

# **ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН РЕЗАНИЕМ**

## **Лекция 5**

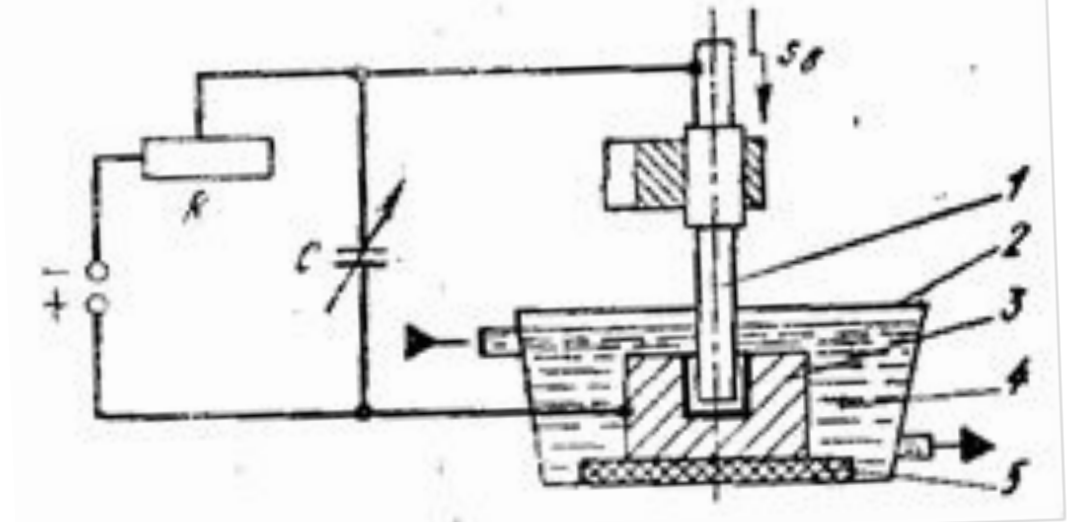
# ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМИ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ ОБРАБОТКИ

Если возникают технологические проблемы, связанные с *обработкой материалов и деталей, форму и состояние поверхностного слоя* которых трудно получить механическими методами: *прочных и вязких, хрупких и неметаллических материалов, тонкостенных нежестких деталей, пазов и отверстий, имеющих размеры в несколько микрометров, поверхностей деталей с малой шероховатостью или малой толщиной дефектного поверхностного слоя* - применяют электрофизические и электрохимические (ЭФЭХ) методы (см. классификацию). Для осуществления размерной обработки заготовок ЭФЭХМ используют электрическую, химическую звуковую, световую, лучевую и другие виды энергии и успешно дополняют обработку резанием. Силовые нагрузки малы и не влияют на точности обработки. М. позволяют не только изменять форму обраб. поверхности заготовки, но и влиять на состояние поверхностного слоя – обраб. поверхность *не упрочняется, дефектный слой мал, удаляются прижоги поверхности, полученные при шлифовании; повышаются износостойкие, коррозионные, прочностные и другие эксплуатационные характеристики* деталей. Кинематика формообразования поверхностей деталей ЭФЭХМ - проста, что обеспечивает точное регулирование процессов и их автоматизацию. Они *универсальны и непрерывны, одновременно выполняют формообразование всех обраб. поверхностей; не влияют на их твердость и вязкость*. В промышленности для повышения эффективности широко применяют *комбинированные методы обработки*

**Электроэрозионные методы обработки** основаны на законах *эрозии (разрушения) электродов* из токопроводящих материалов при пропускании между ними импульсного электрического тока. К этим методам относят *электроискровую, электроимпульсную, высокочастотные электроискровую и электроимпульсную и электроконтактную обработку*. При разности потенциалов на электродах происходит *ионизация межэлектродного промежутка*. Когда напряжение достигнет определенного значения, в среде между электродами образуется *канал проводимости*, по которому устремляется электрическая энергия в виде импульсного искрового или дугового разряда. При высокой концентрации энергии, плотность тока в канале проводимости достигает 8000-10000 А/мм, в результате чего температура на поверхности обрабатываемой заготовки-электрода возрастает до 10 000-12 000 °С. При этой температуре мгновенно оплавляется и испаряется элементарный объем металла и на обрабатываемой поверхности заготовки образуется лунка. Удаленный металл застывает в диэлектрической жидкости в виде гранул диаметром 0,01-0,005 мм. Следующий импульс тока пробивает межэлектродный промежуток там, где расстояние между электродами *наименьшее*. При непрерывном подведении к электродам импульсного тока процесс эрозии продолжается до тех пор, пока не будет удален весь металл, находящийся между электродами на расстоянии, при котором возможен электрический пробой (0,01-0,05 мм) при заданном напряжении. Для продолжения процесса необходимо с помощью следящих систем сблизить электроды до указанного расстояния.

