

Аннотация

Тема работы: Технологический процесс изготовления фланца револьверной головки центра «Формула Станок».

В первом разделе работы осуществляется анализ назначения и условий работы фланца, проводится анализ служебного назначения каждой поверхности, ведется описание назначения станочных револьверных головок, анализируются химический состав материала детали, физико-механические свойства материала и необходимая термическая обработка.

Во втором разделе ведется определение типа машиностроительного производства, проводится технико-экономический расчет оптимального метода получения заготовки, подбираются методы обработки каждой поверхности детали, разрабатывается маршрут и план обработки фланца, на одну из поверхностей проводится расчет припусков, определяются режимы обработки на некоторые операции техпроцесса.

В третьем разделе работы производится проектирование токарного патрона для токарной операции. Работой предлагается автоматизировать данное станочное приспособление. Для чего проведен анализ и рассчитана необходимая сила зажима, рассчитан и спроектирован пневматический привод, с помощью которого патрон работает в автоматическом цикле.

Четвертый раздел посвящен проектированию режущего инструмента – дисковой фрезы для обработки боковых лысок фланца. В этом же разделе проведен анализ и сделаны предложения по увеличению износостойкости спроектированного режущего инструмента.

В работе проведен анализ экологичности и безопасности, а также выполнен расчет экономической эффективности, который подтвердил рациональность и правильность проведенных мероприятий по модернизации базового технологического процесса.

Abstract

Topic: Technological process of manufacturing the flange of the turret head of the center "Formula Machine".

In the first part of the work, the purpose and working conditions of the flange are analyzed, the service purpose of each surface is analyzed, the purpose of the machine gun heads is described, the chemical composition of the part material, the physical and mechanical properties of the material and the necessary heat treatment are analyzed.

In the second part, the type of machine-building production is determined, the technical and economic calculation of the optimal method for obtaining the workpiece is carried out, methods for processing each surface of the part are selected, the route and plan for processing the flange are developed, allowances are calculated for one of the surfaces, processing modes for some operations of the technological process are determined.

In the third part of the work, the design of the turning chuck for the turning operation is performed. The work is proposed to automate this machine tool. For this purpose, the analysis was carried out and the required clamping force was calculated, the pneumatic drive was calculated and designed, with the help of which the cartridge operates in an automatic cycle.

The fourth section is devoted to the design of a cutting tool-a disc cutter for processing the side flat surfaces of the flange. In the same section, an analysis is carried out and proposals are made to increase the wear resistance of the designed cutting tool.

The paper analyzes environmental friendliness and safety, as well as the calculation of economic efficiency, which confirmed the rationality and correctness of the measures taken to modernize the basic technological process.

Содержание

Введение.....	6
1 Анализ исходных данных.....	7
1.1 Назначение и условия работы детали	7
1.2 Классификация поверхностей детали	7
1.3 Анализ требований к поверхностям детали.....	9
2 Технологическая часть.....	12
2.1 Выбор типа производства.....	12
2.2 Выбор метода получения заготовки.....	13
2.3 Выбор метод обработки поверхностей.....	14
2.4 Расчет припусков.....	16
2.5 Определение режимов обработки.....	19
3 Проектирование станочного приспособления.....	25
3.1 Анализ существующей ситуации.....	25
3.2 Определение сил резания.....	26
3.3 Определение усилия зажима.....	27
3.4 Определение зажимного механизма.....	29
3.5 Расчёт силового привода.....	29
4 Проектирование режущего инструмента.....	30
4.1 Анализ исходных данных.....	30
4.2 Расчет дисковой фрезы	31
4.3 Исследования методов нанесения износостойких покрытий на режущий инструмент.....	34
5 Безопасность и экологичность технического объекта.....	51
5.1 Назначение участка.....	51
5.2 Планировка рассматриваемого участка.....	51
5.3 Состав оборудования.....	51
5.4 Анализ вредных производственных факторов.....	54

6 Экономическая эффективность работы.....	56
Заключение.....	61
Список используемой литературы	62
Приложение А. Маршрутные карты.....	67
Приложение Б. Операционные карты.....	73

Введение

Важной особенностью металлорежущих станков с числовым программным управлением (ЧПУ) является необходимость в быстрой смене инструментов. Механизмами для быстрой смены инструментов на токарных станках являются револьверные головки, конструкция которых такова, что для переключения на работу другого инструмента необходим лишь проворот револьверной головки на необходимый угол (в определенную позицию). В токарных станках применяют четырех-, шести-, восьми-, двенадцати- и шестнадцатипозиционные револьверные головки. Причем на одном станке могут применяться несколько револьверных головок, что увеличивает возможности станка.

Различают револьверные головки с горизонтальной, вертикальной и наклонной осями поворота.

Револьверная головка в отличие от других инструментальных магазинов является непосредственным рабочим органом станка, воспринимающим силы резания. Поэтому она должна характеризоваться высокой прочностью, жесткостью и точностью позиционирования при повороте. Режущие инструменты для обработки наружных и внутренних поверхностей не должны мешать друг другу. Замена инструментов в головке должна осуществляться удобно и быстро, к инструменту должен быть осуществлен свободный доступ.

Целью выпускной работы является проектирование техпроцесса изготовления фланца револьверной головки токарного станка центра «Формула Станок» с необходимым качеством и наименьшей себестоимостью, согласно современного состояния науки и техники.

