

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

ОБОРУДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПРИЗВОДСТВА

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов специальности
6-05-0714-02 «Технология машиностроения,
металлорежущие станки и инструменты»
дневной формы обучения*



Могилев 2026

УДК 621.77.016
ББК 34.51/59
О38

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты»
«6» марта 2026 г., протокол № 10

Составитель канд. техн. наук, доц. В. А. Логвин

Рецензент канд. техн. наук, доц. М. А. Рабыко

Методические рекомендации к практическим занятиям предназначены для студентов специальности 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» дневной формы обучения.

Учебное издание

ОБОРУДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ответственный за выпуск	С. Н. Хатетовский
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2026

Содержание

1 Практическое занятие № 1. Изучение оборудования для заготовительных операций получения заготовок процессами сварки и наплавки металлов	4
2 Практическое занятие № 2. Порядок проведения анализа технологичности конструкции инструмента в зависимости от типа производства и имеющегося оборудования	10
3 Практическое занятие № 3. Порядок разработки маршрутной и операционной технологий изготовления инструмента с расчетом припусков, режимов резания и норм времени	14
4 Практическое занятие № 4. Изучение процесса ионно-плазменного упрочнения инструмента	26
Список литературы	30

1 Практическое занятие № 1. Изучение оборудования для заготовительных операций получения заготовок процессами сварки и наплавки металлов

Цель работы: ознакомиться с видами сварки, оборудованием для их реализации и возможностями для использования в заготовительном инструментальном производстве.

1.1 Классификация сварки металлов

ГОСТ 19521 устанавливает классификацию сварки металлов по основным физическим, техническим и технологическим признакам.

Физические признаки, в зависимости от формы энергии, используемой для образования сварного соединения, подразделяются на три класса.

1 Термический класс: виды сварки, осуществляемые плавлением с использованием тепловой энергии.

2 Термомеханический класс: виды сварки, осуществляемые с использованием тепловой энергии и давления.

3 Механический класс: виды сварки, осуществляемые с использованием механической энергии и давления.

К техническим признакам относятся способ защиты металла в зоне сварки, непрерывность сварки, степень механизации сварки.

Технологические признаки установлены ГОСТ 19521–74 для каждого способа сварки отдельно.

1.2 Термический класс

Сварочная дуга. Сварочной дугой называют длительный мощный электрический разряд в ионизированной среде. При этом начальная фаза среды может быть любой: твёрдой, например сварочный флюс; жидкой, например вода; газообразной, например аргон; плазменной.

Температура в столбе сварочной дуги колеблется от 5000 до 12000 К и зависит от состава газовой среды дуги.

Электродуговая сварка. Источником теплоты является электрическая дуга, возникающая между торцом электрода и свариваемым изделием при протекании сварочного тока в результате замыкания внешней цепи электросварочного аппарата. Сопротивление электрической дуги больше, чем сопротивление сварочного электрода и проводов, поэтому большая часть тепловой энергии электрического тока выделяется именно в плазму электрической дуги. Этот постоянный приток тепловой энергии поддерживает плазму (электрическую дугу) от распада.

Выделяющееся тепло (в том числе за счёт теплового излучения из плазмы) нагревает торец электрода и оплавляет свариваемые поверхности, что приводит к образованию сварочной ванны – объёма жидкого металла. В процессе осты-

вания и кристаллизации сварочной ванны образуется сварное соединение. Основными разновидностями электродуговой сварки являются ручная дуговая сварка, сварка неплавящимся электродом, сварка плавящимся электродом, сварка под флюсом, электрошлаковая сварка.

Сварка неплавящимся электродом. В качестве электрода используется стержень, изготовленный из графита или вольфрама, температура плавления которых выше температуры, до которой они нагреваются при сварке. Сварка чаще всего проводится в среде защитного газа (аргон, гелий, азот и их смеси) для защиты шва и электрода от влияния атмосферы, а также для устойчивого горения дуги. Сварку можно проводить как без, так и с присадочным материалом. В качестве присадочного материала используют металлические прутки, проволоку, полосы.

Полуавтоматическая сварка проволокой в защитных газах. В качестве электрода используется металлическая проволока (Св.0,8Г2С), к которой через специальное приспособление (токопроводящий наконечник) подводится ток. Электрическая дуга расплавляет проволоку, и для обеспечения постоянной длины дуги проволока подаётся автоматически механизмом подачи проволоки. Для защиты от атмосферы применяются защитные газы (аргон, гелий, углекислый газ и их смеси), подающиеся из сварочной горелки вместе с электродной проволокой. При отсутствии возможности проводить полуавтоматическую сварку в среде защитных газов также применяют самозащитную проволоку (порошковую). Следует заметить, что углекислый газ является активным газом, при высоких температурах происходит его диссоциация с выделением кислорода. Выделившийся кислород окисляет металл. В связи с этим приходится в сварочную проволоку вводить раскислители (такие как марганец и кремний). Другим следствием влияния кислорода, также связанным с окислением, является резкое снижение поверхностного натяжения, что приводит, среди прочего, к более интенсивному разбрызгиванию металла, чем при сварке в аргоне или гелии.

Ручная дуговая сварка. Для сварки используют электрод с нанесённым на его поверхность покрытием (обмазкой).

При плавлении обмазки образуется защитный слой, отделяющий зону сварки от атмосферных газов (азота, кислорода) и способствующий легированию шва, повышению стабильности горения дуги, удалению неметаллических включений из металла шва, формированию шва и т. д. Электросварка может производиться постоянным током обеих полярностей или переменным током; выбор зависит от типа электрода и свариваемых материалов.

Ручная и полуавтоматическая импульсная сварка алюминия является более сложным процессом, чем электродуговая сварка чёрных металлов. Причиной тому – уникальные свойства алюминиевых сплавов, за которые они и ценятся.

Сварка под флюсом. В англоязычной иностранной литературе именуется как SAW. В этом виде сварки конец электрода (в виде металлической проволоки или стержня) подаётся под слой флюса. Горение дуги происходит в газовом пузыре, находящемся между металлом и слоем флюса, благодаря чему улучша-

ется защита металла от вредного воздействия атмосферы и увеличивается глубина проплавления металла.

Газопламенная сварка. Источником теплоты является газовый факел, образующийся при сгорании смеси кислорода и горючего газа. В качестве горючего газа могут быть использованы ацетилен, МАФ, пропан, бутан, водород, керосин, бензин, бензол и их смеси. Тепло, выделяющееся при горении смеси кислорода и горючего газа, расплавляет свариваемые поверхности и присадочный материал с образованием сварочной ванны. Пламя может быть окислительным, «нейтральным» или восстановительным (науглероживающим). Это регулируется соотношением кислорода и горючего газа.

Плазменная сварка. Источником теплоты является плазменная струя, получаемая при ионизации рабочего газа в промежутке между электродами. Одним из электродов может быть само свариваемое изделие либо оба электрода могут находиться в плазменной горелке – *плазмотроне*. Струя плазмы сжимается и ускоряется под действием электромагнитных сил, оказывая на свариваемое изделие как тепловое, так и газодинамическое воздействие. Помимо собственно сварки, этот способ часто используется для технологических операций наплавки, напыления и резки. Процесс плазменной резки основан на использовании воздушно-плазменной дуги постоянного тока прямого действия (электрод – катод, разрезаемый металл – анод). Сущность процесса заключается в местном плавлении и выдувании расплавленного металла с образованием полости реза при перемещении резака относительно разрезаемого металла.