Кроме теплового воздействия на материал заготовки-электрода действуют электродинамические и электростатические силы, давление жидкости вследствие кавитации, сопровод. процессы импульсных разрядов. Тепловые и силовые факторы приводят к разрушению металла и формообразованию поверхности. Электрический разряд между двумя электродами происходит в газовой среде или диэлектрической жидкости (керосином, минеральным маслом) – *интенсивнее*. При ЭИО обработке используют импульсные искровые разряды между электродами, один из которых *обработ. заготовка (анод)*, а другой - *инструмент (катод)*.

Схема *электроискрового станка с генератором импульсов RC* показана на рис. 7.1. Конденсатор *C*, включенный в зарядный контур, заряжается через резистор *R* от источника постоянного тока напряжением 100—200 В. Когда напряжение на электродах 1 и 3, образующих разрядный контур, достигнет пробойного, образуется канал проводимости, через который осуществляется искровой разряд энергии, накопленной конденсатором. Продолжительность импульса составляет 20-200 мкс. При увеличении емкости конденсатора накапливаемый в нем запас энергии увеличивается и повышается производительность процесса. В зависимости от количества энергии расходуемой в импульсе, режим, обработки делят на *жесткий или средний - для предварительной обработки* и *мягкий или особо мягкий - для отделочной обработки*. Мягкий режим обработки позволяет получать размеры с точностью до 0,002 мм при шероховатости поверхности 0,63-0,16 мкм. Обработку ведут в ваннах с диэлектрической жидкостью. Жидкость исключает нагрев электродов (инструмента и заготовки), охлаждает продукты разрушения, уменьшает величину боковых разрядов между инструментом и заготовкой, что повышает точность обработки. Для обеспечения непрерывности процесса - зазор между инструментом-электродом и заготовкой д.б. постоянным.



**Схема электроискрового станка**

Инструменты-электроды изготавливают из медно-графитовых и других материалов. ЭИМ обраб. все токопроводящие материалы, но эффект эрозии при одних и тех же параметрах электрических импульсов различен. Зависимость интенсивности эрозии от свойств металлов называют *электроэрозионной обрабатываемостью*. Если принять электроэрозионную обрабатываемость стали за единицу, то для других металлов ее можно представить в следующих относительных единицах: твердые сплавы - 0,5; титан - 0,6; никель - 0,8; медь - 1,1; латунь - 1,6; алюминий - 4; магний - 6. Электроискровым методом целесообразно обрабатывать твердые сплавы, труднообрабатываемые металлы и сплавы, тантал, молибден и другие материалы.

