтактного способа . . . . .	82
VII. Электроискровой способ обработки . . . . .	88
Сущность способа . . . . .	—
Характеристики некоторых операций . . . . .	89
Некоторые назначения электроискрового способа . . . . .	95
VIII. Электроимпульсная обработка . . . . .	106
IX. Ультразвуковая обработка материалов . . . . .	113
Ультразвуковое долбление и прошивка . . . . .	—
Ультразвуковая очистка . . . . .	124
Литература . . . . .	137

*Лев Яковлевич ПОПИЛОВ*

**ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ И УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА**

Редактор издательства *Т. Л. Лейкина*

Технический редактор *О. В. Сперанская*

Корректор *З. П. Смоленцева*

---

Подписано к печати 16/XI 1960 г. М-22567. Формат бумаги 60 × 92<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Печ. л. 8,75.  
Учетно-изд. листов 8,0. Тираж 9000 экз. Заказ № 2/611.

---

Типография Госгортехиздата, Ленинград, ул. Салтыкова-Щедрина, 54

### ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
3	8-я снизу	электрической ультра-звуковой	электрической и ульт-развуковой	Ред.
66	1-я графа слева,	Скорость обработки в <i>см<sup>2</sup>/мин</i>	Скорость обработки в <i>см<sup>2</sup>/мин</i> или съем за ми-нуту в <i>мм</i> по толщине	Авт.
84	8-я снизу 7-я графа слева,	18—21	1,8—2,1	Авт.
93	7-я сверху	профилование	профилирование	Тип.
106	6-я снизу 17—18-я снизу	(конденсатор сопротив-ления)	(конденсатор — сопротив-ление)	Тип.

### ПОПРАВКА

На стр. 104 и 105 данные интенсивности съема металла в графах 2, 3, 5, 7, 9 и 13-й относятся к производительности в шт./час.

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
МАШГИЗ**

---

*БИБЛИОТЕЧКА ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГА  
И УЛЬТРАЗВУКОВИКА*

**ПЕРЕЧЕНЬ ВЫПУСКОВ**

1. Попилов Л. Я., **Электрическая и ультразвуковая обработка** (справочное пособие).
2. Левинсон Е. М., Лев В. С., **Обработка металлов импульсами электрического тока** (эрозионная обработка).
3. Космачев И. Г., **Обработка металлов анодно-механическим способом.**
4. Пяндрина Т. Н., **Электрохимическая обработка металлов.**
5. Гуткин В. Г., Григорчук И. П., **Электроконтактная обработка металлов.**
6. Вероман В. Ю. **Разм                    ультразвуковая обработка материалов.**
7. Демчук И. С., **Ультразвуковая интенсификация технологических процессов.**

---

Книги Машгиза продаются во всех магазинах книготоргов. При отсутствии книг в местных магазинах заказ следует направлять по адресу: Москва, Ж-109, 2-я Фрезерная ул., дом 14, Ассортиментный отдел Центральной оптовой книжной базы. Заказы принимаются также по адресу: Ленинград, Садовая ул., 40, магазин № 2 Ленкниготорга

Книги будут высланы наложенным платежом.

*Издательство заявок не принимает.*

4 р. 50 к.

С 1/І 1961 г. 45 к.



ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ МАШГИЗА  
Ленинград, ул. Дзержинского, 10