

Тема: ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

1. Назначение и классификация электрофизических и электрохимических методов обработки
2. Электроэрозионная обработка изделий
3. Электрохимическая обработка изделий
4. Ультразвуковая обработка
5. Лазерная обработка
6. Плазменная обработка изделий

1. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ

Появление новых конструкционных материалов, повышение требований к точности обработки, специфические требования к качеству поверхностного слоя обусловили необходимость применения новых методов обработки, основанных на иных, чем резание, физических процессах. К таковым относятся: обработка поверхности поверхностным пластическим деформированием; электрофизические и электрохимические методы обработки; светолучевая и плазменно-лучевая обработка.

Электрофизические и электрохимические методы используются для формообразования поверхностей заготовок из труднообрабатываемых материалов (весьма вязких, твердых и очень твердых, керамических, металлокерамических) и позволяют обрабатывать сложные фасонные внешние и внутренние поверхности, отверстия малых диаметров и т.д.

При электрофизических и электрохимических методах механические нагрузки на обрабатываемую поверхность настолько малы, что практически не влияют на точность обработки. При этом образуется незначительный дефектный слой (в ряде случаев), не появляется наклеп обработанной поверхности, устраняются прижоги после шлифования, повышаются эксплуатационные характеристики поверхностного слоя (износостойкость, коррозионная стойкость, прочность). Простота кинематических цепей станков для этих методов позволяет обеспечивать автоматизацию обработки и точное регулирование процессов формообразования.

Все электрофизические и электрохимические методы условно подразделяются на обработку:

- электроэрозионную (электроискровая, электроимпульсная, электроконтактная);
- электрохимическую (электрохимическая, анодно-механическая);
- химическую (химическая, химико-механическая);
- импульсно-механическую (ультразвуковая, электрогидравлическая);
- лучевую (светолучевая, электронно-лучевая);
- плазменную и взрывную.

2. ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА

Метод основан на разрушении (эрозии) поверхности заготовки, происходящем в результате теплового воздействия импульсов электрического разряда, которые возникают между электродами (инструментом и заготовкой). Электрический разряд между электродами происходит в газовой среде или при заполнении межэлектродного промежутка диэлектрической жидкостью (керосин, минеральное масло). Эрозия электродов в жидкой среде происходит значительно интенсивнее.

При замыкании электрической цепи межэлектродное пространство ионизируется. При достижении пороговой разности потенциалов образуется канал проводимости, по которому проходит искровой или дуговой разряд. За время 10^{-8} – 10^{-5} с плотность тока возрастает до 8–10 кА/мм². В результате температура на поверхности заготовки возрастает до 10000–12000 °С, что влечет плавление, испарение и выброс частиц материала с поверхности заготовки. Следующий импульс тока пробивает межэлектродный промежуток там, где расстояние между электродами окажется минимальным. Эрозия металла происходит до тех пор, пока расстояние между электродами не окажется больше критического (0,01–0,05 мм). При сближении электродов процесс эрозии повторяется. Кроме теплового имеют место электростатическое, электродинамическое воздействие и кавитационные явления.

Электроискровая обработка

Электроискровая обработка основана на использовании импульсного искрового разряда между анодом (заготовкой) и катодом (инструментом).

Таблица 1 – Технологические показатели некоторых операций электроискровой обработки (частота 500–5000 Гц)

Операции	Шероховатость Rz, мкм	Производительность, мм ³ /мин	Мощность, кВт	Напряжение, В
Прошивка отверстий диаметром, мм: 1 5 20	0,6–40	До 20 До 150 До 1200	0,2–0,3 0,5–0,8 2–2,5	30–70
Прошивка фасон-ных полостей	–	4000	20–40	80–200
Гравирование, мар-кирование	–	–	0,5–10	

Технологические параметры электроискровой обработки приведены в табл. 1, принципиальная схема процесса показана на рис. 1. В ванне с диэлектрической жидкостью 4 размещены подставка-изолятор 7 и заготовка 6. Между заготовкой и инструментом 3 пропускается импульсный ток амплитудой 100–200 В. Импульс продолжительностью 20–200 мкс генерируется RC-генератором 1.

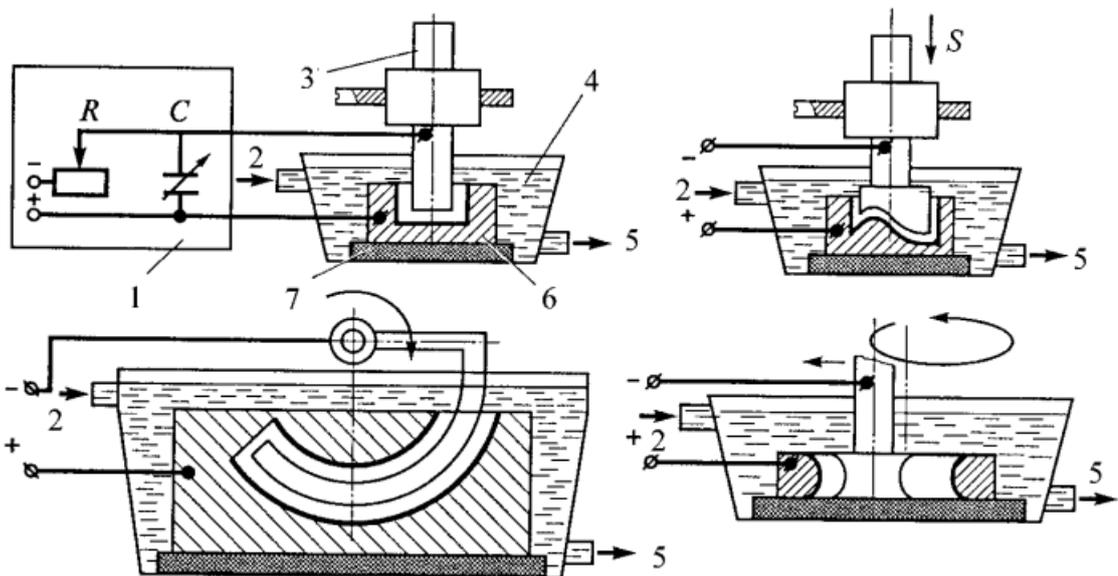


Рис. 1. Электроискровая обработка:

1 – RC-генератор; 2 – подача электролита; 3 – инструмент; 4 – диэлектрическая жидкость; 5 – слив электролита; 6 – заготовка; 7 – изолятор

В зависимости от энергии импульса различают обработку на особо мягких, мягких, средних и жестких режимах. Мягкие режимы позволяют вести обработку с размерной точностью до 2 мкм и шероховатостью обработанной поверхности до Rz 0,32 мкм. Обработка на средних и жестких режимах позволяет получать фасонные открытые полости (полость штампа), цилиндрические отверстия с радиусной осью, прошивать сквозные отверстия любой поперечной формы диаметром 1–50 мм, резать заготовку и т.д. Обработка на особо мягких режимах позволяет шлифовать внутреннюю поверхность особо точных отверстий малого диаметра (фильер) и проводить окончательную отделку заготовки.