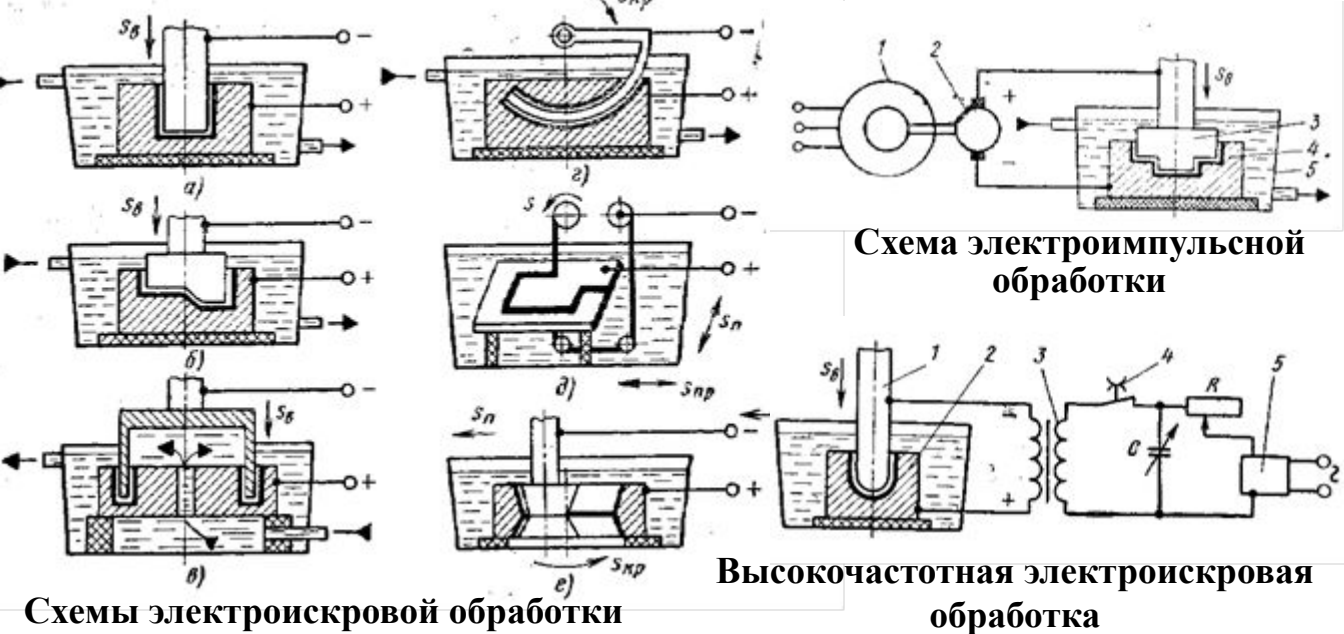


Схема электроимпульсной обработки

Высокочастотная электроискровая обработка

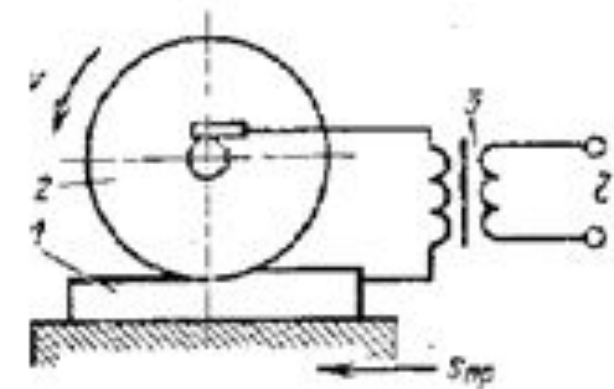
Схемы электроискровой обработки

ЭИМ получают сквозные отверстия любой формы поперечного сечения (а), глухие отверстия и полости (б) фасонные отверстия и полости по способу трепанации (в), отверстия с криволинейными осями (г); вырезают заготовки из листа при использовании проволочного или ленточного инструмента-электрода (д), выполняют плоское, круглое и внутреннее (е) шлифование, разрезают заготовки, клеймят детали. ЭИМ применяют для изготовления штампов, пресс-форм, фильер, режущего инструмента, деталей топливной аппаратуры ДВС, сеток и сит; упрочнения поверхностного слоя металлов деталей машин, пресс-форм, режущего инструмента нанесением тонкого слоя какого-либо металла, сплава или композиционного материала. Подобные покрытия повышают твердость, износостойкость, жаростойкость, эрозионную стойкость и другие характеристики изделий.