1 Анализ исходных данных

1.1 Назначение и условия работы детали

Фланец является барьером в револьверной головке, чтоб продукты обработки токарного станка и пыль не попадали внутрь механизма.

1.2 Классификация поверхностей детали

Выполним классификацию поверхностей фланца. Нумерация поверхностей представлена на рисунке 1.

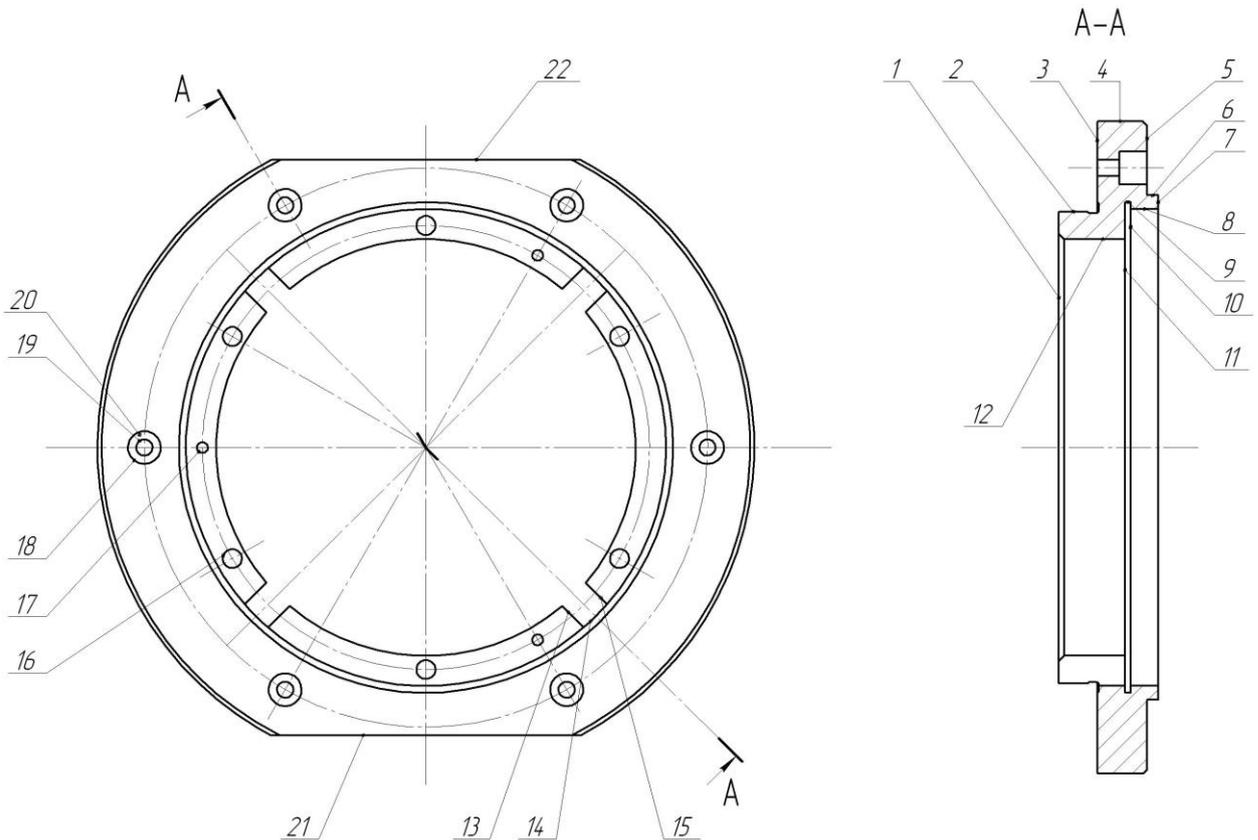


Рисунок 1 - Классификация поверхностей детали

Исполнительной поверхностью детали является поверхность 8, которой фланец сопрягается с валом.

Основными конструкторскими базами детали являются цилиндрическая поверхность 2 и торцовая поверхность 3.

Вспомогательными конструкторскими базами детали являются внутренняя цилиндрическая поверхность 12, боковые стенки пазов 13 и 15, поверхности 14, отверстия 19, а также плоские поверхности под винты 20.

Остальные поверхности являются свободными.

«Переходными между токарными автоматами, полуавтоматами и универсальными токарными станками являются токарно-револьверные станки, которые применяются в серийном производстве для обработки деталей из прутков или из штучных заготовок. На этих станках можно выполнять все основные токарные операции. Нарезание резьбы производится с помощью специального копировального устройства. Револьверные станки отличаются от токарно-винторезных тем, что не имеют задней бабки и ходового винта, а имеют продольный суппорт, несущий револьверную головку, в которую может быть установлен разнообразный инструмент. Заготовки зажимаются патронами или специальными цанговыми зажимными устройствами. Револьверная головка (рисунок 1) проворачивается вокруг своей оси и тогда инструменты последовательно подводятся к детали, обрабатывая ее за несколько переходов. Инструмент, работающий с поперечной подачей, крепится в резцедержателе поперечного суппорта. В зависимости от вида обрабатываемых заготовок револьверные станки делятся на прутковые, патронные и комбинированные». [3]

«Призматические головки (рис. 2, а) имеют обычно вертикальную ось вращения и шесть граней с гнездами. Цилиндрические головки бывают с горизонтальной осью вращения, расположенной параллельно оси шпинделя (рис. 2, б), и горизонтальной осью, расположенной перпендикулярно оси вращения шпинделя. Главным движением в токарно-револьверных станках является вращение заготовки, движениями подач – продольное и поперечное перемещения суппортов, несущих режущий инструмент. В револьверных головках с горизонтальной осью вращения поперечная подача S_2