Электроискровая обработка применяется для изготовления штампов, пресс-форм, фильер, режущего инструмента, деталей топливной аппаратуры двигателей, сеток сит и т.д. Кроме того, электроискровая обработка используется для повышения износостойкости, жаростойкости и коррозионной стойкости поверхности деталей машин, стойкости режущего инструмента, для создания шероховатости под последующее гальваническое покрытие, легирования поверхностных слоев, увеличения размеров изношенных деталей.

Сущность электроискрового упрочнения заключена в образовании мелкодисперсной закалочной структуры и в легировании поверхностных слоев материала анода при искровом разряде в воздушной среде.

Электроискровому упрочнению подвергают кулачки, фиксаторы, направляющие, прижимы, толкатели, стержни выпускных клапанов, клинья, пазы, шлицы, отверстия.

Электроискровое упрочнение требует предварительной подготовки заготовок: удаление загрязнений, заусенцев и пятен коррозии; обеспечение шероховатости обрабатываемой поверхности не более Rz 80 мкм. Электроискровое упрочнение проводят на мягких, средних и жестких режимах (табл. 2).

Таблица 2. – Характеристика режимов электроискрового упрочнения

Режим	Напряжение, В		Ток, А		Производительность, мм ² /с
	вспомогательного хода	рабочее	короткого замыкания	рабочий	
Мягкий	15	9–13	3,5	0,8–1,2	1,5
	25	10–18	3,7	1,2–1,5	1,3
Средний	40	21–33	4,5	1,5–2,0	1,2
	75	30–48	4,3	2,0–2,5	1,1
Жесткий	135	35–58	4,2	2,0–2,5	1,0
	190	48–68	5,5	2,2–2,8	0,7

Мягкие режимы обеспечивают получение тонкого плотного мелкодисперсного слоя. Жесткие режимы позволяют получать более толстые слои, но не обеспечивают однородность упрочненного слоя.

Импульсная электроэрозионная обработка

Электроимпульсная обработка основана на повышенной эрозии анода при подаче импульсов малой и средней продолжительности. При импульсах большой продолжительности (дуговой разряд) значительно быстрее разрушается катод.

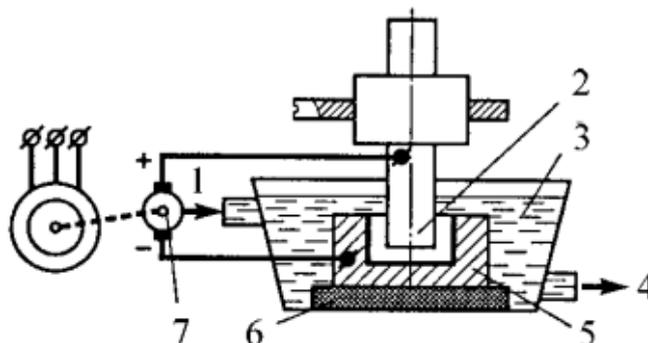


Рис. 2. Импульсная электроэрозионная обработка:

1 – подача электролита; 2 – инструмент; 3 – диэлектрическая жидкость; 4 – слив электролита; 5 – заготовка; 6 – изолятор; 7 – электромашинный генератор

Униполярные импульсы создаются электромашинным 7 (рис. 2) или электронным генератором. Продолжительность импульса составляет 500–10000 мкс. Заготовку 5 размещают на изоляторе 6 в ванне с диэлектрической жидкостью 3. При данной обработке инструмент 2 изнашивается медленнее, чем при электроискровой. Значительная мощность импульса обеспечивает высокую производительность, но малую точность обработки, поэтому метод целесообразно применять для черновой обработки обширных полостей, фасонных наружных поверхностей и отверстий.

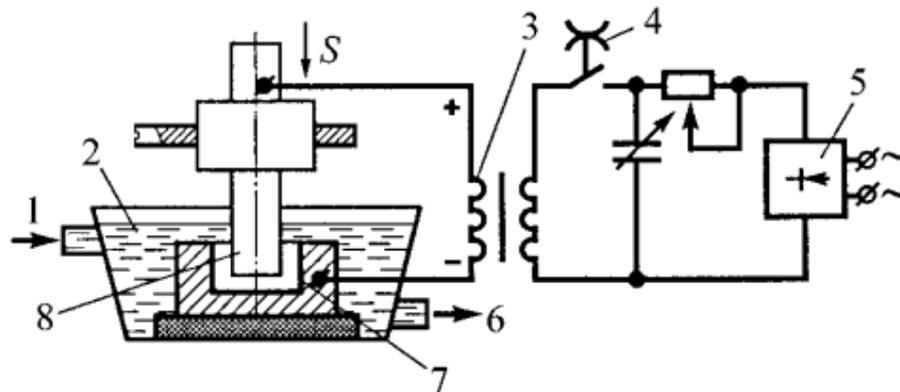


Рис. 3. Высокочастотная импульсная обработка:

1 – подача электролита; 2 – диэлектрическая жидкость; 3 – трансформатор; 4 – прерыватель тока; 5 – выпрямитель; 6 – слив электролита; 7 – заготовка; 8 – инструмент

Высокочастотная электроимпульсная обработка основана на использовании высокочастотных (100–150 кГц) импульсов при малых значениях энергии разряда. Производительность метода в 30–50 раз выше по сравнению с электроискровой обработкой, при одновременном повышении точностных параметров обработанной поверхности.