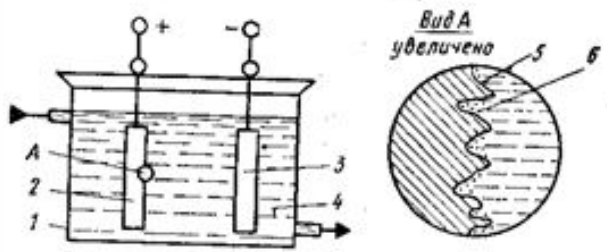
При электроимпульсной обработке используют электрические импульсы большой длительности (500-10 000 мкс), в результате чего происходит дуговой разряд. Большие мощности импульсов, получаемых от электронных или машинных генераторов, обеспечивают высокую производительность процесса обработки. Применение генераторов и графитовых электродов, а также обработки при обратной полярности позволило уменьшить разрушение электродов. ЭИО применяется при предварительной обработке штампов, турбинных лопаток, фасонных отверстий в деталях из жаропрочных сплавов. Точность размеров и шероховатость обработанных поверхностей зависят от режима обработки. При электроимпульсной обработке съем металла в единицу времени в 8-10 раз больше, чем при ЭИМ.

**Высокочастотную электроискровую обработку** применяют для повышения точности и уменьшения шероховатости поверхностей обработанных ЭИМ. Метод основан на использовании электр. импульсов малой мощности при частоте 100-150 кГц. При ВЧ ЭИО конденсатор С разряжается при замыкании первичной цепи импульсного трансформатора прерывателем, вакуумной лампой или тиратроном. Инструмент-электрод и заготовка включены во вторичную цепь трансформатора, что исключает возникновение дугового разряда. Производительность метода в 30-50 раз выше, чем при электроискровом методе при значительном увеличении точности и уменьшении шероховатости. Износ инструмента незначителен. Высокочастотный электроискровой метод применяют при обработке деталей из твердых сплавов, так как он исключает структурные изменения и образование микротрещин в поверхностном слое материала обрабатываемой заготовки.

**Электроконтактная обработка** основана на локальном нагреве заготовки в месте контакта с электродом-инструментом и удалении размягченного или даже расплавленного металла из зоны обработки механическим способом: относительным движением заготовки и инструмента. Источником теплоты в зоне обработки служат импульсные дуговые разряды. ЭКО оплавлением - для обработки крупных деталей из углеродистых и легированных сталей, чугуна, цветных сплавов, тугоплавких и специальных сплавов; при зачистке отливок от заливок, отрезке литниковых систем и прибылей, зачистке проката из спецсплавов, черновом круглом наружном, внутреннем и плоском шлифовании корпусных деталей из труднообрабатываемых сплавов, шлифовании с одновременной поверхностной закалкой деталей из углеродистых сталей. **Метод - не обеспечивает высокой точности и качества поверхности, но дает высокую производительность съема металла.**



Электроконтактная обработка плоской поверхности

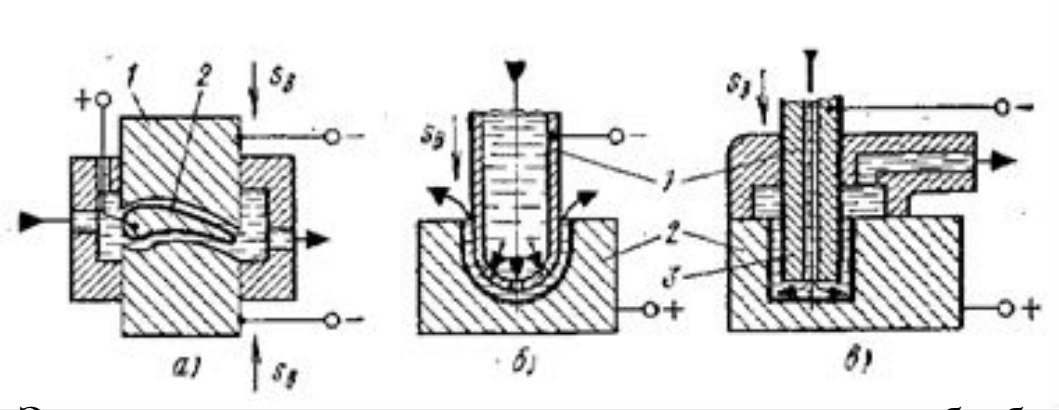


Электрохимическое полирование

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

ЭХО основаны на законах анодного растворения при электролизе. При прохождении постоянного электр. тока через электролит на поверхности заготовки, включенной в электр. цепь и являющейся анодом, происходят химические реакции и поверхностный слой металла превращается в химическое соединение. Продукты электролиза переходят в раствор или удаляются механическим способом. Производительность процессов ЭХО зависит в основном от электрохимических свойств электролита, обрабатываемого токопроводящего материала и плотности тока.