осуществляется медленным вращением головки. Вспомогательными движениями в этих станках являются индексированные повороты револьверной головки, подача и зажим прутка, быстрый подвод и отвод револьверного суппорта». [3]

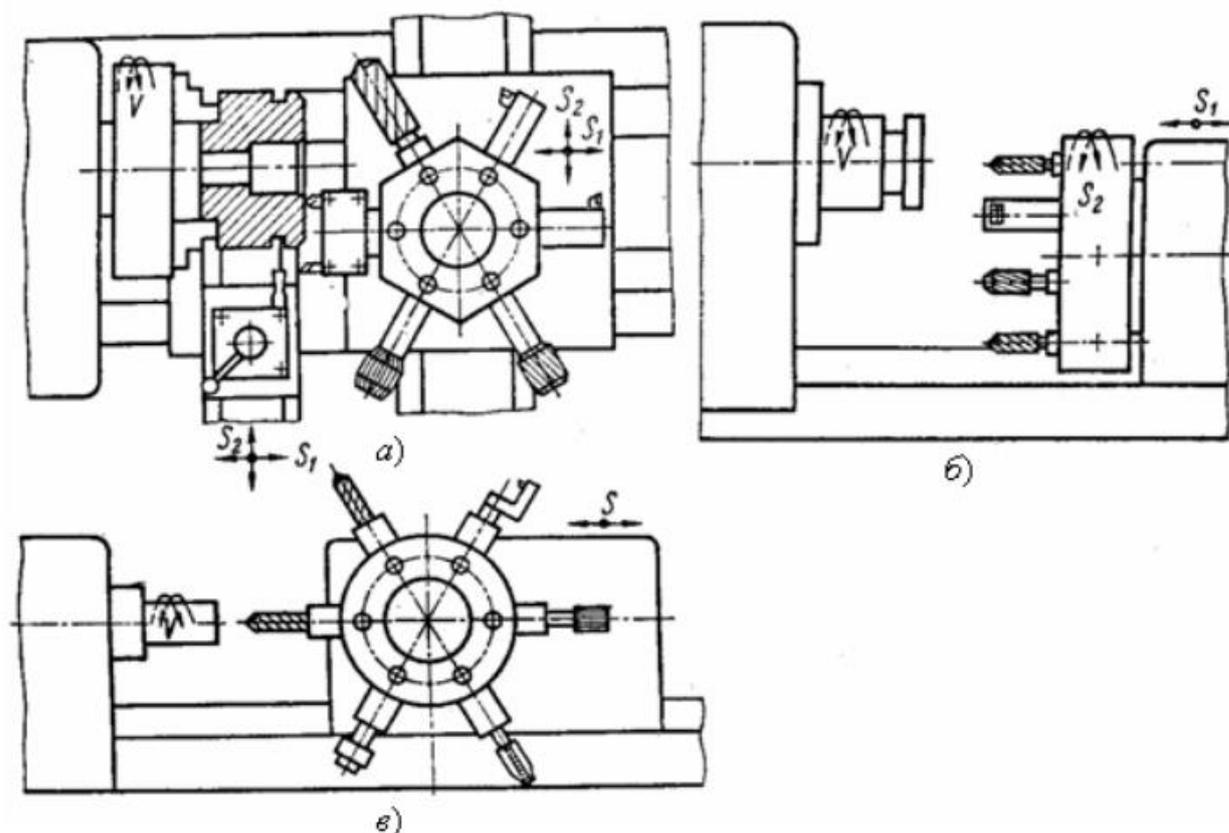


Рисунок 2 – Револьверные головки

1.3. Анализ требований к поверхностям детали

Проведем анализ химического состава материала детали. Материалом детали является сталь 35 ГОСТ 1050-88 [2]. Она состоит из 0,32...0,4% углерода (C), 0,5...0,8% марганца (Mn), до 0,04% серы (S), до 0,25% никеля (Ni), до 0,25% хрома (Cr), до 0,035% фосфора (P), 0,17...0,37% кремния (Si), до 0,25% меди (Cu), до 0,008% мышьяка (As). Остальным материалом является железо (Fe). [28]

«Конструкционные стали должны обладать высоким комплексом механических свойств, а не одной какой-либо характеристикой, обеспечивать

длительную и надежную работу конструкции в условиях эксплуатации. Материалы, идущие на изготовление конструктивных элементов, деталей машин и механизмов, должны наряду с высокой прочностью и пластичностью хорошо сопротивляться ударным нагрузкам, обладая запасом вязкости. При знакопеременных нагрузках конструкционные материалы должны иметь высокое сопротивление усталости, а при трении – износу. Во многих случаях необходимо сопротивление коррозии. Так как в деталях всегда имеются дефекты, являющиеся концентраторами напряжений, конструкционные материалы должны обладать высоким сопротивлением хрупкому разрушению и распространению трещин. Помимо высокой надежности и конструктивной прочности они должны иметь хорошие литейные свойства, обрабатываемость давлением, резанием, хорошую свариваемость». [28]

Основные физико-механические свойства материала детали представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные физико-механические свойства стали 35 ГОСТ 1050-88

δ_5	σ_B	КСУ	σ_T	НВ
%	МПа	Дж/см ²	МПа	
20	390	49	600	156

Согласно представленным свойствам стали 35 соответствуют требованиям, предъявляемым к нашей детали.