Электронно-лучевая сварка. Источником теплоты является электронный луч, получаемый за счёт термоэлектронной эмиссии с катода электронной пушки. Сварка ведётся в высоком вакууме ($10^{-3} \dots 10^{-4}$ Па) в вакуумных камерах. Известна также технология сварки электронным лучом в атмосфере нормального давления, когда электронный луч покидает область вакуума непосредственно перед свариваемыми деталями.

Сварка электронным лучом имеет значительные преимущества.

1 Высокая концентрация ввода теплоты в изделие, которая выделяется не только на поверхности изделия, но и на некоторой глубине в объёме основного металла. Фокусировкой электронного луча можно получить пятно нагрева диаметром $0,0002 \dots 5$ мм, что позволяет за один проход сваривать металлы толщиной от десятых долей миллиметра до 200 мм. В результате можно получить швы, в которых соотношение глубины провара к ширине до 20:1 и более. Появляется возможность сварки тугоплавких металлов (вольфрама, тантала и др.), керамики и т. д. Уменьшение протяженности зоны термического влияния снижает вероятность рекристаллизации основного металла в этой зоне.

2 Малое количество вводимой теплоты. Как правило, для получения равной глубины проплавления при электронно-лучевой сварке требуется вводить теплоты в 4–5 раз меньше, чем при дуговой. В результате резко снижается деформация изделия.

3 Отсутствие насыщения расплавленного и нагретого металла газами. Наоборот, в целом ряде случаев наблюдается дегазация металла шва и повышение его пластических свойств. В результате достигается высокое качество свар-

ных соединений на химически активных металлах и сплавах, таких как ниобий, цирконий, титан, молибден и др. Хорошее качество электронно-лучевой сварки достигается также на низкоуглеродистых, коррозионно-стойких сталях, меди и медных, никелевых, алюминиевых сплавах.

Недостатки электронно-лучевой сварки.

1 Возможность образования несплавлений и полостей в корне шва на металлах с большой теплопроводностью и швах с большим отношением глубины к ширине.

2 Для создания вакуума в рабочей камере после загрузки изделий требуется длительное время.

Лазерная сварка. Источником теплоты служит лазерный луч. Применяют лазерные установки всех видов. Высокая концентрация энергии, большая скорость лазерной сварки по сравнению с дуговыми способами, незначительное тепловое воздействие на околошовную зону вследствие высоких скоростей нагрева и охлаждения металла существенно повышают сопротивляемость большинства конструкционных материалов образованию горячих и холодных трещин. Это обеспечивает высокое качество сварных соединений из материалов, плохо свариваемых другими способами сварки.

Лазерную сварку производят на воздухе или в среде защитных газов: аргона, CO₂. Вакуум, как при электронно-лучевой сварке, не нужен, поэтому лазерным лучом можно сваривать крупногабаритные конструкции. Лазерный луч легко управляется и регулируется, с помощью зеркальных оптических систем легко транспортируется и направляется в труднодоступные для других способов места. В отличие от электронного луча и электрической дуги, на него не влияют магнитные поля, что обеспечивает стабильное формирование шва. Из-за высокой концентрации энергии (в пятне диаметром 0,1 мм и менее) в процессе лазерной сварки объём сварочной ванны небольшой, малая ширина зоны термического влияния, высокие скорости нагрева и охлаждения. Это обеспечивает высокую технологическую прочность сварных соединений, небольшие деформации сварных конструкций.

1.3 Термомеханический класс

Контактная сварка. При сварке происходят два последовательных процесса: нагрев свариваемых изделий до пластического состояния и их совместное пластическое деформирование.

Точечная сварка. При точечной сварке детали зажимаются в электродах сварочной машины или специальных сварочных клещах. После этого между электродами начинает протекать большой ток, который разогревает металл деталей в месте их контакта до температур плавления. Затем ток отключается и осуществляется «проковка» за счёт увеличения силы сжатия электродов. Металл кристаллизуется при сжатых электродах и образуется сварное соединение.

Стыковая сварка. Заготовки сваривают по всей плоскости их касания. В зависимости от марки металла, площади сечения заготовок и требований к качеству соединения стыковую сварку можно выполнять одним из способов.

Стыковая сварка сопротивлением. Заготовки, установленные и закреплённые в стыковой машине, прижимают одну к другой усилием определённой величины, после чего по ним пропускают электрический ток. При нагревании металла в зоне сварки до пластического состояния происходит осадка. Ток включают до окончания осадки. Данный способ сварки требует механической обработки и тщательной зачистки поверхностей торцов заготовок.

Неравномерность нагрева и окисление металла на торцах заготовок понижают качество сварки сопротивлением, что ограничивает область её применения. С увеличением сечения заготовок качество сварки снижается особенно заметно, главным образом из-за образования окислов в стыке.

Стыковая сварка непрерывным оплавлением. Состоит из двух стадий: оплавления и осадки. Заготовки устанавливают в зажимах машины, затем включают ток и медленно сближают их. При этом торцы заготовок касаются в одной или нескольких точках. В местах касания образуются перемычки, которые мгновенно испаряются и взрываются. Взрывы сопровождаются характерным выбросом из стыка мелких капель расплавленного металла. Образующиеся пары металла играют роль защитной атмосферы и уменьшают окисление расплавленного металла. При дальнейшем сближении заготовок образование и взрыв перемычек происходят на других участках торцов. В результате заготовки прогреваются в глубину, а на торцах возникает тонкий слой расплавленного металла, облегчающий удаление окислов из стыка. В процессе оплавления заготовки укорачиваются на заданный припуск. Оплавление должно быть устойчивым (непрерывное протекание тока при отсутствии короткого замыкания заготовок), особенно перед осадкой.

При осадке скорость сближения заготовок резко увеличивают, осуществляя при этом пластическую деформацию на заданный припуск. Переход от оплавления к осадке должен быть мгновенным, без малейшего перерыва. Осадку начинают при включённом токе и завершают при выключенном.

Стыковая сварка непрерывным оплавлением обеспечивает равномерный прогрев заготовок по сечению, торцы заготовок перед сваркой не требуют тщательной подготовки, можно сваривать заготовки с сечением сложной формы и большой площадью, а также разнородные металлы и позволяет получать стабильное качество стыков. Её существенным преимуществом является также возможность сравнительно легко автоматизировать процесс.

Стыковую сварку оплавлением применяют для соединения заготовок сечением до 0,1 м². Типичными изделиями являются элементы трубчатых конструкций, колеса, рельсы, железобетонная арматура, листы, трубы.

Сварка трением. Существует несколько схем сварки трением. Первой появилась соосная. Суть процесса состоит в следующем: на специальном оборудовании (машине сварки трением) одна из свариваемых деталей устанавливается во вращающийся патрон, вторая крепится в неподвижный суппорт, который имеет возможность перемещения вдоль оси. Деталь, установленная в патрон, начинает вращаться, а деталь, установленная в суппорте, приближается к первой и достаточно большим давлением воздействует на неё. В результате трения одного торца о другой происходит износ поверхностей и слои металла разных

деталей приближаются друг к другу на расстояния, соразмерные размеру атомов. Начинают действовать атомные связи (образуются и разрушаются общие атомные облака). В результате возникает тепловая энергия, которая нагревает в локальной зоне концы заготовок до температурыковки. По достижении необходимых параметров патрон резко останавливается, а суппорт продолжает давать ещё какое-то время. В результате образуется неразъёмное соединение. Сварка происходит в твёрдой фазе, аналогично кузнечной ковке.