**ЭХ полирование** выполняют в ванне с электролитом (кислотным или щелочным). Обрабатываемую заготовку подключают к аноду; электродом-катодом служит металлическая пластина из свинца, меди, стали. Для большей интенсивности процесса электролит подогревают до температуры 40-80 °С. При подаче напряжения на электроды начинается процесс растворения материала заготовки-анода на выступах микронеровностей поверхности вследствие более высокой плотности тока на их вершинах. Впадины между микровыступами заполняются продуктами растворения: оксидами или солями, имеющими пониженную проводимость. В результате избирательного растворения, т. е. большей скорости растворения выступов, микронеровности сглаживаются и обрабатываемая поверхность приобретает металлический блеск. **ЭП улучшает электрофизические характеристики деталей, так как уменьшается глубина микротрещин, поверхностный слой обрабатываемых поверхностей не деформируется, исключаются упрочнение и термические изменения структуры, повышается коррозионная стойкость.**



Способ рекомендуют для обработки заготовок из высокопрочных сплавов, карбидных и труднообрабатываемых материалов. Отсутствие давления инструмента на заготовку позволяет обрабатывать нежесткие тонкостенные детали с высокой точностью и качеством обработанной поверхности. Наиболее широко применяют нейтральные электролиты: растворы солей  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaN}_3$  и  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ .

**Электрополирование** позволяет одновременно обрабатывать партию заготовок по всей их поверхности. ЭП получают поверхности деталей под гальванические покрытия, доводят рабочие поверхности режущего инструмента, изготавливают тонкие ленты и фольгу, очищают и декоративно отделывают детали.

**Электрохимическую размерную обработку** выполняют в струе электролита, прокачиваемого под давлением через межэлектродный промежуток, образуемый обрабатываемой заготовкой-анодом и инструментом-катодом.

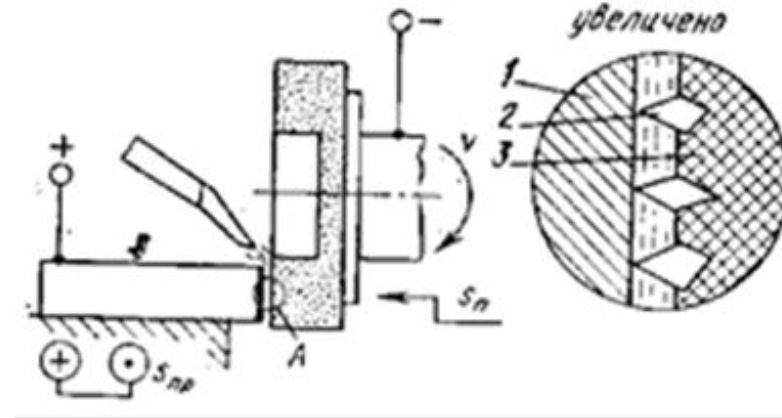
Струя электролита, непрерывно подаваемого в межэлектродный промежуток, растворяет образующиеся на заготовке-аноде соли и удаляет их из зоны обработки. При этом способе одновременно обрабатывается вся поверхность заготовки, находящаяся под активным воздействием катода, что обеспечивает высокую производительность. Необработанные участки заготовки изолируют. Инструменту придают форму, обратную форме обрабатываемой поверхности. Формообразование поверхности происходит по методу отражения (копирования), при котором отсутствует износ инструмента - им является струя электролита. Импульсное рабочее напряжение повышает точность.

**При электроабразивной и электроалмазной** обработке инструментом-электродом служит шлифовальный круг, выполненный из абразивного материала на электропроводящей связке (бакелитовая связка с графитовым наполнителем). Между анодом-заготовкой и катодом-шлифовальным кругом имеется межэлектродный зазор, образованный зернами, выступающими из связки. В зазор подается электролит. Продукты анодного растворения материала заготовки удаляются абразивными зернами; шлифовальный круг имеет вращательное движение, а заготовки - движения подачи.