«Качественные стали содержат не более 0,04 S и не более 0,035 P, они менее загрязнены неметаллическими включениями и газами. В особо ответственных случаях эти стали содержат менее 0,02 S и 0,03 P. Поэтому при одинаковом содержании углерода качественные стали имеют более высокие пластичность и вязкость, чем стали обыкновенного качества, особенно при низких температурах. Свойства качественных сталей и принцип маркировки регламентируется ГОСТ 1050-88. Качественные

углеродистые стали выплавляются в электропечах, кислородных конвертерах и мартеновских печах. По содержанию углерода качественные углеродистые стали подразделяются на низкоуглеродистые (до 0,25% С), среднеуглеродистые (0,3...0,5% С) и высокоуглеродистые (до 0,65% С). Качественные углеродистые стали поставляются в виде проката, поковок, профилей различного назначения с гарантированным химическим составом и механическими свойствами и используются в машиностроении для изготовления деталей чаще неответственного назначения. Качественные углеродистые стали маркируют двузначными цифрами 05, 08, 10, 15, ..., 60, указывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента». [28]

«Среднеуглеродистые стали (0,3...0,5% С), в том числе с повышенным содержанием марганца (30Г, 40Г, 50Г), термоулучшаемые, упрочняются закалкой с высоким отпуском или нормализацией с высоким отпуском. Стали 45, 50 используются после закалки ТВЧ (с низким отпуском). При одинаковом временном сопротивлении нормализованной или термоулучшенной стали предел текучести и относительное удлинение у последней выше за счет более дисперсной структуры – сорбита отпуска. Причем у стали с такой структурой будут выше ударная вязкость и хладостойкость. В крупногабаритных деталях механические свойства снижаются из-за низкой прокаливаемости». [28]

Таким образом, в качестве возможных методов получения заготовки принимаем поковку и прокат, а для улучшения свойств материала принимаем закалку с высоким отпуском.

2 Технологическая часть

2.1 Выбор типа производства

«Технология оказывает большое влияние на организацию производства. Замена старого технологического процесса новым уже одним этим уже может коренным образом повлиять на организацию производства. Неправильные расчеты технологических процессов изготовления отдельных деталей делают неправильными и расчеты, связанные с организацией производства процесса цеха. И наоборот, организация производства в сильнейшей степени влияет на технологию. Игнорирование факторов организации производства делает технологический процесс нежизненным, нереальным. Целесообразным может быть признан только тот технологический процесс, который согласован с организационной формой производства и со всеми обслуживающими это производство процессами. Рассмотрим главнейшие направления, по которым организация оказывает влияние на технологию. Потребность в изделиях разного рода различна. Одни изделия приходится изготавливать единицами (оборудование металлургических заводов, тяжелые уникальные станки), другие выпускаются партиями или сериями (тепловые гидравлические турбины, локомотивы), третьи производятся в больших количествах (автомобили, тракторы, сельскохозяйственные машины, подшипники качения и др.) В соответствии с этим различают следующие типы производства: индивидуальное или единичное, серийное и массовое». [2]

На данном этапе разработки техпроцесса тип производства зависит от массы детали и годовой программы выпуска. Исходя из массы детали $m = 3,5$ кг, и программы выпуска $N_r = 10\ 000$ шт./год принимаем среднесерийный тип производства.

«Серийным производством называется такое производство, при котором изделия изготавливаются партиями или сериями, В зависимости от

величины партий или серий, а также от того, насколько часто и закономерно (периодически) происходит их чередование, различают производство мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное. Станки в серийном производстве располагаются по ходу технологического процесса, и при обработке различных деталей требуется переналадка оборудования при запуске в производство новой детали (участок обработки валов, участок обработки зубчатых колес, участок обработки корпусных деталей и т. п. Детали обрабатываются также партиями». [2]

2.2 Выбор метода получения заготовки

Как уже отмечалось, наиболее рациональными методами получения заготовки является прокат и поковка. Проведем технико-экономический расчет этих двух методов.

С помощью моделирования в системе Компас-3D получим размеры заготовки из проката диаметром $\varnothing 41,5$ и длиной 243 мм. Эта заготовка будет иметь массу $m=15,05$ кг.

Заготовка из штамповки будет иметь фигурную форму и массу $m=6,25$ кг.

Рассчитаем стоимость снятия 1 кг стружки при механической обработке [17].

$$C_{\text{мех}} = C_c + E_H \cdot C_K, \quad (2.1)$$

где $E_H = 0,15$; $C_c = 0,495$; $C_K = 1,085$. [17]

Тогда по формуле (2.1) имеем:

$$C_{\text{мех}} = 0,495 + 0,15 \cdot 1,085 = 0,6578 \text{ (руб./кг)}.$$

Определим стоимость 1 кг заготовки, полученной штамповкой [17].

$$C_{\text{заг}} = C_{\text{шт}} \cdot k_m \cdot k_c \cdot k_g \cdot k_n, \quad (2.2)$$

где $C_{\text{шт}} = 0,315$; $k_m = 0,9$; $k_c = 0,84$; $k_g = 1,14$; $k_n = 1,0$. [4];

Тогда по формуле (2.2) имеем:

$$C_{заг} = 0,315 \cdot 0,9 \cdot 0,84 \cdot 1,14 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,2715 \text{ (руб.)}$$

Определим технологическую себестоимость изготовления детали, полученной штамповкой [4].