Способ достаточно экономичный. Автоматизированные установки для сварки трением потребляют электроэнергию в 9 раз меньше, чем установки для контактной сварки. Соединяются детали за считанные секунды, при этом практически нет газовых выделений. При прочих преимуществах получается высокое качество сварки, т. к. не возникает пористости, включений, раковин. При постоянстве режимов, обеспечиваемых автоматикой оборудования, обеспечивается постоянство качества сварного соединения, что, в свою очередь, позволяет исключить дорогостоящий 100-процентный контроль при обеспечении качества. К недостаткам следует отнести:

- сложность необходимого оборудования;
- узкий спектр применения метода (свариваются тела вращения в стык);
- невозможность применения в непроизводственных условиях;
- диаметры свариваемых деталей от 4 до 250 мм.

Способ позволяет сваривать разнородные материалы: медь и алюминий, медь и сталь, алюминий и сталь, в том числе те, что невозможно сварить другими способами.

Задания

Задания для индивидуального выполнения выдаются преподавателем.

Контрольные вопросы

- 1 Классы сварки.
- 2 Полуавтоматическая сварка проволокой в защитных газах.
- 3 Ручная дуговая сварка.
- 4 Сварка под флюсом.
- 5 Газопламенная сварка.
- 6 Плазменная сварка.
- 7 Электронно-лучевая сварка.
- 8 Лазерная сварка.
- 9 Стыковая сварка непрерывным оплавлением.
- 10 Сварка трением.

2 Практическое занятие № 2. Порядок проведения анализа технологичности конструкции инструмента в зависимости от типа производства и имеющегося оборудования

Цель работы: ознакомиться с порядком проведения анализа технологичности конструкции инструмента в зависимости от типа производства и имеющегося оборудования.

2.1 Назначение и конструкция инструмента

Анализ назначения и конструктивной особенности инструмента начинается с определения класса деталей, к которому можно отнести заданную деталь (класс валов, полых цилиндров, зубчатых колес, корпусов, рычагов, вилок и т. п.).

Далее приводится описание работы и назначение узла в станке и детали в узле этого станка. При этом указываются основные и вспомогательные конструкторские базы, исполнительные поверхности. Здесь же анализируются допуски на размеры, форму и взаимное расположение поверхностей детали, указывается, почему к этим поверхностям предъявляются такие требования. При необходимости такой анализ сопровождается эскизами.

В этой же работе описывается вид термической обработки детали и цель ее проведения.

Заканчивается раздел таблицами химического состава и механических свойств материала детали.

2.2 Анализ технологичности конструкции инструмента

Анализ технологичности является одним из важных этапов в разработке технологического процесса, от которого зависят его основные технико-экономические показатели: металлоемкость, трудоемкость, себестоимость.

Анализ технологичности проводится, как правило, в два этапа: качественный анализ и количественный анализ.

Так, инструменты, имеющие ось вращения, признаются технологичными, если они отвечают следующим требованиям:

- возможность максимального приближения формы и размеров заготовки к размерам и форме инструмента;
- возможность вести обработку проходными резцами;
- уменьшение диаметров поверхностей от середины к торцам или от одного торца к другому;
- возможность замены закрытых шпоночных пазов открытыми;
- жесткость заготовки обеспечивает достижение необходимой точности при обработке.

Зубчатые долбяки признаются технологичными, если они имеют:

- центральное отверстие простой формы;

- простую конфигурацию наружного контура (наиболее технологичными являются долбяки простой формы без выступающих ступиц);
- ступицы с одной стороны, что позволяет вести обработку на зубофрезерных станках по две заготовки;
- симметрично расположенную перемычку между венцом и ступицей, что уменьшает коробление при термообработке;
- возможность штамповки фигурной перемычки между венцом и ступицей.

Для всех классов инструментов признаются нетехнологичными следующие элементы:

- глубокие отверстия ($l : d > 5$);
- отверстия, расположенные под углом к оси, плоскости и т. п.;
- глухие отверстия с резьбой;
- закрытые с одной или двух сторон пазы.

Не являются нетехнологичными требования к точности размеров и формы поверхностей и шероховатости, т. к. они следуют из служебного назначения инструмента и не определяют ее конструкцию.

Количественная оценка технологичности выполняется согласно ГОСТ 14.201–73.

2.3 Определение типа производства

Тип производства, в соответствии с ГОСТ 3.1108–74, характеризуется коэффициентом закрепления операций, который показывает число различных операций, закрепленных в среднем по цеху (участку) за каждым рабочим местом в течение месяца.

Студенты машиностроительного факультета могут выполнять практические работы по материалам второй конструкторско-технологической практики, имея базовый вариант технологического процесса. Поэтому для предварительного расчета коэффициента закрепления операций могут быть использованы нормы времени $t_{ум}$ или $t_{ум.к.}$, взятые из базового техпроцесса.

Для расчета коэффициента закрепления операций составляется таблица 2.1. В графу 1 записываются все операции базового техпроцесса, в графу 2 – нормы времени $t_{ум}$ или $t_{ум.к.}$.

Определяется расчетное количество станков m_p для каждой операции:

$$m_p = \frac{N \cdot t_{ум(ум.к.)}}{60 F_d \cdot \eta_{з.н}}, \quad (2.1)$$

где N – годовой объем выпуска деталей, шт.;

$t_{ум(ум.к.)}$ – штучное или штучно-калькуляционное время, мин;

F_d – действительный годовой фонд времени, ч;

$\eta_{з.н}$ – нормативный коэффициент загрузки оборудования.

Таблица 2.1 – Расчет коэффициента закрепления операций

Операция	$t_{\text{шт.к}}$, мин	m_p	P	$\eta_{з.ф}$	O
1	2	3	4	5	6
05 Токарная	4,2	0,084	1	0,084	9,20
10 Протяжная	1,2	0,024	1	0,024	33,3
15 Зубофрезерная	8,6	0,178	1	0,178	4,49
20 Зубошевинговальная	3,4	0,070	1	0,070	11,43
25 Внутришлифовальная	4,1	0,085	1	0,085	9,41
30 Плоскошлифовальная	3,6	0,074	1	0,074	10,81
			$\sum P = 6$		$\sum O = 78,64$

Принятое число рабочих мест P (графа 4) устанавливают округлением значений m_p (графа 3) до ближайшего большего целого числа.

Далее для каждой операции значение фактического коэффициента загрузки вычисляют как

$$\eta_{з.ф} = \frac{m_p}{P} . \quad (2.2)$$

Количество операций (графа 6), выполняемых на рабочем месте, определяется по формуле

$$O = \frac{\eta_{з.н}}{\eta_{з.ф}} . \quad (2.3)$$

Коэффициент закрепления операций рассчитывается по формуле

$$K_{з.о} = \frac{\sum O}{\sum P} . \quad (2.4)$$

По ГОСТ 3.1121–84 приняты следующие значения коэффициента закрепления операций $K_{з.о}$:

- массовое производство $K_{з.о} = 1$;
- крупносерийное производство $K_{з.о} = 2 \dots 10$;
- среднесерийное производство $K_{з.о} = 10 \dots 20$;
- мелкосерийное производство $K_{з.о} = 20 \dots 40$;
- единичное производство $K_{з.о} > 40$.

В качестве примера рассмотрим техпроцесс (см. таблицу 2.1). Точно рассчитываем только токарную операцию.

Исходные данные: $N = 4000$ деталей; $F_d = 4016$ ч; $\eta_{з.н} = 0,8$; $t_{\text{шт.к}} = 4,2$ мин.

Расчетное количество станков определяем по формуле (2.1):

$$m_p = \frac{4000 \cdot 4,2}{60 \cdot 4016 \cdot 0,8} = 0,087.$$

Принятое число рабочих мест $P = 1$.