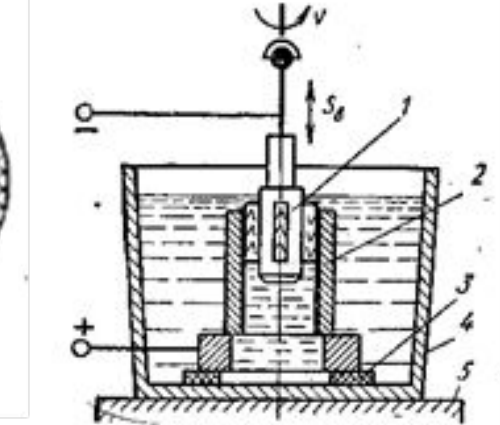
Введение в зону резания ультразвуковых колебаний повышает производительность электроабразивного и электроалмазного шлифования в 2-2,5 раза при значительном улучшении качества обработанной поверхности. Электроабразивные и электроалмазные методы применяют для отделочной обработки заготовок из труднообрабатываемых материалов, а также нежестких заготовок, так как силы резания здесь незначительны. При этих методах обработки прижоги обрабатываемой поверхности исключены.

При **электроабразивной** обработке 85-90 % припуска удаляется за счет анодного растворения и 15-10 % за счет механического воздействия. При электроалмазной обработке ~75 %.

Отделочную обработку поверхностей проводят **электрохимическим хонингованием**.



**Электроабразивное шлифование**



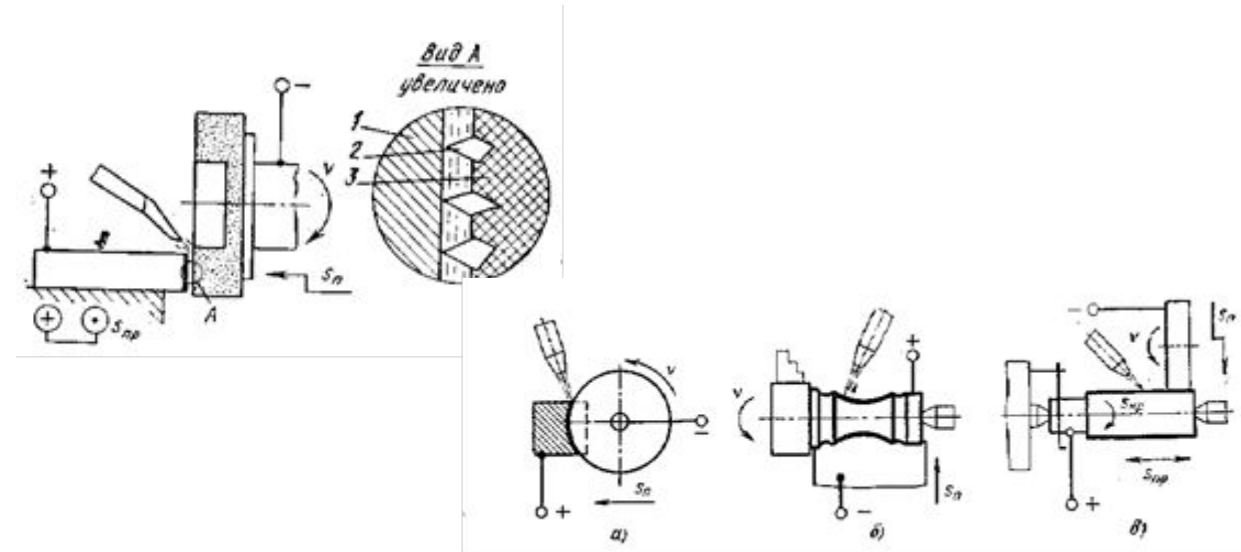
**Электрохимическое хонингование**

Кинематика процесса соответствует хонингованию абразивными головками в ванне, заполненной электролитом, и подключенной к аноду. Хонинговальную головку подключают к катоду. Вместо абразивных брусков в головке установлены деревянные или пластмассовые. Продукты анодного растворения удаляются с обрабатываемой поверхности брусками при вращательном и возвратно-поступательном движениях хонинговальной головки. Чтобы продукты анодного растворения удалялись более активно, в электролит добавляют абразивные материалы. После того как удаление припуска с обрабатываемой поверхности закончено, осуществляют процесс «выхаживания» поверхности при выключенном электрическом токе для полного удаления анодной пленки с обработанной поверхности. Электрохимическое хонингование обеспечивает более низкую шероховатость поверхности, чем хонингование абразивными брусками. Поверхность получает зеркальный блеск. Производительность электрохим. хонингования в 4-5 раз выше, механич. хонингования.