$$C_{ми} = C_{заг} \cdot Q_{ум} + C_{мех} (Q_{ум} - q) - C_{омх} (Q_{ум} - q), \quad (2.3)$$

$$\text{где } Q_{ум} = 6,25; q = 3,5; C_{омх} = 0,0144. [17]$$

По формуле (2.3) имеем:

$$C_{ми} = 0,2715 \cdot 6,25 + 0,6578(6,25 - 3,5) - (6,25 - 3,5)0,0144 = 3,4662 \text{ (руб.)}$$

Определим технологическую себестоимость изготовления детали, полученную прокатом [17].

$$C_{ми} = C_{заг} \cdot Q_{пр} + C_{мех} (Q_{пр} - q) - C_{омх} (Q_{пр} - q), \quad (2.4)$$

$$\text{где } Q_{пр} = 15,05.$$

По формуле (2.4) имеем:

$$C_{ми} = 0,1219 \cdot 15,05 + 0,6578(15,05 - 3,5) - 0,0144(15,05 - 3,5) = 9,2659 \text{ (руб.)}$$

В итоге по технологической себестоимости наиболее экономически выгодным вариантом получения заготовки является штамповка.

В этом случае годовая экономия будет составлять

$$\mathcal{E}_z = (C_{ми} - C_{ми})N_z = (9,2659 - 3,4662)10000 = 57997 \text{ (руб.)}$$

2.3 Выбор методов обработки поверхностей

«Технологический процесс состоит из трех следующих стадий: 1) черновая обработка, при которой снимается и превращается в стружку большая часть припуска; 2) чистовая обработка, при которой в основном обеспечивается заданная точность; 3) отделочная обработка, при которой обеспечивается требуемое качество поверхности и окончательно – точность». [2]

Для достижения достаточной точности и качества поверхностного слоя поверхностей №1 ,7 с параметрами IT11, Ra3,2 необходим следующий перечень методов ее обработки: точение черновое и чистовое.

Для достижения достаточной точности и качества поверхностного слоя поверхностей №2 с параметрами IT8, Ra0,8 необходим следующий перечень методов ее обработки: точение черновое и чистовое, шлифование черновое и чистовое.

Для достижения достаточной точности и качества поверхностного слоя поверхностей №3 ,4 с параметрами IT14, Ra1,6 необходим следующий перечень методов ее обработки: точение черновое и чистовое, шлифование черновое.

Для достижения достаточной точности и качества поверхностного слоя поверхностей №5, 9, 10 ,11 с параметрами IT14, Ra3,2 необходим следующий перечень методов ее обработки: точение черновое и чистовое.

Для достижения достаточной точности и качества поверхностного слоя поверхности №6 с параметрами IT8, Ra3,2 необходим следующий перечень методов ее обработки: точение черновое и чистовое.

Для достижения достаточной точности и качества поверхностного слоя поверхности №8 с параметрами IT7, Ra0,8 необходим следующий перечень методов ее обработки: точение черновое и чистовое, шлифование черновое и чистовое.

Для достижения достаточной точности и качества поверхностного слоя поверхности №12 с параметрами IT8, Ra1,6 необходим следующий перечень методов ее обработки: точение черновое и чистовое, шлифование черновое.

Для достижения достаточной точности и качества поверхностного слоя поверхностей №13, 14, 15 с параметрами IT14, Ra3,2 необходим следующий перечень методов ее обработки: долбление.

Для достижения достаточной точности и качества поверхностного слоя поверхностей №16, 20 с параметрами IT14, Ra3,2 необходим следующий перечень методов ее обработки: сверление.

Для достижения достаточной точности и качества поверхностного слоя поверхности №17 с параметрами IT7, Ra1,6 необходим следующий перечень методов ее обработки: сверление, зенкерование.

Для достижения достаточной точности и качества поверхностного слоя поверхностей №18, 19 с параметрами IT7, Ra3,2 необходим следующий перечень методов ее обработки: сверление, зенкование.

Для достижения достаточной точности и качества поверхностного слоя поверхностей №21, 22 с параметрами IT14, Ra3,2 необходим следующий перечень методов ее обработки: фрезерование.

2.4 Расчет припусков

«Величина операционных припусков обуславливается следующими факторами: размерами и конфигурацией детали; шероховатостью поверхности, получаемой в результате обработки поверхности на предыдущей операции; глубиной дефектного слоя (поверхностного слоя), образовавшегося в результате обработки на предыдущей операции; точностью установки заготовки при выполнении данной операции; точностью размеров и формы, полученных в результате выполнения предыдущей операции». [2]

«Чем больше деталь по размерам и чем сложнее ее конструкция, тем величина припуска на обрабатываемых ее поверхностях должна быть больше. Меньшие размеры детали и более простая ее форма дают возможность назначить меньшие припуски. Погрешности заготовки, которые должны быть компенсированы операционным припуском, подразделяют на две группы: погрешности, получаемые в результате выполнения предыдущей операции; погрешности, получаемые в результате выполнения данной операции. К погрешностям, получаемым в результате выполнения данной операции, относятся: погрешности установки заготовки в плоскости поперечного сечения; погрешности установки заготовки в осевой плоскости. В результате выполнения технологических операций или переходов мы не получаем идеально гладкой обработанной поверхности. На поверхности остаются следы – результаты воздействия инструмента (при механической