Коэффициент загрузки станка рассчитываем по формуле (2.2):

$$\eta_{з.ф} = \frac{0,087}{1} = 0,087.$$

Количество операций, выполняемых на рабочем месте, определяем по формуле (2.3):

$$O = \frac{0,8}{0,087} = 9,2.$$

Коэффициент закрепления операций рассчитываем согласно формуле (2.4):

$$K_{з.о} = \frac{78,64}{6} = 13,1.$$

Следовательно, производство будет среднесерийным.

Для серийного производства рассчитывается размер по формуле

$$n = \frac{N \cdot a}{\Phi}, \quad (2.5)$$

где a – количество дней запаса на складе;

Φ – количество рабочих дней в году.

Рекомендуется принимать $a = 2...3$ дня для крупных инструментов; $a = 3...5$ дней для средних инструментов; $a = 5...10$ дней для мелких инструментов.

Для массового и крупносерийного производства рассчитывается такт выпуска по формуле

$$t_s = \frac{60F_d}{N}, \quad (2.6)$$

где F_d – годовой фонд времени работы оборудования, ч.

При отсутствии базового техпроцесса тип производства предварительно может быть определен по годовому выпуску и массе деталей с помощью таблиц 2.2 и 2.3.

При этом после расчета норм времени по всем операциям выполняется раздел «Уточнение типа производства» на основе расчета коэффициента закрепления операций по вышеприведенной методике.

Далее после разработки собственного техпроцесса на заданный инструмент необходимо уточнить тип производства по расчету коэффициента закреп-

ления операций.

Таблица 2.3 – Выбор типа производства по годовому выпуску и массе деталей

Тип производства	Годовой объем выпуска инструментов, шт.		
	крупных, 50 кг и более	средних, 8...50 кг	мелких, до 8 кг
Единичное	До 5	До 10	До 100
Среднее	5...1000	10...5000	100...50000
Массовое	Св. 1000	Св. 5000	Св. 50000

Таблица 2.3 – Выбор серийности производства

Серийность производства	Количество инструментов в партии (серии), шт.		
	крупных, 50 кг и более	средних, 8...50 кг	мелких, до 5 кг
Мелкосерийное	5...10	5 ...25	10...50
Среднесерийное	11...50	26...200	51...500
Крупносерийное	Св. 50	Св. 200	Св. 500

Задания

Задания для индивидуального выполнения выдаются преподавателем.

Контрольные вопросы

- 1 Как влияет тип производства на технологичность конструкции?
- 2 Что такое технологичность конструкции?
- 3 Чем отличаются количественный и качественный анализы технологичности конструкции?

3 Практическое занятие № 3. Порядок разработки маршрутной и операционной технологий изготовления инструмента с расчетом припусков, режимов резания и норм времени

Цель работы: ознакомиться с порядком проведения проектирования маршрутной и операционной технологий изготовления инструмента с расчетом припусков, режимов резания, норм времени и заполнением соответствующей технологической документации.

3.1 Анализ базового техпроцесса

Студенты, не имеющие базового техпроцесса, данную часть работы не выполняют.

Разработка нового техпроцесса изготовления инструмента начинается с анализа существующего техпроцесса.

При анализе существующего техпроцесса рекомендуется:

- определить соответствие способа получения заготовки установленному типу производства;
- рассмотреть выбор черновых, чистовых и промежуточных баз на операциях технологического процесса, выявить соблюдение принципов постоянства и совмещения баз;
- установить, соответствует ли последовательность и количество операций (переходов) техпроцесса обеспечению заданной точности поверхностей детали, имеющих минимальные значения допусков на размер, форму и их взаимное расположение;
- установить соответствие параметров принятого оборудования размерам обрабатываемого инструмента, точности обработки, производительности;
- рассмотреть степень концентрации операций (переходов) технологического процесса;
- определить степень применимости высокопроизводительного режущего инструмента и новых марок материалов его режущей части;
- определить степень оснащенности техпроцесса механизированными приспособлениями.

Для выполнения этого раздела приводится маршрутный базовый техпроцесс с кратким содержанием операций.

По результатам анализа излагаются предложения по совершенствованию техпроцесса и разрабатывается новый техпроцесс.

3.2 Выбор заготовки

При выборе способа получения заготовки решающими факторами являются форма инструмента, масса, материал, объем выпуска. Окончательное решение о выборе способа принимается на основе технико-экономических расчетов.

При выполнении экономических расчетов в данном разделе стоимость материалов, оборудования и тарифные ставки рабочих принимаются такими, какими они установлены на предприятиях, где студенты проходили вторую конструкторско-технологическую практику.

Для выбора способа получения заготовки сравнивается стоимость заготовки по базовому S_1 и проектируемому S_2 вариантам.

Стоимость заготовки по базовому варианту может быть взята из отчета по практике.

При отсутствии сведений о способе получения заготовки по базовому варианту стоимость заготовки рассматривается по двум возможным способам ее получения и осуществляется их сравнение.

Стоимость заготовок из проката рассчитывается по формуле

$$S_2 = M + \Sigma C_{o.3} , \quad (3.1)$$

где M – затраты на материалы заготовки, р.;

$\Sigma C_{o.3}$ – технологическая себестоимость правки, калибрования, разрезки, р.

Расчеты затрат на материалы и затрат технологической себестоимости вы-

полняются по следующим формулам:

$$M = Q \cdot S - (Q - q)S_{отх}, \quad (3.2)$$

где Q – масса заготовки (рассчитывается через объем и плотность материала заготовки), кг;

S – цена 1 кг материала заготовки, р.;

q – масса детали, кг;

$S_{отх}$ – цена 1 кг отходов, р.

В отходы включается не только разность между массой заготовки и детали (стружка), но и остаток прутка, образующийся из-за некратности длины заготовки длине прутка. Сталь горячекатаная круглая по ГОСТ 2590–71 поставляется в прутках длиной 2...6 м.

$$\Sigma C_{o.з} = \frac{C_{н.з} \cdot t_{ум(ум.к)}}{60}, \quad (3.3)$$

где $C_{н.з}$ – приведенные затраты на рабочем месте, р./ч;

$t_{ум(ум.к)}$ – штучное или штучно-калькуляционное время выполнения заготовительной операции, мин.

Штучное или штучно-калькуляционное время $t_{ум(ум.к)}$ рассчитывается по формуле

$$t_{ум(ум.к)} = \frac{L_{рез} + y}{S_m} \cdot \phi, \quad (3.4)$$

где $L_{рез}$ – длина резания при резании проката на штучные заготовки (может быть принята равной диаметру проката, т. е. $L_{рез} = D$), мм;

y – величина врезания и перебега (при резании дисковой пилой $y = 6...8$ мм);

S_m – минутная подача при разрезании, $S_m = 50...80$ мм/мин;

ϕ – коэффициент, выделяющий долю вспомогательного времени в штучном ($\phi = 1,84$ для мелко- и среднесерийного производства; $\phi = 1,5$ для крупносерийного и массового производства).

Расчет стоимости заготовок, полученных литьем или штамповкой, выполняется по формуле

$$S_2 = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_{II} \right) - (Q - q)S_{отх}, \quad (3.5)$$

где C_i – базовая стоимость 1 т заготовок, р.;

Q – масса заготовки;

q – масса детали;

K_T – коэффициент, зависящий от класса точности;

K_C – коэффициент, зависящий от степени сложности;

K_B – коэффициент, зависящий от массы заготовки;

K_M – коэффициент, зависящий от марки материала;

K_{II} – коэффициент, зависящий от объема выпуска заготовок.

Перед расчетом стоимости заготовки по формуле (3.5) вычерчивается ее эскиз, назначаются припуски, устанавливаются размеры, по которым рассчитываются объем и масса заготовки Q .

Для штампованных заготовок по ГОСТ 7505–89 устанавливаются:

- группа материала – М;
- класс точности – Т;
- степень сложности – С;
- исходный индекс.