**Анодно-механическая обработка** основана на сочетании электротермических и электромеханических процессов и занимает промежуточное место между электроэрозионными и ЭХО. Обрабатываемую заготовку подключают к аноду, а инструмент - к катоду. В зависимости от характера обработки и вида обраб. поверхности в качестве инструмента используют металлические диски, цилиндры, ленты, проволоку. Обработку ведут в среде электролита, которым чаще всего служит водный раствор жидкого натриевого стекла. Заготовке и инструменту задают такие же движения, как при обычных методах механической обработки резанием. Электролит подают в зону обработки через сопло.

При пропускании через раствор электролита постоянного электрического тока происходит процесс анодного растворения, как при ЭХО. При соприкосновении инструмента-катода с микронеровностями обрабатываемой поверхности заготовки-анода происходит процесс электроэрозии, присущий электроискровой обработке. Кроме того, при пропускании электрического тока металл заготовки в точке контакта с инструментом разогревается так же, как при электроконтактной обработке, и материал заготовки размягчается. Продукты электроэрозии и анодного растворения удаляются из зоны обработки при относительных движениях инструмента и заготовки. Анодно-механическим способом обрабатывают заготовки из всех токопроводящих материалов, высокопрочных и труднообрабатываемых металлов и сплавов, вязких материалов.

## Анодно-механическая обработка

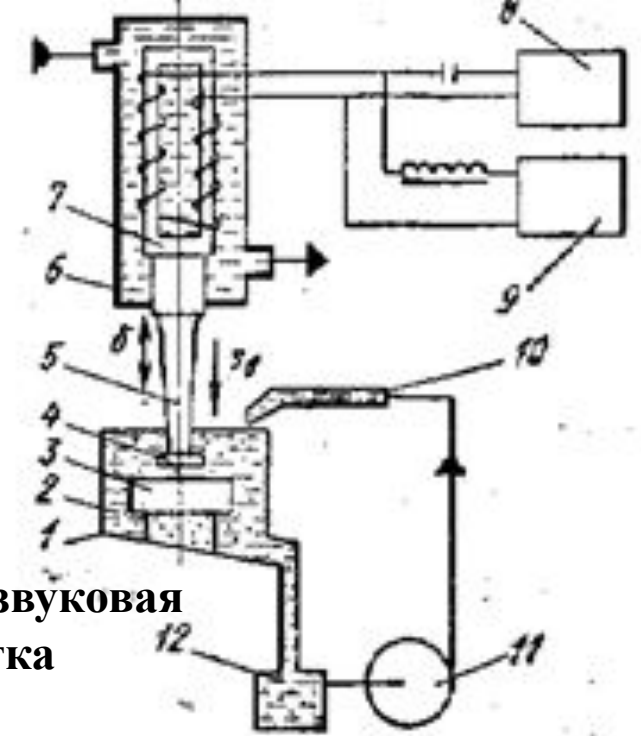


Анодно-механическим методом разрезают заготовки на части (а), прорезают пазы и щели, обтачивают поверхности тел вращения (б), шлифуют плоские поверхности и поверхности, имеющие форму тел вращения (в), полируют поверхности, затачивают режущий инструмент.