обработке), высокой температуры штампов (при ковке-штамповке) или высокой температуры стенок формы (при изготовлении литых заготовок). Поверхность получается в известной степени шероховатой, деталь получает соответствующую точность размеров и формы. Поверхностный слой материала заготовки или детали по своим физико-механическим свойствам отличен от основного материала детали и содержит ряд дефектов (пригары, обезуглероженность, окалину, микроскопические трещины и др.) При обработке шероховатость и дефектный слой, полученные в результате выполнения предыдущей операции, должны быть удалены. Последняя операция (чистовая или отделочная) или последний переход должны обеспечить шероховатость поверхности по чертежу детали и удаление дефектов материала в поверхностном дефектном слое». [2]

Рассчитаем припуски на обработку посадочной поверхности $\varnothing 174H7(+0,040)$, длиной 10 мм с шероховатостью Ra0,8. Технологический маршрут обработки данной поверхности состоит из чернового и чистового точения, ТО, протягивания и шлифования.

Найдем суммарную величину для каждого перехода

$$a = R_z + h_o. [4]$$

Найдем суммарное отклонение формы и расположения поверхностей

$$\Delta = 0,25 \cdot Td. [4]$$

$$\Delta_0 = 0,25 \cdot 3,2 = 0,800.$$

$$\Delta_1 = 0,25 \cdot 0,400 = 0,100.$$

$$\Delta_2 = 0,25 \cdot 0,100 = 0,025.$$

$$\Delta_{TO} = 0,25 \cdot 0,160 = 0,040.$$

$$\Delta_3 = 0,25 \cdot 0,063 = 0,016.$$

$$\Delta_4 = 0,25 \cdot 0,040 = 0,010.$$

Максимальное и минимальное значение припуска вычислим по формулам

$$Z_{\min} = a_{i-1} + \sqrt{(\Delta_{i-1})^2 + \varepsilon_i^2}. [4]$$

$$Z_{i\max} = Z_{i\min} + 0,5(TD_{i-1} + TD_i). [4]$$

$$Z_{1\max} = Z_{1\min} + 0,5(TD_0 + TD_1) = 1,2 + 0,5(3,2 + 0,400) = 3,000.$$

$$Z_{2\max} = Z_{2\min} + 0,5(TD_1 + TD_2) = 0,3 + 0,5(0,400 + 0,100) = 0,550.$$

$$Z_{3\max} = Z_{3\min} + 0,5(TD_{TO} + TD_3) = 0,140 + 0,5(0,100 + 0,063) = 0,222.$$

$$Z_{4\max} = Z_{4\min} + 0,5(TD_3 + TD_4) = 0,066 + 0,5(0,063 + 0,040) = 0,118.$$

$$Z_{1\min} = a_0 + \sqrt{(\Delta_0)^2 + \varepsilon_1^2} = 0,4 + \sqrt{0,800^2 + 0,025^2} = 1,200, \text{ MM.}$$

$$Z_{2\min} = a_1 + \sqrt{(\Delta_1)^2 + \varepsilon_2^2} = 0,2 + \sqrt{0,100^2 + 0} = 0,300, \text{ MM.}$$

$$Z_{3\min} = a_2 + \sqrt{(\Delta_{TO})^2 + \varepsilon_3^2} = 0,1 + \sqrt{0,040^2 + 0^2} = 0,140, \text{ MM.}$$

$$Z_{4\min} = a_3 + \sqrt{(\Delta_3)^2 + \varepsilon_4^2} = 0,05 + \sqrt{0,016^2 + 0} = 0,066$$