По исходному индексу в том же стандарте определяются припуски на обрабатываемые поверхности и отклонения размеров заготовки.

Параметры литых заготовок определяются по ГОСТ 26645–85.

Раздел заканчивается расчетом экономического эффекта:

$$\mathcal{E}_{\text{заг}} = (S_1 - S_2) N, \quad (3.6)$$

где S_1, S_2 – стоимость заготовки по базовому и проектируемому вариантам соответственно;

N – годовой объем выпуска деталей.

3.3 Принятый маршрутный техпроцесс

На основе анализа базового техпроцесса составляется новый маршрутный техпроцесс изготовления детали. При этом осуществляется обоснование выбора черновых и чистовых технологических баз, особое внимание обращается на обеспечение принципов постоянства и совмещения баз. Если принципы постоянства и совмещения баз не выдерживаются, то следует дать обоснование необходимости смены баз.

Здесь же приводится обоснование выбора (замены) конкретных моделей станков, станочных приспособлений, режущих и мерительных инструментов.

Принятый маршрутный процесс оформляется в виде таблицы 3.4. Таблицу целесообразно расположить на отдельной странице (нескольких страницах) вдоль длинной стороны листа.

Для обработки самой точной поверхности детали рассчитывается необходимое (достаточное) количество операций (переходов) по коэффициенту уточнения.

Необходимое общее уточнение рассчитывается по формуле

$$\varepsilon_0 = \frac{T_{\text{заг}}}{T_{\text{дет}}}, \quad (3.7)$$

где $T_{\text{заг}}$ – допуск на изготовление заготовки (принимается по чертежу заготовки), мм;

$T_{дет}$ – допуск на изготовление детали (принимается по чертежу детали), мм.

Таблица 3.4 – Маршрутный техпроцесс изготовления вала

Номер операции	Наименование и краткое содержание операции	Модель станка	Режущий инструмент, размеры, марка инструментального материала	Технологическая база
05	Фрезерно-центровальная 1 Фрезерование торцов 2 Сверление центровых отверстий	МР-77	Фреза торцовая Ø 125; Т5К10 Сверло центровочное Ø 4; Р6М5	Поверхности заготовки Ø 40, Ø 60, торец
10	Токарная с ЧПУ 1 Черновое точение поверхностей Ø 37, Ø 42, Ø 50 2 Чистовое точение поверхностей Ø 35, Ø 40 3 Точение фасок 4 Точение канавки	16К20ФЗ	Резец проходной 16 × 25, Т5К10 Резец канавочный Т5К10	Центровые отверстия
15	Вертикально-фрезерная 1 Фрезерование шпоночного паза ($\phi = 12N9, l = 30$)	6М12П	Фреза шпоночная Ø 12; Р6М5	Цилиндрические поверхности Ø 35, Ø 50, торец
20	Термическая			
45	Контрольная	Стол ОТК		

Иными словами, уточнение определяется как произведение уточнений, полученных при обработке поверхности на всех операциях (переходах) принятого техпроцесса:

$$\varepsilon_{np} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \dots \cdot \varepsilon_n = \prod_{i=1}^n \varepsilon_i, \quad (3.8)$$

где ε_i – величина уточнения, полученного на i -й операции (переходе);

n – количество принятых в техпроцессе операций (переходов) для обработки поверхности.

Промежуточное значение рассчитывается по формулам

$$\varepsilon_1 = \frac{T_{заг}}{T_1}; \quad \varepsilon_2 = \frac{T_1}{T_2}; \quad \varepsilon_3 = \frac{T_2}{T_3}; \quad \varepsilon_n = \frac{T_{n-1}}{T_n}, \quad (3.9)$$

где $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ – допуски размеров, полученные при обработке детали на первой, второй и т. д. операциях.

Точность обработки поверхности по принятому маршруту будет обеспече-

на, если соблюдается условие

$$\varepsilon_0 \leq \varepsilon_{np}.$$

Значения допусков $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ принимаются по таблицам 3.4 и 3.5.

Пример – Обработка поверхности.

Исходные данные: размер детали $\varnothing 55 \text{ к}4 \begin{smallmatrix} +0,021 \\ +0,002 \end{smallmatrix}$; размер заготовки $\varnothing 60 \text{ к}6 \begin{smallmatrix} +1,8 \\ -1,0 \end{smallmatrix}$.

Решение

Допуск заготовки $T_{заг} = 2,8 \text{ мм}$, допуск детали $T_{дет} = 0,019 \text{ мм}$.

Необходимое общее уточнение рассчитываем по формуле (3.7):

$$\varepsilon_0 = \frac{2,8}{0,019} = 147,368.$$

Для обработки поверхности $\varnothing 55 \text{ к}6$ принимаем следующий маршрут:

- черновое точение;
- чистовое точение;
- шлифование предварительное;
- шлифование тонкое.

Выписываем допуски на межоперационные размеры (см. таблицу 3.3): $T_1 = 0,46 \text{ мм}$ (кавалитет точности IT13); $T_2 = 0,074 \text{ мм}$ (кавалитет точности IT9); $T_3 = 0,046 \text{ мм}$ (кавалитет точности IT8). Тонкое шлифование, согласно той же таблице, может обеспечивать точность по пятому квалитету (IT5), по чертежу детали требуется только шестой квалитет. Принимаем $T_4 = 0,013 \text{ мм}$ (IT5).

Рассчитываем промежуточное значение уточнений по формуле (3.9):

$$\varepsilon_2 = \frac{0,46}{0,074} = 6,22; \quad \varepsilon_3 = \frac{0,074}{0,046} = 1,61; \quad \varepsilon_4 = \frac{0,046}{0,013} = 3,54.$$

Определяем общее уточнение для принятого маршрута обработки по формуле (3.8):

$$\varepsilon_{np} = 6,09 \cdot 6,22 \cdot 1,61 \cdot 3,54 = 215,89.$$

Полученное значение ε_{np} показывает, что при принятом маршруте точность обработки поверхности $\varnothing 55 \text{ к}6$ обеспечивается, т. к. $\varepsilon_0 < \varepsilon_{np}$, т. е. $147,38 < 215,89,18$.

3.4 Расчет припусков на обработку

Подробный расчет припусков выполняется на две (наружную и внутреннюю) самые точные поверхности, по возможности разнохарактерные. Такие поверхности определяются преподавателем.

Исходными данными, которые записываются перед началом расчета,

являются:

- метод получения заготовки;
- размер поверхности по чертежу детали;
- маршрут обработки поверхности.

При расчете для каждой поверхности приводятся расчетная таблица и схема графического расположения припусков и допусков. Все расчеты заканчиваются проверкой правильности их выполнения.

На все остальные обрабатываемые поверхности припуски назначаются: для поковок – по ГОСТ 7505–89, для отливок – по ГОСТ 26645–85.

Значения всех припусков сводятся в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – Припуски и предельные отклонения на обрабатываемые поверхности

Размер детали	Припуск, мм		Предельное отклонение, мм
	табличный	расчетный	
Ø 55 к6	–	$2 \cdot 2,5$	+1,8 –1,0
Ø 60 h8	–	$2 \cdot 2,2$	+1,8 –1,0
45 _{–0,62}	$2 \cdot 1,8$		+1,3 –1,0
220 _{–1,15}	$2 \cdot 2,0$		+2,4 –1,2

3.5 Расчет режимов резания

В практической работе подробно рассчитываются режимы резания на две разнохарактерные операции: на одну операцию – по аналитическим формулам теории резания металлов, на другую – по нормативам.