Схема установки высокочастотной электроимпульсной обработки показана на рис. 3. Заготовка 7 и инструмент 8 установлены в ванне с диэлектрической жидкостью 2. Постоянное напряжение от выпрямителя 5 разрывается прерывателем тока 4 и подается на первичную обмотку импульсного трансформатора 3. Включение заготовки и инструмента во вторичную цепь трансформатора позволяет избежать возникновения дугового разряда.

Электроконтактная обработка

Электроконтактная обработка основана на локальном нагреве заготовки 1 (рис. 4) в месте ее контакта с инструментом (электродом) 2 и удалении размягченного или расплавленного материала из зоны обработки механическим путем.

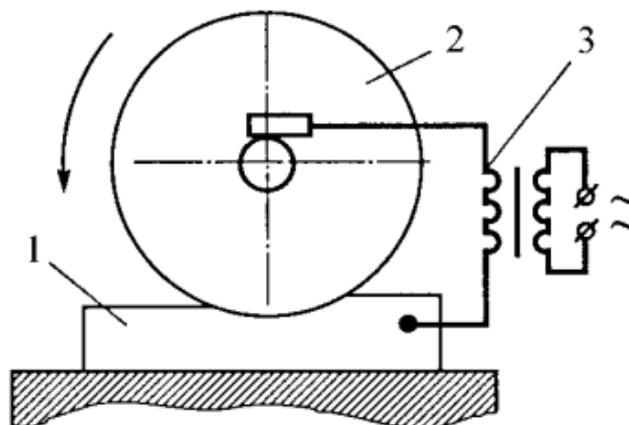


Рис. 4. Электроконтактная обработка:

1 – заготовка; 2 – инструмент; 3 – трансформатор

Источником образования теплоты в зоне обработки является импульсный дуговой разряд. Питание электрической цепи производится трансформатором 3 через контактор. Электроконтактную обработку применяют при сверлении, точении, разрезании заготовок.

3. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИЗДЕЛИЙ

Метод электрохимической обработки основан на анодном растворении выступов и впадин микронеровностей при электролизе. При прохождении постоянного электрического тока через электролит 2 (рис. 5, а) на поверхности анода (заготовки 3) происходят химические реакции и поверхностные слои металла превращаются в химические соединения. Продукты электролиза переходят в раствор или удаляются механическим способом.

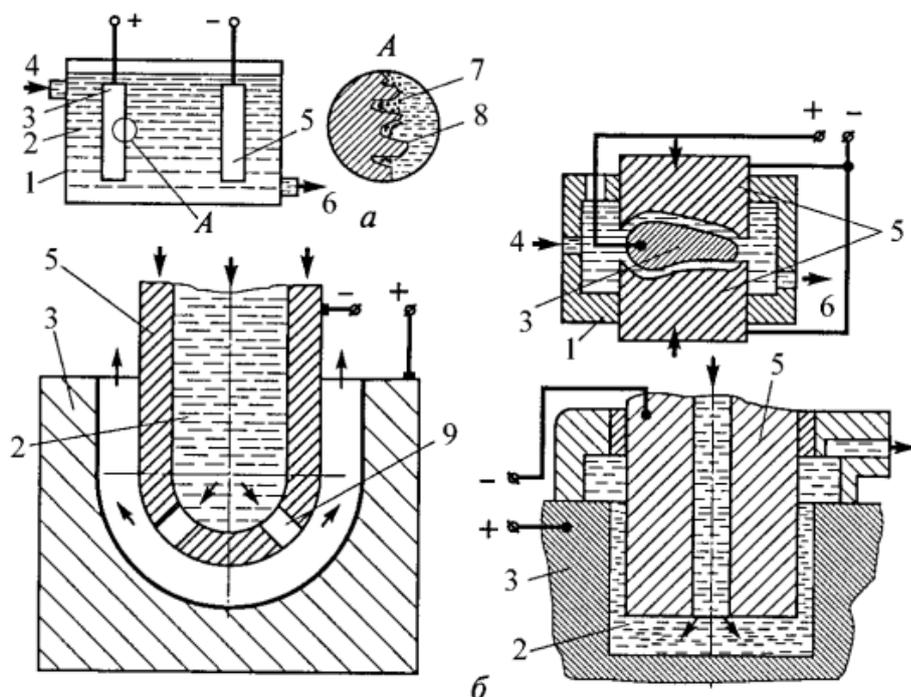


Рис. 5. Электрохимическая обработка:

а) полирование; б) размерная обработка; 1 – ванна; 2 – электролит; 3 – заготовка; 4 – подача электролита; 5 – катод; 6 – слив электролита; 7 – продукты растворения; 8 – микронеровности; 9 – отверстие

При электрохимическом полировании (рис. 5, а) заготовку 3 помещают в ванну 1 с электролитом 2, которым в зависимости от обрабатываемого материала служат растворы кислот или щелочей. Заготовку подключают к аноду. Катод 5 представляет собой пластину из свинца, меди или стали.

При замыкании электрической цепи начинается растворение материала анода – выступов микронеровностей 8 (наибольшая плотность тока – на их вершинах). Продукты растворения 7 (окислы или соли, имеющие пониженную проводимость) заполняют впадины и препятствуют растворению металла. Избирательная скорость растворения по выступам и впадинам сглаживает микронеровности. Обработанная поверхность получает металлический блеск.

Электрохимическое полирование уменьшает глубину микротрещин, не деформирует заготовку, исключает термические изменения структуры и позволяет обрабатывать нежесткие заготовки одновременно по всей поверхности. Чаще всего этот способ применяется для финишной обработки режущих инструментов.

Особенностью электрохимической размерной обработки (рис. 5, б) является электролиз в струе электролита, прокачиваемого под давлением через межэлектродный промежуток, образуемый заготовкой 3 и катодом 5.

Струя электролита удаляет и продукты электролиза из рабочей зоны. Способ позволяет одновременно обрабатывать всю поверхность заготовки, находящуюся под воздействием катода (необрабатываемые участки поверхности изолируются).

Электрохимической размерной обработке подвергаются нежесткие заготовки, сложно-фасонные заготовки, фасонные полости или фасонные глухие (сквозные) отверстия в труднообрабатываемых материалах. При обработке полостей или отверстий электролит подается по сквозному или глухому центральному каналу катода через отверстия 9.