$$D_{4\min} = 174,000.$$

$$D_{4\max} = 174,040.$$

$$D_{3\max} = D_{4\min} - 2Z_{4\min} = 174,000 - 2 \cdot 0,066 = 173,868.$$

$$D_{3\min} = D_{3\max} - TD_3 = 173,868 - 0,063 = 173,805.$$

$$D_{TO\max} = D_{3\min} - 2Z_{3\min} = 173,805 - 2 \cdot 0,140 = 173,525.$$

$$D_{TO\min} = D_{TO\max} - TD_{TO} = 173,525 - 0,160 = 173,365.$$

$$D_{2\max} = D_{TO\min} \cdot 0,999 = 173,365 \cdot 0,999 = 173,192.$$

$$D_{2\min} = D_{2\max} - TD_2 = 173,192 - 0,100 = 173,092.$$

$$D_{1\max} = D_{2\min} - 2Z_{2\min} = 173,092 - 2 \cdot 0,300 = 172,492.$$

$$D_{1\min} = D_{1\max} - TD_1 = 172,492 - 0,400 = 172,092.$$

$$D_{0\max} = D_{1\min} - 2Z_{1\min} = 172,092 - 2 \cdot 1,200 = 169,692.$$

$$D_{0\min} = D_{0\max} - TD_0 = 169,692 - 3,200 = 166,492.$$

Найдем средние значения размеров

$$D_{cpi} = 0,5(D_{i\max} + D_{i\min}). [4]$$

$$D_{cp0} = 0,5(D_{0\max} + D_{0\min}) = 0,5(169,692 + 166,492) = 168,092.$$

$$D_{cp1} = 0,5(D_{1\max} + D_{1\min}) = 0,5(172,492 + 172,092) = 172,292.$$

$$D_{cp2} = 0,5(D_{2\max} + D_{2\min}) = 0,5(173,192 + 173,092) = 173,142.$$

$$D_{cpTO} = 0,5(D_{TOmax} + d_{TOmin}) = 0,5(173,525 + 173,365) = 173,445.$$

$$D_{cp3} = 0,5(D_{3max} + D_{3min}) = 0,5(173,805 + 173,868) = 173,837.$$

$$D_{cp4} = 0,5(D_{4max} + D_{4min}) = 0,5(174,000 + 174,040) = 174,020.$$

Найдем общий припуск на обработку

$$2Z_{min} = D_{4min} - D_{0max} \cdot [4]$$

$$2Z_{min} = 174,000 - 169,692 = 4,308.$$

$$2Z_{max} = 2Z_{min} + TD_0 + TD_4 \cdot [4]$$

$$2Z_{max} = 4,308 + 3,200 + 0,040 = 7,548.$$

$$2Z_{cp} = 0,5(2Z_{min} + 2Z_{max}).$$

$$2Z_{cp} = 0,5(7,548 + 4,308) = 5,928.$$

2.5 Определение режимов резания

«Выбор и расчет режима резания для каждой операции (глубины резания, подачи, скорости резания и числа проходов) для конкретных условий обработки, заданных требований к точности и шероховатости обработанной поверхности детали являются весьма важной составной частью работы по проектированию технологического процесса. Оптимальный режима резания должен иметь наивыгоднейшую комбинацию этих величин. Он должен обеспечивать: а) наименьшую себестоимость обработки детали; б) наибольшую производительность на данной операции; в) качество обработанной поверхности в соответствии с требованиями чертежа; г) точность размеров обработанных поверхностей в соответствии с требованиями чертежа детали. При рассмотрении влияния жесткости технологической системы на точность обработки было установлено, что число проходов и величина подачи заметно влияют на величину погрешности размера и формы детали. Скорость резания, в случае, например, обработки неуравновешенных деталей, также может оказывать существенное

влияние на точность. В зависимости от условий производства режимы резания приходится рассчитывать так, чтобы удовлетворять одному из этих требований, если оно доминирует над остальными или несколькими. Следует отметить, что режим резания всегда определяется с учетом стойкости режущего инструмента. Период стойкости инструментов – время резания новым или восстановленным режущим инструментом (лезвием) от начала резания до отказа. Значения периода стойкости лезвийного режущего инструмента зависят от ряда факторов: условий производства, типа оборудования, конструкции инструмента, инструментального материала. Чем выше серийность производства, тем меньший период стойкости режущего инструмента следует принимать; чем выше стоимость станкоминуты используемого оборудования, тем меньший период стойкости инструмента следует принимать. Чем сложнее и дороже инструмент в изготовлении и наладке, тем больший период стойкости инструмента следует принимать; чем больше время, затрачиваемое на смену и восстановление инструмента, тем больший период стойкости следует принимать; чем выше стоимость материала инструмента, тем больший период стойкости следует принимать».

[2]

2.5.1 Определим режимы резания на операцию 005 Токарная.

Переход 1.

Глубина резания $t = 2,0$ мм. [26]

Подача $S_0 = 0,3$ мм/об. [26]

Скорость резания $V_0 = 180$ м/мин. [26]

$$V = V_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4,$$

где $K_1 = 1,0$; $K_2 = 1,0$; $K_3 = 1,0$; $K_4 = 0,95$. [26]

Тогда $V = 180 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,95 = 171$ м/мин.

Частота вращения

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 171}{3,14 \cdot 243} = 235,9 \text{ мин}^{-1}.$$

Принимаем $n_\phi = 200$ мин⁻¹.

Фактическая скорость резания

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 243 \cdot 200}{1000} = 152,6 \text{ м/мин.}$$

Минутная подача

$$S = S_0 \cdot n = 0,3 \cdot 200 = 60 \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{L_{px}}{S} = \frac{41}{60} = 0,68 \text{ мин.}$$

Переход 2.

Глубина резания $t = 2,0$ мм. [26]

Подача $S_0 = 0,3$ мм/об. [26]

Скорость резания $V_0 = 180$ м/мин. [26]

$$V = V_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4,$$

где $K_1 = 1,0$; $K_2 = 1,0$; $K_3 = 1,0$; $K_4 = 0,95$. [26]

Тогда $V = 180 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,95 = 171$ м/мин.

Частота вращения

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 180}{3,14 \cdot 172,6} = 332,1 \text{ мин}^{-1}.$$

Принимаем $n_{\phi} = 315$ мин⁻¹.

Фактическая скорость резания

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 172,6 \cdot 315}{1000} = 170,7 \text{ м/мин.}$$

Минутная подача

$$S = S_0 \cdot n = 0,3 \cdot 315 = 94,5 \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{L_{px}}{S} = \frac{52}{94,5} = 0,55 \text{ мин.}$$

Основное время за два перехода

$$T_0 = \sum T_{0i} = 0,68 + 0,55 = 1,23, \text{ мин.}$$

2.5.2 Определим режимы резания на операцию 015 Токарная.

Переход 1.

Глубина резания $t = 0,2$ мм. [26]

Подача $S_0 = 0,2$ мм/об. [26]

Скорость резания $V_0 = 180$ м/мин. [26]

$$V = V_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4,$$

где $K_1 = 1,0$; $K_2 = 1,0$; $K_3 = 1,0$; $K_4 = 0,95$. [26]

Тогда $V = 180 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,95 = 171$ м/мин.

Частота вращения

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 171}{3,14 \cdot 239} = 239,9 \text{ мин}^{-1}.$$

Принимаем $n_\phi = 315 \text{ мин}^{-1}$.