Расчет режимов резания для всех операций начинается с описания исходных условий обработки. В него включены номер и наименование операции, краткое содержание операции, наименование и модель станка, наименование режущего инструмента, его размеры, марка материала режущей части.

Далее определяется глубина резания с учетом величины припуска и маршрутной технологии обработки поверхности (черновая обработка, чистовая обработка, окончательная обработка и т. д.). При этом на чистовую и отделочную обработку оставляется, как правило, 20 %...30 % общего припуска.

Подача на оборот S_o (подача на зуб S_z при фрезеровании) выбирается в зависимости от глубины резания по справочникам. Справочные значения подачи корректируются и принимаются окончательно по паспортным данным станка выбранной модели.

Скорость резания V_p , м/с, рассчитывается по формулам теории резания или нормативам. По полученному значению скорости расчетная частота вращения n_p , мин^{–1}, шпинделя определяется как

$$n_p = \frac{60000 \cdot V_p}{\pi \cdot D}, \quad (3.10)$$

где D – диаметр детали или инструмента, мм.

Полученное значение частоты вращения корректируется (принимается меньшее) по паспорту станка и принимается окончательно. По принятой частоте вращения определяется действительная скорость резания:

$$V_\delta = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60000}. \quad (3.11)$$

В заключение рассчитывается эффективная мощность резания N_Σ , кВт, и сравнивается с мощностью главного привода станка $N_{см}$ с учетом его КПД.

Аналогично рассчитываются режимы резания (расчеты не приводятся) на все остальные операции и записываются в операционные карты и сводную таблицу режимов резания (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Сводная таблица режимов резания

Но- мер опера- ции	Наимено- вание операции, перехода	Глу- бина резания t , мм	Длина резания $L_{рез}$, мм	Подача S_o , мм/об		Скорость V , м/с		Частота вращения ω , мин ⁻¹		Минут- ная по- дача S_m , мм/мин	Ос- нов- ное время t_o , мин
				расчет- ная	при- нятая	расчет- ная	при- нятая	расчет- ная	при- нятая		
05	Токарная с ЧПУ 1 Точение черновое Ø 40 Ø 50	2,0	25	0,4	0,36	1,97	1,67	939	800	288	0,1
		1,5	40	0,4	0,36	1,97	1,65	751	630	227	0,19
10	Сверлиль- ная 1 Сверле- ние от- верстия Ø 10	5	16	0,18	0,16	0,32	0,3	605	580	92,8	0,24

3.6 Расчет норм времени

Расчет норм времени выполняется для тех операций, на которые рассчита-
ны режимы резания.

В крупносерийном и массовом производстве рассчитывается норма штуч-
ного времени:

$$t_{шт} = t_o + t_g + t_{обс} + t_{отд}, \quad (3.12)$$

где t_o – основное время;

t_6 – вспомогательное время;

$t_{обс}$ – время на обслуживание рабочего места;

$t_{отд}$ – время на отдых.

В мелко- и среднесерийном производстве рассчитывается норма штучно-калькуляционного времени по формуле

$$t_{шт.к} = t_{шт} + \frac{t_{н.з}}{n}, \quad (3.13)$$

где $t_{н.з}$ – подготовительно-заключительное время;

n – размер партии деталей.

Основное время рассчитывается по формуле

$$t_o = \frac{L_{рез} + y}{S_0 \cdot n} \cdot i, \quad (3.14)$$

где $L_{рез}$ – длина резания;

y – величина врезания и перебега;

i – количество рабочих ходов.

Вспомогательное время t_6 состоит из затрат времени на отдельные приемы:

$$t_6 = t_{у.с} + t_{з.о} + t_{уп} + t_{изм}, \quad (3.15)$$

где $t_{у.с}$ – время на установку и снятие;

$t_{з.о}$ – время на закрепление и открепление;

$t_{уп}$ – время на приемы управления станком;

$t_{изм}$ – время на измерение.

Оперативное время рассчитывается по формуле

$$t_{он} = t_o + t_6. \quad (3.16)$$

Время на обслуживание и время на отдых в серийном производстве раздельно не определяются. В нормативах дается сумма этих двух составляющих в процентах от оперативного времени $t_{он}$.

В массовом производстве время на отдых задается в процентах от оперативного времени.

Время на обслуживание в массовом и крупносерийном производстве складывается из времени на организационное обслуживание и времени на техническое обслуживание:

$$t_{обс} = t_{орг} + t_{тех}. \quad (3.17)$$

Подготовительно-заключительное время состоит из ряда составляющих:

– время на наладку станка и установку приспособления;

- время перемещений и поворотов рабочих органов станков;
- время на получение инструментов и приспособлений до начала и сдачи после окончания обработки и др.

Расчеты норм времени по всем операциям сводятся в таблицу 3.7 и записываются в операционные карты.

Таблица 7 – Сводная таблица норм времени

В минутах

Но- мер опе- ра- ции	Наимено- вание опе- рации	Ос- нов- ное вре- мя t_o	Вспомога- тельное время t_v			Опе- ра- тив- ное вре- мя t_{on}	Время об- служивания $t_{обс}$		Вре- мя на отдых $t_{отд}$	Штуч- ное время $t_{шт}$	Подго- тови- тельно- заклю- читель- ное время $t_{п.з}$	Ве- ли- чи- на пар- тии n	Штуч- но- каль- куля- цион- ное время $t_{шт.к}$
			$t_{y.c}$	t_{yn}	$t_{изм}$		$t_{тех.обс}$	$t_{орг.обс}$					

3.7 Экономическое обоснование принятого варианта техпроцесса

На практических занятиях сравниваются два варианта технологического процесса: базовый и проектируемый. В качестве базового варианта принимается заводской технологический процесс. При отсутствии базового варианта рассматриваются (сравниваются) два возможных варианта изготовления детали.

Все расчеты настоящего раздела выполняются с использованием цен и тарифных ставок, действующих в Республике Беларусь на момент выполнения расчетов.

При оценке эффективности того или иного варианта техпроцесса наиболее выгодным признается тот, у которого сумма текущих и приведенных капитальных затрат на единицу продукции будет минимальной.

Расчеты приведенных затрат и технологической себестоимости выполняются для всех изменяющихся операций техпроцесса.

Приведенные затраты для двух сравниваемых вариантов техпроцесса рассчитываются по следующей формуле:

$$З = C + E_n (K_c + K_{зд}), \quad (3.18)$$

где C – технологическая себестоимость, р.;

E_n – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений, $E_n = 0,1$;

$K_c, K_{зд}$ – удельные капитальные вложения в станок и здание соответственно.

Расчет основной и дополнительной зарплаты выполняется по формуле

$$C_z = C_q \cdot K_d \cdot Z_n \cdot K_{о.м}, \quad (3.19)$$

где $C_{\text{ч}}$ – часовая тарифная ставка рабочего (принимается по установленным тарифным ставкам), р./ч;

$K_{\text{д}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительную зарплату и начисления, $K_{\text{д}} = 1,7$;

$З_{\text{н}}$ – коэффициент, учитывающий оплату наладчика, $З_{\text{н}} = 1,0$;

$K_{\text{о.м}}$ – коэффициент, учитывающий оплату рабочего при многостаночном обслуживании, $K_{\text{о.м}} = 1,0$.

Расчет часовых затрат по эксплуатации рабочего места производится по формуле

$$C_{\text{эксп}} = C_{\text{ч.з}} \cdot K_{\text{м}}, \quad (3.20)$$

где $C_{\text{ч.з}}$ – часовые затраты на базовом рабочем месте (по материалам производственной практики), р./ч;

$K_{\text{м}}$ – коэффициент, показывающий, во сколько раз затраты, связанные с работой данного станка, больше, чем аналогичные расходы, связанные с работой на базовом станке.