Электроабразивная обработка

Особенность электроабразивной обработки состоит в том, что катодом является абразивный инструмент 2 (рис. 6, а), выполненный на электропроводящей связке (например, бакелитовая с графитным наполнителем). Между анодом (заготовкой 1) и инструментом имеется межэлектродный зазор за счет абразивных зерен 3, выступающих из связки. В этот зазор подается электролит 4. До 90% припуска 5 удаляется за счет анодного растворения, 10–20% припуска удаляется механической обработкой. При использовании алмазного абразивного инструмента (электроалмазная обработка) анодным растворением удаляется до 75% припуска. Способ применяется для отделочной обработки нежестких заготовок и заготовок из труднообрабатываемых материалов.

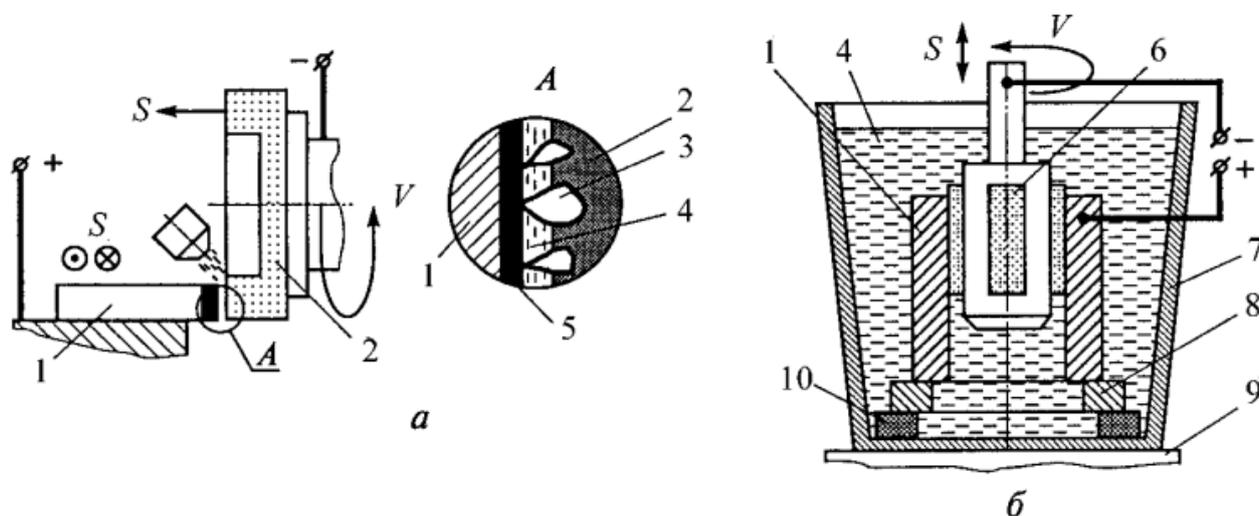


Рис. 6. Электроабразивная обработка:

а) шлифование; б) хонингование; 1 – заготовка; 2 – инструмент; 3 – абразивные зерна; 4 – электролит; 5 – припуск; 6 – хонинговальная головка; 7 – ванна; 8 – токосъемное кольцо; 9 – стол; 10 – изолятор

При электрохонинговании (рис. 6, б) заготовку 1, установленную на токосъемное кольцо 8 и изолятор 10, помещают в ванну 7 с электролитом 4.

Ванну устанавливают на стол 9 хонинговального станка. Кинематика процесса аналогична кинематике обычного хонингования. Однако хонинговальная головка б оснащена не абразивными брусками, а брусками из липы, ольхи или пластмассы. Предварительное хонингование ведут в растворе электролита NaNO_3 (натриевая селитра) с добавлением абразивного порошка зернистостью не более М28. Окончательное хонингование ведут в том же электролите, но с добавлением оксида хрома. Способ обеспечивает более низкую шероховатость поверхности (Ra 0,04–0,16 мкм – зеркальный блеск) и повышение производительности обработки в 4–5 раз.

Анодно-механическая обработка

Анодно-механическая обработка основана на комбинированном (механическом, электроэрозионном и электрохимическом) воздействии на материал заготовки. Анод – заготовку 1 (рис. 7, а) и катод – режущий инструмент 3 включают в общую электрическую цепь постоянного тока. В зазор между ними подают электролит 2 (обычно жидкое стекло – водный раствор силиката натрия). Вследствие анодного растворения на заготовке образуется защитная пленка, которая разрушается режущим инструментом.

При снятии пленки между выступающими частями электродов происходят электрические разряды, что приводит к электрической эрозии.

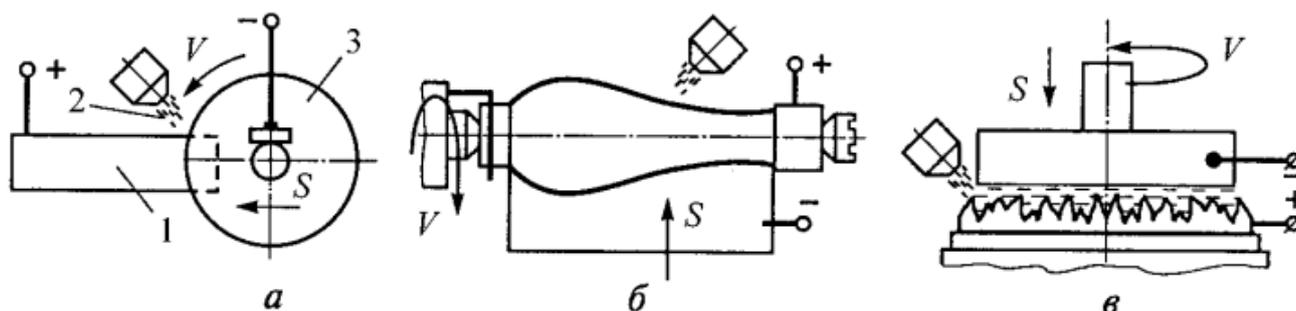


Рис. 7. Анодно-механическая обработка:
а) разрезание; б) точение; в) обработка плоскости;
1 – заготовка; 2 – электролит; 3 – инструмент

Применение комбинации трех процессов позволяет за счет регулирования энергии отдельных составляющих проводить обработку в широких пределах. При черновой обработке операцию выполняют при большой плотности тока, при этом большое значение имеет тепловое электроэрозионное воздействие, приводящее к интенсивному снятию материала заготовки в результате плавления и взрывообразного испарения металла в среде электролита. Анодное растворение необходимо только для образования защитной пленки, обеспечивающей концентрацию дуговых разрядов на вершинах микронеровностей. Механическое воздействие обеспечивает вынос продуктов разрушения из зоны обработки. Чистовую обработку осуществляют при малой плотности тока. Основное значение имеет механизм анодного растворения и механического разрушения пленки. Эти

процессы происходят на вершинах микронеровностей, что позволяет существенно уменьшить шероховатость поверхности и повысить точность обработки.