**Химическая обработка** - целенаправленное разрушение металлов и сплавов травлением их в растворах кислот и щелочей. Перед травлением обрабатываемые поверхности заготовки тщательно очищают. Поверхности, не подлежащие обработке - защищают химически стойкими покрытиями. Подготовленные заготовки опускают в ванну с раствором кислоты или щелочи в зависимости от материала, из которого они изготовлены. Чтобы скорость травления была постоянной, концентрацию раствора поддерживают неизменной, а для большей интенсивности процесса травления раствор подогревают до 40-80 °С. После обработки заготовки промывают, нейтрализуют, еще раз промывают горячим содовым раствором, сушат и снимают защитные покрытия. Химическим травлением получают местные утонения на нежестких заготовках, ребра жесткости, извилистые канавки и щели, «вафельные» поверхности, обрабатывают поверхности, труднодоступные для режущего инструмента. Химико-механическим методом обрабатывают заготовки из твердых сплавов. Заготовки приклеивают специальными клеями к пластинам и опускают в ванну, заполненную суспензией, состоящей из раствора сернокислой меди и абразивного порошка. В результате обменной химической реакции на поверхности заготовок выделяется рыхлая металлическая медь, а кобальтовая связка твердого сплава переходит в раствор в виде соли, освобождая тем самым зерна карбидов титана, вольфрама и тантала. Медь вместе с карбидами сошлифовывается присутствующим в растворе абразивным порошком. В качестве инструмента используют чугунные диски или пластины. Карбиды удаляют в результате относительных движений инструмента и заготовок. Химико-механическую обработку применяют для разрезания и шлифования пластинок из твердого сплава, доводки твердосплавного инструмента.

**Ультразвуковая обработка (УЗО)** материалов - разновидность механической обработки - основана на разрушении обрабатываемого материала абразивными зёрнами под ударами инструмента, колеблющегося с ультразвуковой частотой. Источником энергии служат ультразвуковые генераторы тока с частотой 16-30 кГц. Инструмент получает колебания от ультразвукового преобразователя с сердечником из магнитострикционного материала. Эффектом магнитострикции обладают никель, железоникелевые сплавы (пермендюр), железо-алюминиевые сплавы (альфер), ферриты. В сердечнике из магнитострикционного материала при наличии электромагнитного поля домены разворачиваются в направлении магнитных силовых линий, что вызывает изменение размера поперечного сечения сердечника и его длины. В переменном магнитном поле частота изменения длины сердечника равна частоте колебаний тока. При совпадении частоты колебаний тока с собственной частотой колебаний сердечника наступает резонанс и амплитуда колебаний торца сердечника достигает 2-10 мкм. Для увеличения амплитуды колебаний на сердечнике закрепляют резонансный волновод переменного поперечного сечения, что увеличивает амплитуду колебаний до 10-60 мкм. На волноводе закрепляют рабочий инструмент - пуансон. Под пуансоном-инструментом устанавливают заготовку и в зону обработки поливом или под давлением подают абразивную суспензию, состоящую из воды и абразивного материала. Из абразивных материалов используют карбиды бора или кремния и электрокорунд. Наиб. производительность получают при использовании карбидов бора. Инструмент поджимают к заготовке силой 1-60 Н. Процесс обработки заключается в том, что инструмент, колеблющийся с ультразвуковой частотой, ударяет по зёрнам абразива, лежащим на обраб. поверхности, скалывающие частицы материала заготовки. **Процесс обработки заключается** в том, что инструмент, колеблющийся с ультразвуковой частотой, ударяет по зёрнам абразива, лежащим на обрабатываемой поверхности, которые скалывают частицы материала заготовки. Заготовку 3 помещают в ванну под инструментом-пуансоном 4. Инструмент установлен на волноводе 5, который закреплен в магнитострикционном сердечнике 7, смонтированном в кожухе 6, сквозь который прокачивают воду для охлаждения сердечника.



### Ультразвуковая обработка

Для возбуждения колебаний сердечника магнитострикционного преобразователя служит генератор 8 ультразвуковой частоты и источника постоянного тока 9. Абразивную суспензию 2 подают под давлением по патрубку 10 насосом 11, забирающим суспензию из резервуара 12. Прокачивание суспензии исключает оседание абразивного порошка на дне ванны и обеспеч. подачу в зону обработки абразивн. материала. Кавитационные явления в жидкости способствуют интенсивн. перемешив. абр. зёрен под инструментом замене изнош. зёрен новыми, и разрушению обраб. материала