Удельные капитальные вложения в станок рассчитываются по формуле

$$K_{\text{с}} = \frac{Ц_{\text{с}} \cdot K_{\text{м}} \cdot C_{\text{н}}}{N}, \quad (3.21)$$

где $Ц_{\text{с}}$ – отпускная цена станка, р.;

$K_{\text{м}}$ – коэффициент, учитывающий затраты на транспортировку и монтаж, $K_{\text{м}} = 1,1$;

$C_{\text{н}}$ – принятое число станков на операцию, $C_{\text{н}} = 1,0$;

N – годовой объем выпуска деталей.

Удельные капитальные вложения в здание определяются по формуле

$$K_{\text{зд}} = \frac{C_{\text{пл}} \cdot П_{\text{с}} \cdot C_{\text{н}}}{N}, \quad (3.22)$$

где $C_{\text{пл}}$ – стоимость 1 м² производственной площади (принимается по материалам производственной практики), р./м²;

$П_{\text{с}}$ – площадь, занимаемая станком с учетом проходов, м²;

$C_{\text{н}}$ – принятое число станков на операцию, $C_{\text{н}} = 1,0$.

Площадь, занимаемая станком, определяется по формуле

$$П_{\text{с}} = f \cdot K_{\text{с}}, \quad (3.23)$$

где f – площадь станка в плане, м²;

$K_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительную производственную площадь, $K_{\text{с}} = 3,5$ при $f = 2...4$ м²; $K_{\text{с}} = 3$ при $f = 4...6$ м²; $K_{\text{с}} = 4$ при $f < 2$ м².

Технологическая себестоимость рассчитывается для всех операций по формуле

$$C = (C_3 + C_{\text{эксн}}) \frac{t_{\text{ум}}}{60}. \quad (3.24)$$

Экономический эффект от внедрения принятого варианта технологического процесса определяется по формуле

$$\mathcal{E} = (Z_{\text{баз}} - Z_{\text{пр}})N, \quad (3.25)$$

где $Z_{\text{баз}}$ – приведенные затраты по базовому варианту техпроцесса;

$Z_{\text{пр}}$ – приведенные затраты по проектируемому варианту.

Результаты расчетов приведенных затрат сводятся в таблицу 3.8.

Таблица 3.8 – Результаты расчетов приведенных затрат

Операция	Модель станка	$t_{\text{ум}}$, мин	C_3 , р.	$C_{\text{эксн}}$, р.	K_c , р.	K_{30} , р.	C , р.
<i>Базовый вариант</i>							
010 Токарная	16K20	7,8	(25)	(26)	(27)	(28)	(30)
025 Сверлильная	2Н155	6,4	(25)	(26)	(27)	(28)	(30)
Итого		Σ	Σ	Σ			Σ
<i>Проектируемый вариант</i>							
05 Токарная с ЧПУ	16K20Т1	2,3	(25)	(26)	(27)	(28)	(30)
20 Сверлильная с ЧПУ	2Р135Ф	3,4	(25)	(26)	(27)	(28)	(30)
Итого		Σ	Σ	Σ			Σ
<i>Примечание – В скобках указаны номера формул, по которым выполняются расчеты</i>							

Задания

Задания для индивидуального выполнения выдаются преподавателем.

Контрольные вопросы

- 1 Порядок заполнения маршрутной карты.
- 2 Порядок заполнения операционной карты.
- 3 Порядок заполнения карты эскизов.
- 4 Порядок заполнения контрольной карты.

4 Практическое занятие № 4. Изучение процесса ионно-плазменного упрочнения инструмента

Цель работы: ознакомиться с видами ионно-плазменного упрочнения инструмента и порядком их реализации.

4.1 Общие сведения

Повышение эксплуатационных характеристик режущего инструмента является важной задачей, решение которой позволит обеспечивать рост производительности труда, экономию дорогостоящих и дефицитных инструментальных материалов, энергии и трудовых ресурсов. Пути повышения эксплуатационных характеристик инструмента заключаются в создании новых материалов или в улучшении качественных характеристик традиционно используемых материалов.

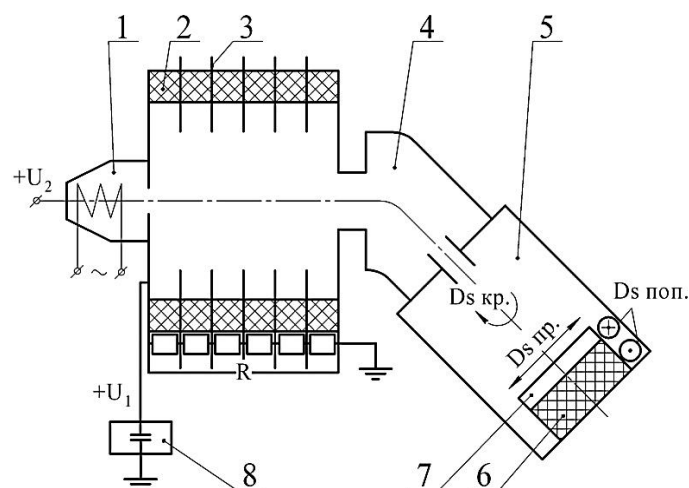
Успехи в развитии вакуумной техники осаждения материалов, физики плазмы, материаловедения, химии конденсированных состояний стимулировали широкое использование способов улучшения эксплуатационных характеристик инструментов.

4.2 Ионная имплантация

Для улучшения эксплуатационных свойств режущих инструментов используется ионная имплантация. Важным отличием такой обработки является то, что при высоких плотностях тока наблюдается разогрев обрабатываемой поверхности до температур от 400 °С до 600 °С и обеспечивается диффузионное перераспределение внедренных атомов с получением глубоких модифицированных слоев при энергии ионов порядка нескольких килоэлектронвольт.

Схема установки, используемой для осуществления процесса ионной имплантации, представлена на рисунке 4.1.

Процессы, инициируемые ионами с высокой энергией в поверхностном слое, сопровождаются изменением химического состава слоя, структурными изменениями. Это приводит к изменению микротвёрдости, коррозионной стойкости, адгезионной активности, фрикционных характеристик, электропроводности и др. Возможность химического контроля состава пучка имплантируемых ионов средствами магнитной сепарации, а также варьирование энергии внедрения позволяют направленно воздействовать на поверхность изделия, создавая требуемые характеристики поверхностного слоя.



1 – источник ионов; 2 – кольцевой изолятор; 3 – кольцевой электрод; 4 – масс-сепаратор; 5 – рабочая камера; 6 – диэлектрический столик; 7 – изделие; 8 – источник питания

Рисунок 4.1 – Схема установки для осуществления процесса ионной имплантации

4.3 Способ обработки инструмента плазмой тлеющего разряда, используемое оборудование и приборы

Данный способ отличается от других тем, что химический состав вводимой в вакуумную камеру парогазовой среды может варьироваться в широких пределах. К качеству подготовки и чистоте обрабатываемых поверхностей не предъявляются жесткие требования. В процессе обработки плазмой тлеющего разряда среднеинтегральная температура обрабатываемых изделий не превышает 100 °С, что исключает термические превращения в макрообъёме.

Данный способ применим для модифицирующей обработки большого спектра инструментальных и конструкционных материалов. Развитие ресурсосберегающих технологий и возрастание роли отделочных видов лезвийной обработки с использованием инструментов, оснащаемых твёрдыми сплавами и сверхтвёрдыми материалами, применяемых в промышленности, позволяет решать проблему повышения их производственного ресурса обработкой плазмой тлеющего разряда перспективно и экономически целесообразно.