Анодно-механической обработке подвергаются все токопроводящие материалы, высокопрочные и труднообрабатываемые сплавы, твердые сплавы, вязкие материалы. Анодно-механической обработкойрезают заготовки (рис. 7, а), прорезают пазы и щели, точат (рис. 7, б), обрабатывают плоские поверхности (рис. 7, в), полируют поверхности, затачивают режущий инструмент.

4. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА

Метод ультразвуковой обработки (УЗО) основан на явлении магнитострикции, т.е. способности сердечника из ферромагнитных материалов изменять свои поперечное сечение и длину под воздействием переменного магнитного поля. Этим эффектом обладают никель, железокобальтовые и железоалюминиевые сплавы, феррит.

Принципиальная схема УЗО представлена на рис. 8,а. Заготовку 2 помещают в ванну 3, заполненную абразивной суспензией 1. К заготовке подводят инструмент – пуансон 4, закрепленный на торце концентратора 11, который расположен в магнитострикционном сердечнике 6, установленном в кожухе 5. Через кожух пропускают охлаждающую жидкость. Колебания сердечника возбуждаются с помощью генератора ультразвуковой частоты 8 (частота – 16–30 кГц, амплитуда колебаний – 5–10 мкм) и источника постоянного тока 9. Абразивную суспензию прокачивают через систему «ванна 3 – резервуар 13 – насос 12».

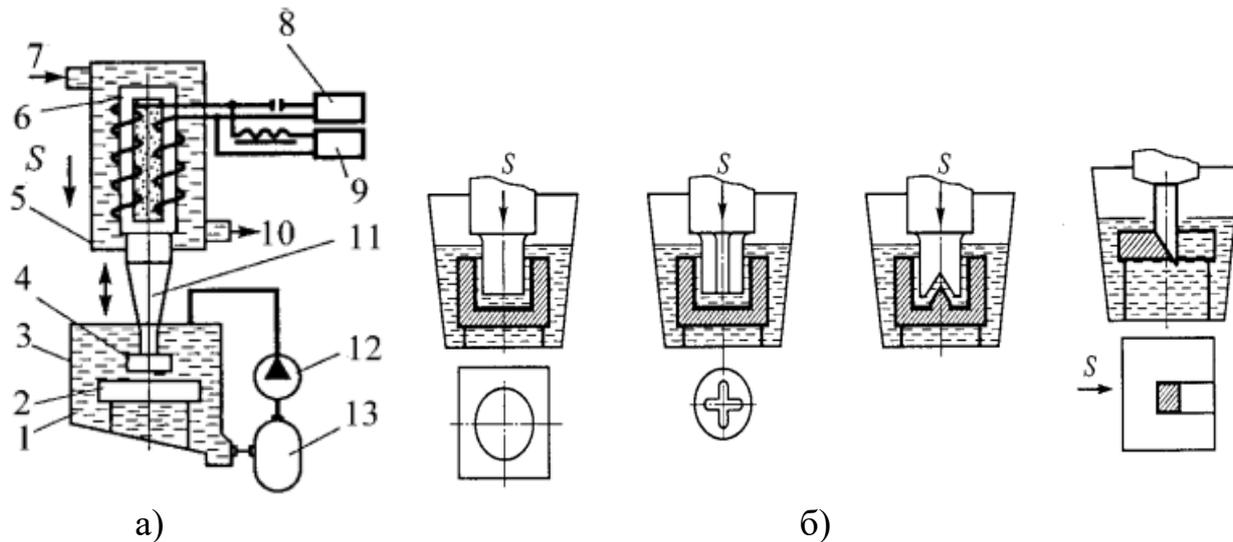


Рис. 8. Ультразвуковая обработка:

а) схема установки; б) примеры обработки

1 – суспензия; 2 – заготовка; 3 – ванна; 4 – пуансон; 5 – кожух; 6 – сердечник; 7 – подача охлаждающей жидкости; 8 – генератор; 9 – источник постоянного тока; 10 – слив охлаждающей жидкости; 11 – концентратор; 12 – насос; 13 – резервуар

Концентратор 11 увеличивает амплитуду колебаний до 40–60 мкм. Колебательные движения инструмента передаются абразивным зернам суспензии. В результате соударений об обрабатываемую поверхность абразивные зерна скалывают микрочастички материала заготовки. Большое число соударений (до 30

000 в секунду) и кавитация обуславливают интенсивное разрушение поверхностного слоя заготовки.

Ультразвуковая обработка применяется для обработки сквозных и глухих отверстий различного поперечного сечения, фасонных полостей, для разрезания заготовок и т. п. (рис. 8, б). При помощи УЗО обрабатывают хрупкие твердые материалы: стекло, керамику, твердые сплавы, кремний, кварц, алмазы, а также цементированные, азотированные и закаленные стали.

5. ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА

Лазерная обработка относится к светолучевым методам упрочнения или снятия поверхностных слоев заготовки и основана на воздействии светового луча высококонцентрированной энергии на поверхность заготовки.

Источником светового излучения является оптический квантовый генератор (ОКГ) – лазер, принципом работы которого является индуцированное генерирование светового излучения.

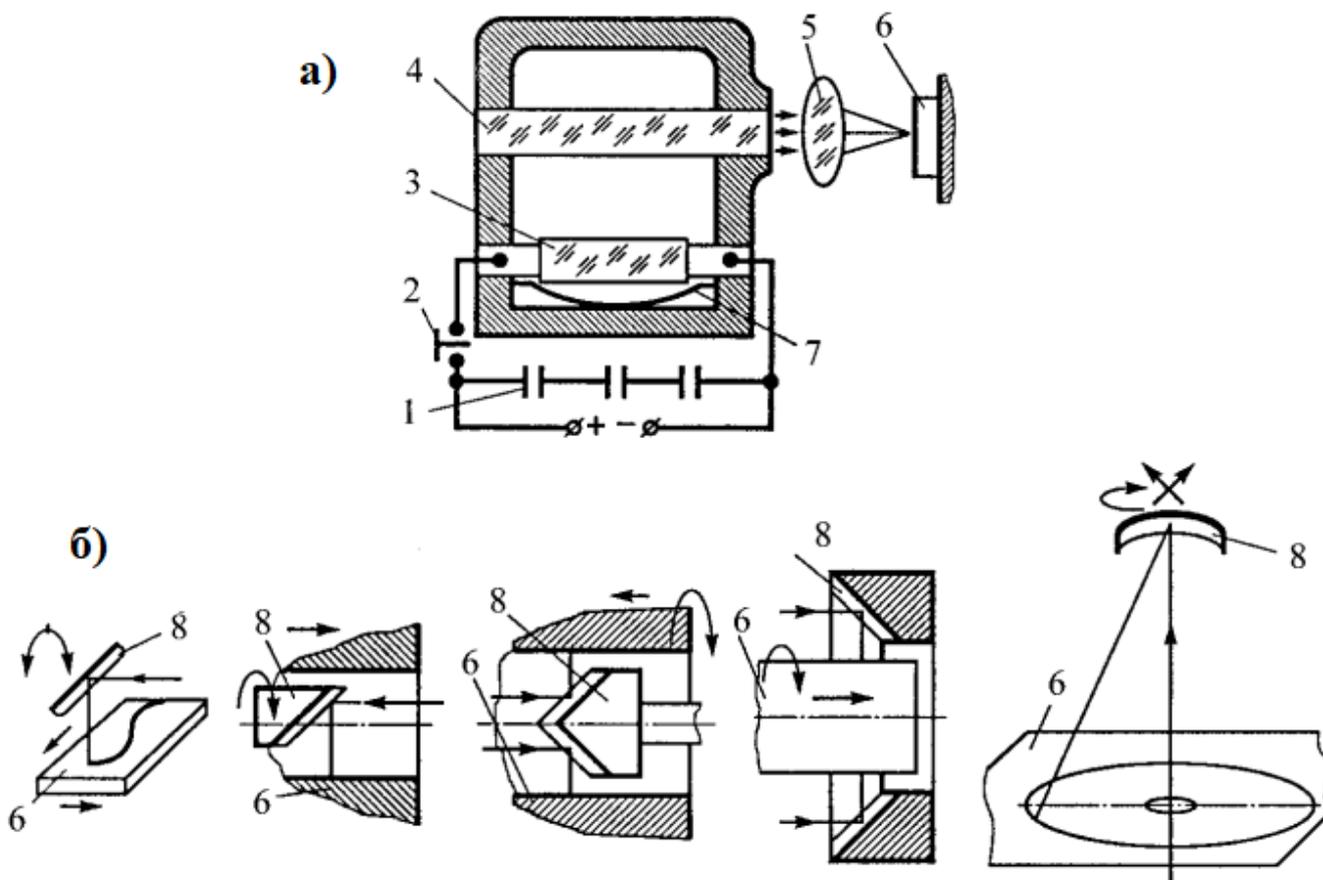


Рис. 9. Лазерная обработка:

а) схема рубинового лазера; б) схемы управления лучом; 1 – батарея конденсаторов; 2 – пускатель; 3 – ксеноновая импульсная лампа; 4 – рубиновый стержень; 5 – оптическая система; 6 – заготовка; 7 – отражатель; 8 – зеркало

Атомы вещества имеют определенный запас энергии и находятся в устойчивом энергетическом состоянии. Если атому дать дополнительную энергию («накачка», или возбуждение, атома), он выйдет из равновесного состояния. Атом стремится

вернуться в устойчивое энергетическое состояние, выделяя квант энергии. Накачку активного вещества осуществляют импульсной лампой. Возбужденный атом, получив дополнительный фотон, излучает два фотона, возвращаясь в устойчивое энергетическое состояние. В результате происходит цепная реакция генерации светового излучения.

Для механической и упрочняющей обработки используют твердотельные ОКГ, рабочим элементом которых является синтетический рубиновый стержень (оксид алюминия, активированный 0,05% хрома). Рубиновые лазеры (рис. 9, а) генерируют импульсы когерентного монохроматического красного света. Рубиновый стержень 4, торцы которого строго параллельны друг другу и перпендикулярны его оси, установлен в корпусе лазера. Левый торец покрыт непрозрачным слоем серебра, правый – полупрозрачным (коэффициент светопропускания 8%). Источником возбуждения атомов хрома является ксеноновая импульсная лампа 3, подключенная к батарее конденсаторов 1 и включаемая пускателем 2. При включении пускового устройства энергия конденсаторов преобразуется в световую энергию импульсной лампы, световой поток которой фокусируется на рубиновом стержне отражателем 7, в результате чего атомы хрома возбуждаются.

Излучаемый возбужденными атомами хрома лавинообразный поток фотонов длиной волны 0,69 мкм многократно отражается от зеркальных торцевых поверхностей рубинового стержня и, проходя через полупрозрачный правый торец, фокусируется оптической системой 5 на заготовке 6. Энергия единичного импульса невелика, но она выделяется за 10^{-6} с на площади 0,01 мм², поэтому в фокусе луча обеспечивается температура 6000–8000 °С. В месте попадания луча (на поверхности заготовки) металл моментально нагревается и испаряется.

Лазерную обработку применяют для прошивания сквозных и глухих отверстий, разрезания заготовок, фасонной резки листового металла, прорезания пазов, термической обработки поверхности заготовки (рис. 9, б).

Лазерная закалка применяется в тех случаях, когда закалка другими способами затруднительна.

Поверхностное упрочнение лазером характеризуется следующими особенностями:

- упрочнение локальных по глубине и площади участков;
- локальное упрочнение полостей, недоступных обычным методам закалки;
- отсутствие коробления заготовки;
- получение при необходимости заданной микрошероховатости обработанной поверхности;
- возможность легирования поверхностного слоя;
- простота автоматизации процесса.

Упрочнению подвергаются углеродистые, малоуглеродистые, легированные и высоколегированные стали: У8А; У10А; 45; ХВГ; 9ХС; Х12; ШХ15; Р18; Р6М5К5Ф3 и др.