Механизмы процессов, протекающих при модифицирующей обработке инструмента плазмой тлеющего разряда, схожи с протекающими при ионной имплантации. В качестве источника ионов могут использоваться как различные парогазовые среды, так и газы остаточной окружающей воздушной атмосферы.

Можно отметить ряд характерных особенностей.

Плазменная обработка приводит к образованию в поверхностном слое обрабатываемого материала атомных смесей, состав которых не лимитируется принципами термодинамики.

Одновременно с поверхностным ионным легированием генерируется большое количество смещенных атомов, формирующих дефекты структуры, которые влияют на расположение вводимых в кристаллическую структуру ато-

мов и могут вызывать перемещения атомов как на малые, так и на большие расстояния.

В силу атермичности процессов, сопутствующие термоактивируемые процессы могут регулироваться температурой мишени независимо, что позволяет с высокой степенью воспроизводимости создавать в поверхностном слое материала слои с различными свойствами.

Если обработку проводить при температуре, когда междоузельные атомы и вакансии мишени подвижны система стремится к термодинамическому равновесию и выделение фаз происходит в соответствии с диаграммами состояний, а дефекты структуры отжигаются.

При низких температурах существенным фактором фазообразования при плазменной обработке является сходство исходной и образующейся кристаллических решеток, что благоприятствует фазовым переходам, но сохраняются жесткие кинетические ограничения.

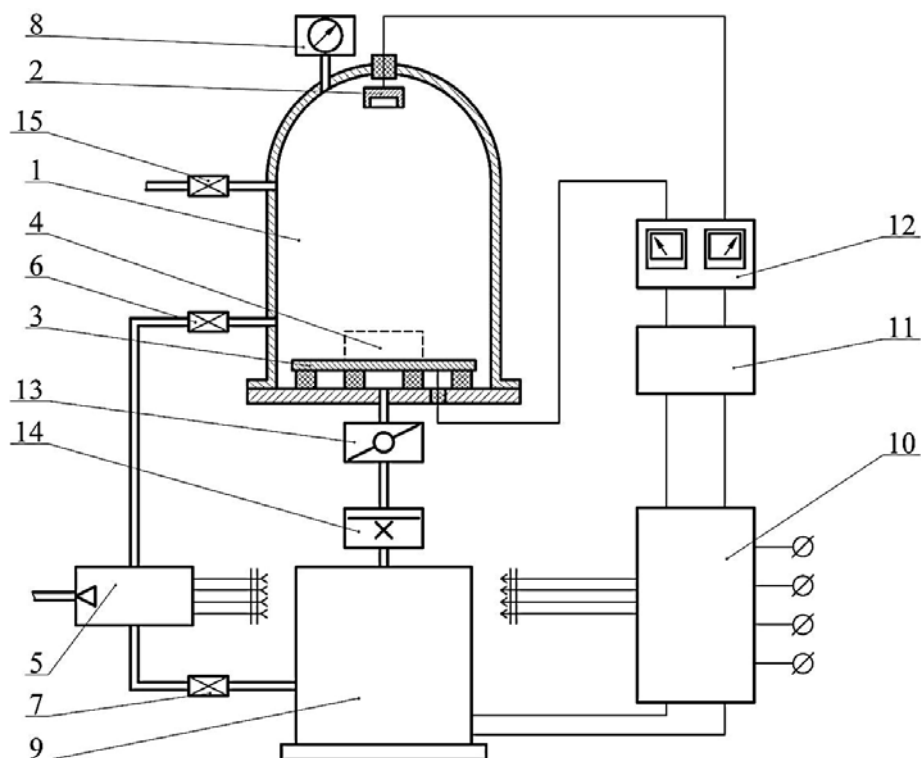
Предлагаемые способы плазменной обработки инструментов реализуются при условиях: между катодом, на котором помещают изделия, и анодом расстояние принимается в интервале 0,6...0,8 м; давление в вакуумной камере при прокачке парогазовых сред – в интервале 1,3...100 Па; напряжение, подаваемое на электроды, – 0,3...3 кВ; время выдержки – от 10 до 60 мин.

На рисунке 4.2 представлена схема вакуумной установки для реализации предлагаемых способов обработки плазмой тлеющего разряда. Для обработки инструменты 4 выкладываются на катод 3. Из вакуумной камеры откачивают воздух до давления 1,3 Па, используя форвакуумный насос 5 при открытых клапанах 6 и 7, контролируя величину разряжения вакуумметром 8. Заслонку 13 паромасляного диффузионного насоса 9 закрывают и включают цепь питания преобразователя высокого напряжения 11, благодаря чему между анодом 2 и катодом 3 создается разность потенциалов, величину которой устанавливают в пределах 0,3...3 кВ при помощи специального блока измерения 12 и блока питания 10. Далее балансируют величину давления парогазовой среды на прокачке.

Ловушка 14 препятствует проникновению в вакуумную камеру паров масла из нагреваемого паромасляного диффузионного насоса. По окончании обработки в камеру 1 напускают воздух открывая клапан 15. При обработке регулирование рабочего давления осуществляется при помощи системы 13 напуска парогазовой среды.

Система измерения давления 8 включает преобразователь давления и вакуумметр.

Блок измерения электрических параметров разряда 12 состоит из киловольтметра и миллиамперметра, посредством которых контролируют напряжение на электродах и силу тока в тлеющем разряде.



1 – камера; 2 – анод; 3 – катод; 4 – изделие; 5 – форвакуумный насос; 6, 7, 15 – клапан; 8 – система измерения давления; 9 – диффузионный насос; 10 – блок питания; 11 – преобразователь высокого напряжения; 12 – блок измерения электрических параметров разряда; 13 – система напуска парогазовых сред; 14 – ловушка

Рисунок 4.2 – Схема установки для плазменной обработки

Задания

Задания для индивидуального выполнения выдаются преподавателем.

Контрольные вопросы

- 1 Что сопутствует процессам, инициируемым ионами с высокой энергией в поверхностном слое?
- 2 С чем связано изменение химического состава поверхностного слоя?
- 3 С чем связано изменение структуры поверхностного слоя?
- 4 Как меняются микротвёрдость, коррозионная стойкость, адгезионная активность поверхностного слоя?
- 5 Что необходимо контролировать при воздействии пучка имплантируемых ионов на поверхность?

Список литературы

1 **Мрочек, Ж. А.** Технология машиностроения: лабораторный практикум : учеб. пособие / В. А. Логвин, Ж. А. Мрочек, С. А. Шептунов. – М. : ИКТИ РАН, 2018. – 295 с.

2 Основы инженерного образования: учеб. пособие / В. А. Логвин, Ж. А. Мрочек, С. А. Шептунов [и др.] ; под ред. Ж. А. Мрочека. – Мн. : РИВШ, 2020. – 488 с.

3 Технологическое обеспечение машиностроительного производства : учеб. пособие / В. А. Логвин, Ж. А. Мрочек, Е. В. Банковская [и др.] ; под ред. Ж. А. Мрочека. – Мн. : РИВШ, 2021. – 560 с.

4 **Логвин, В. А.** Технологическое оборудование и инструментальные системы : учеб. пособие : в 2 ч. / В. А. Логвин, Ж. А. Мрочек, С. А. Шептунов ; под ред. Ж. А. Мрочека. – Мн. : РИВШ, 2023. – Ч. 1. – 656 с.

5 **Логвин, В. А.** Технологическое оборудование и инструментальные системы : учеб. пособие : в 2 ч. / В. А. Логвин, Ж. А. Мрочек, С. А. Шептунов ; под ред. Ж. А. Мрочека. – Мн. : РИВШ, 2025. – Ч. 2. – 580 с.