Лазерная закалка основана на местном нагреве поверхности до температур, лежащих в зоне «фазовые превращения – плавление», и высокоскоростном охлаждении поверхности за счет отвода теплоты к сердцевине заготовки. В

результате образуется мелкозернистый мартенсит и остаточный аустенит. Глубина упрочнения – до 0,2 мм. Средняя производительность упрочнения: в атмосфере аргона – до 500 мм²/мин (закалка в атмосфере аргона предохраняет зону обработки от обезуглероживания); на воздухе – до 800 мм²/мин.

Глубина упрочненного слоя, мм:

$$Z = \sqrt{a\tau}$$

где a – коэффициент температуропроводности, мм²/с;

τ – длительность импульса лазерного воздействия, с.

Режимы лазерной закалки приведены в табл. 3.

Таблица 3. – Режимы лазерной закалки

Сталь	Диаметр пятна закалки, мм					Повышение твердости, %
	2	3	3,8	4	4,5	
	$E, \text{ Дж/см}^2 (Z, \text{ мкм})$					
У8	9 (108)	23 (117)	31 (126)	41 (132)	54 (136)	51
ХВГ	8 (103)	22 (114)	30 (121)	39 (127)	51 (131)	33
9ХС	8 (98)	21 (112)	29 (117)	37 (124)	49 (129)	44
Х12М	7,5 (91)	20 (103)	28 (112)	35 (115)	46 (119)	22
Р6М5	7 (82)	18 (91)	26 (103)	32 (107)	43 (113)	10

Примечание. E – плотность энергии лазерного излучения; Z – глубина упрочненного слоя.

В отечественном машиностроении для лазерной закалки наиболее часто используется установка «Квант-16». Схемы управления перемещением лазерного луча представлены на рис. 9,б. Ответственные детали, работающие в условиях повышенного давления с малой площадью контакта (клапаны, седла клапанов, распределители), изготавливаются из высокохромистых аустенитных сталей (1Х17Н2, Х18Н10Т) с наплавкой стеллита, которую ведут дуговым, кислородно-ацетиленовым или аргонодуговым методами. Структура стеллита представляет собой твердый раствор на основе кобальта на фоне эвтектики. Его химический состав: углерод – 1,6–2,3%; кремний – 1,5–2,5%; хром – 26–32%; кобальт – 59–65%; вольфрам – 4–5%; остальное – железо.

Различие в коэффициентах линейного расширения исключает обычные виды термообработки. Локальность нагрева поверхности заготовки лазером позволяет упрочнять стеллит. Упрочненная зона образуется последовательными пятнами фокусированного лазерного облучения с перекрытием 0,75 диаметра пятна шириной 0,6 мм.

Оптимальные режимы упрочнения стеллита:

- напряжение накачки – 980 В;
- удельная энергия импульса – 8 Дж/см² ;
- длительность импульса – 4 мс;
- количество импульсов в фокальном пятне – 1–8;

- фокусное расстояние оптической системы – 37 мм;
- диаметр зоны проплавления – 0,4–0,6 мм.

Лазерное упрочнение приводит к повышению твердости до 49–50 HRC, глубина упрочненного слоя составляет 0,12–0,16 мм.

6. ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА ИЗДЕЛИЙ

Плазменно-лучевая обработка

Плазменно-лучевая обработка (ПЛО) заключается в воздействии направленного потока ионизированных частиц газа, имеющих температуру до 20000 °С (плазмы), на обрабатываемую поверхность. Поток плазмы можно резать и сваривать различные сплавы, наплавлять на заготовку различные покрытия.

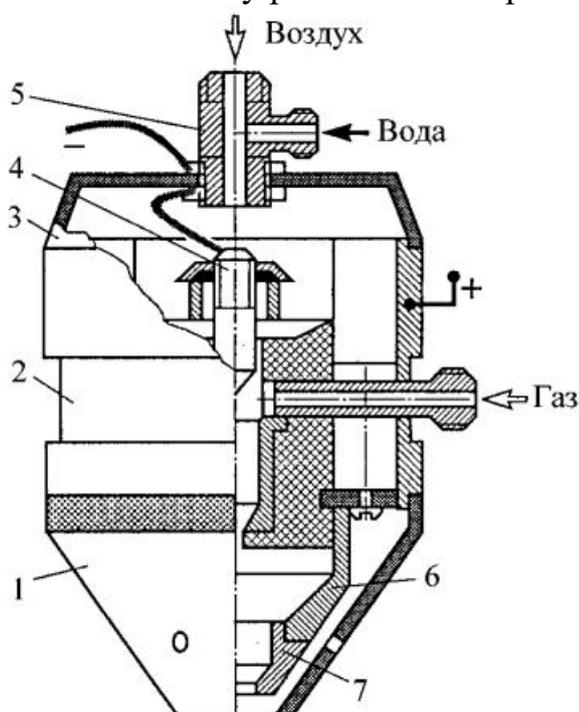


Рис. 10. Плазменная горелка с дросселирующим воздушно-водяным охлаждением:

- 1 – наконечник; 2 – корпус; 3 – крышка; 4 – цанга электрододержателя; 5 – дроссель; 6 – электродная камера; 7 – сопло

Плазменные горелки для резания питаются от стандартных сварочных источников тока. Сопло и электродную камеру выпускают двух типов: с дросселирующим воздушно-водяным охлаждением – для работы при силе тока 300–500 А и с комбинированным дросселирующим и водяным охлаждением – для работы при силе тока 700–800 А. Головки первого типа (рис. 10) имеют стеклотекстолитовый или фарфоровый корпус. Воздушно-водяная смесь дросселируется в камеру расширения, расположенную в верхней и нижней частях горелки, между крышкой 3 и наконечником 1. Обе части сообщаются через отверстие в корпусе 2. Ток от дросселя 5 подводится к цанге электрододержателя 4, верхний торец которого охлаждается переохлажденной воздушно-водяной смесью.

Защитный газ (аргон или диссоциированный аммиак) подается в герметичную электродную камеру 6, установленную на нижнем торце корпуса соосно электроду. Анод – сопла 7 ввинчивается в центральное отверстие электродной камеры. Головки второго типа выполняются с фарфоровым корпусом. Токопровод к аноду впаивается в дополнительный водоотводящий шланг, который одновременно служит активным сопротивлением в цепи вспомогательной дуги и ограничивает силу тока до 60–90 А.

Высокая температура и скорость плазменной струи обеспечивают получение тепловой энергии высокой концентрации, поэтому ПЛО имеет высокую производительность резания любых материалов при относительно высокой шероховатости обработанной поверхности. Для обработки заготовок применяются головки как с выделенной, так и с совпадающей дугой. Первые более удобны для металлорежущих станков, но эффективность их ниже.

Таблица 4. – Режимы плазменного разрезания

Обрабатываемый материал	Толщина листа, мм	Газ, %		Расход газа, л/мин	Электрический режим			Скорость резания, м/ч
		Ar	N или H		I, А	U, В	N, кВт	
Сталь	10	20	80	37	350	90	31	80
	50			200		140	49	15
	120			750		180	63	4
Медные сплавы	19	20	80	50	400	90	36	60
	40			300		110	52	10
	80			600		160	64	5
Алюминиевые сплавы	10	50	50	7	300	80	24	450
	50			86		130	39	35
	150			875		180	54	4

Плазменная лучевая обработка применяется как самостоятельная операция (резание заготовок, раскрой листового материала, прошивка отверстий) или выполняется совместно с точением, строганием, шлифованием (плазменно-механическая обработка).

Наиболее часто ПЛО применяется для разрезания листового материала.

Горелки с выделенной дугой используют для разрезания тонколистовых металлов и неэлектропроводных материалов. Горелки с совпадающей дугой применяют для разрезания толстолистовых металлов (листы из алюминиевых сплавов толщиной до 125 мм, стальные – до 100 мм). Скорость резания зависит от толщины листа (табл. 4).

Плазменно-механическая обработка

Плазменно-механическая обработка (ПМО) заключается в использовании плазменной дуги для создания очага высокой концентрации теплоты, локализованной в зоне резания непосредственно перед режущей кромкой.

Высокая эффективность ПМО достигается при строгом согласовании воздействий плазменной струи, осуществляемых последовательно с задержкой по времени в несколько долей секунды, и режущего инструмента на обрабатываемую поверхность.

Режимы дуги и резания подбирают таким образом, чтобы глубина зоны интенсивного нагрева 1 (рис. 11) соответствовала толщине срезаемого слоя, а температура материала, формирующего поверхностный слой заготовки, оставалась существенно ниже температуры начала структурных превращений. Плазменную горелку (плазмотрон) располагают таким образом, чтобы анодное пятно контакта 3 дуги постоянно находилось в заданной точке (центральная точка нагрева 2). Положение пятна контакта 3 определяют два параметра: расстояние L (величина запаздывания механического воздействия) и угол наклона плазмотрона ψ . Величина L определяется скоростью резания. Если скорость резания мала, а L велико, то к моменту подхода нагретого слоя к режущему клину слой успеет остыть.

Если скорость резания большая, а L мало, то срезаемый слой не успеет прогреться на заданную глубину.

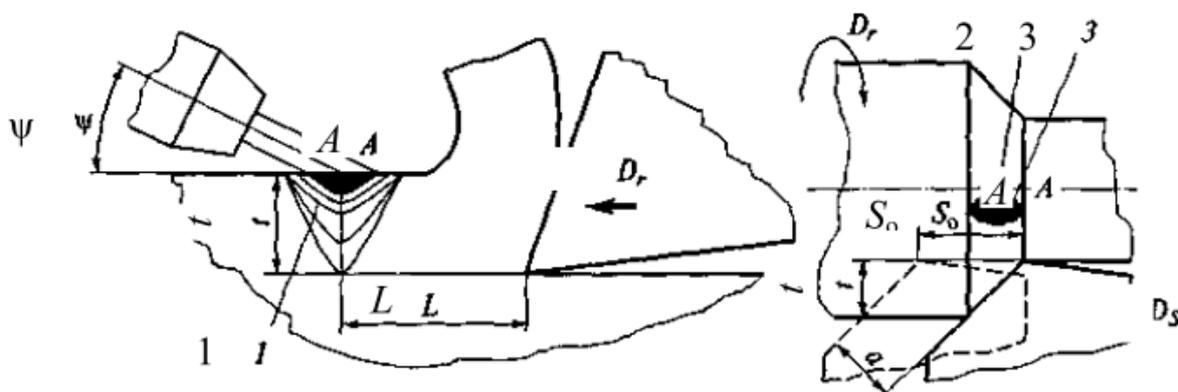


Рис. 11. Плазменно-механическая обработка:

1 – зона интенсивного нагрева; 2 – центральная точка нагрева; 3 – анодное пятно контакта; a – толщина срезаемого слоя; L – величина запаздывания механического воздействия; t – глубина резания; ψ – угол наклона плазмотрона

Одной из особенностей ПМО является образование лунки на обрабатываемой поверхности. Металл из лунки выдувается потоком плазмы, при этом увеличивается глубина и площадь прогрева материала заготовки, поэтому угол ψ должен быть как можно меньше. В то же время он должен быть таким, чтобы выдуваемый металл выбрасывался на обрабатываемую поверхность или на стружку, а не на обработанную поверхность или переднюю поверхность режущего инструмента.

При ПМО получается сливная стружка кинжальной формы, опасная для станочника. Поднимаясь вверх, стружка может замкнуть сопло плазмотрона, поэтому у режущего инструмента необходимо предусматривать стружколомные канавки.

Каждая установка ПМО должна быть обеспечена системой местной вентиляции, поскольку при обработке выделяются вредные для здоровья человека мельчайшие частицы оксидов металлов и других соединений.

Плазменно-механическая обработка применяется для резания труднообрабатываемых материалов: высокохромистых сталей, никелевых и

кобальтовых сплавов, жаропрочных и закаленных сталей. Типовые режимы ПМО для точения приведены в табл. 5.

Таблица 5. – Режимы ПМО при точении

Обрабатываемый материал	Операция	I , А	U , В	V , м/мин	S_0 , мм/об	Производительность, см ² /мин
Сталь коррозионно-стойкая	Черновая	300	90	1,5	4,0	73,2
	Чистовая	170	92	6,1	1,0	32,5
Сталь жаропрочная	Черновая	325	95	1,6	4,0	81,5
	Чистовая	240	90	3,2	2,0	32,5
Никелевые сплавы	Черновая	300	100	1,2	4,0	40,7
	Чистовая	170	90	2,3	1,2	24,4
Жаропрочные сплавы	Черновая	200	100	0,9	2,5	57
	Чистовая	140	130	1,8	1,2	24,4