Фактическая скорость резания

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 239 \cdot 200}{1000} = 150,1 \text{ м/мин.}$$

Минутная подача

$$S = S_0 \cdot n = 0,2 \cdot 200 = 40 \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{L_{px}}{S} = \frac{40}{40} = 1,00 \text{ мин.}$$

Переход 2.

Глубина резания $t = 3,0$ мм. [26]

Подача $S_0 = 0,3$ мм/об. [26]

Скорость резания $V_0 = 180$ м/мин. [26]

$$V = V_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4,$$

где $K_1 = 1,0$; $K_2 = 0,5$; $K_3 = 0,5$; $K_4 = 0,95$. [26]

Тогда $V = 180 \cdot 1,0 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,95 = 42,3$ м/мин.

Частота вращения

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 42,3}{3,14 \cdot 179} = 80,1 \text{ мин}^{-1}.$$

Принимаем $n_{\phi} = 80 \text{ мин}^{-1}$.

Фактическая скорость резания

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 179 \cdot 80}{1000} = 45,0 \text{ м/мин.}$$

Минутная подача

$$S = S_0 \cdot n = 0,3 \cdot 80 = 24 \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{L_{px}}{S} = \frac{4}{24} = 0,17 \text{ мин.}$$

Переход 3.

Глубина резания $t = 0,30 \text{ мм. [26]}$

Подача $S_0 = 0,2 \text{ мм/об. [26]}$

Скорость резания $V_0 = 180 \text{ м/мин. [26]}$

$$V = V_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4,$$

где $K_1 = 1,0$; $K_2 = 0,5$; $K_3 = 0,5$; $K_4 = 0,95$. [26]

Тогда $V = 180 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,95 = 171 \text{ м/мин.}$

Частота вращения

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 42,3}{3,14 \cdot 179} = 80,1 \text{ мин}^{-1}.$$

Принимаем $n_{\phi} = 80 \text{ мин}^{-1}$.

Фактическая скорость резания

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 179 \cdot 80}{1000} = 45,0 \text{ м/мин.}$$

Минутная подача

$$S = S_0 \cdot n = 0,3 \cdot 315 = 94,5 \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{L_{px}}{S} = \frac{36}{94,5} = 0,38 \text{ мин.}$$

Основное время за три перехода

$$T_0 = \sum T_{0i} = 1,00 + 0,17 + 0,38 = 1,55, \text{ мин.}$$

2.5.3 Определим режимы резания на операцию 025 Фрезерная.

Глубина резания $t = 18$ мм. Количество ходов 1.

Подача $S_Z = 0,025$ мм/зуб. [26]

Подача на оборот шпинделя

$$S_0 = S_Z \cdot z = 0,025 \cdot 14 = 0,35, \text{ мм/об.}$$

Скорость резания

$$V = \frac{C_V D^q K_V}{T^m t^x S_0^y},$$

где $K_V = K_{MV} K_{UV} K_{LV}$.

$$K_{MV} = 1,0; K_{UV} = 1,0; K_{LV} = 1,0. [26]$$

$$K_V = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,0.$$

$$D = 81; C_V = 7,0; K_V = 0,5; q = 0,4; x = 0; y = 0,7; m = 0,2; T = 30. [26]$$

$$V = \frac{7,0 \cdot 81^{0,4}}{30^{0,2} \cdot 18^0 \cdot 0,35^{0,7}} \cdot 1,0 = 42,9, \text{ м/мин.}$$

Частота вращения

$$n = \frac{1000 \cdot 42,9}{3,14 \cdot 81} = 168,7, \text{ мин}^{-1}.$$

Принимаем $n = 160$ мин⁻¹.

$$\text{Тогда } V_\phi = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 81 \cdot 160}{1000} = 40,7, \text{ м/мин.}$$

Минутная подача

$$S = S_0 \cdot n = 0,35 \cdot 160 = 56, \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{n_{\text{омс}} \cdot L_{\text{px}}}{S} = \frac{1 \cdot 45}{56} = 0,80 \text{ мин.}$$

3 Проектирование станочного приспособления

«Самоцентрирующим называется устройство, опорные поверхности которого (кулачки) подвижны, и связаны между собой так, что могут одновременно и с равным перемещением сближаться к оси устройства или удаляться от нее, при этом кулачки надежно центрируют закрепляемую заготовку. Опорные поверхности самоцентрирующих устройств могут быть выполнены либо на кулачках, либо в виде сплошной цилиндрической поверхности тонкостенной втулки, упругодеформируемой под действием сил зажима. Для перемещения опорных поверхностей в радиальном направлении лужат различные механизмы, среди которых наибольшее распространение получили спирально-реечные, рычажные, клиновые, винтовые и механизмы с гидропластом. На основе этих механизмов созданы различные материалы самоцентрирующих патронов: трехкулачковые, двухкулачковые, цанговые и гидропластные. Основное преимущество самоцентрирующих устройств состоит в том, что при установке в них заготовки погрешность базирования оси базы равно нулю. Эти устройства, кроме гидропластных и цанговых, могут быть использованы для базирования заготовок как с обработанной, так и с необработанной базой. При необработанной базе может иметь место погрешность базирования из-за погрешности формы базы (овальности). Устройства с гидропластом применяют только для установки заготовок с базовыми поверхностями, обработанными по 6-9 качеству точности». [31]

3.1 Анализ существующей ситуации

Операционный эскиз представлен на рисунке 3.

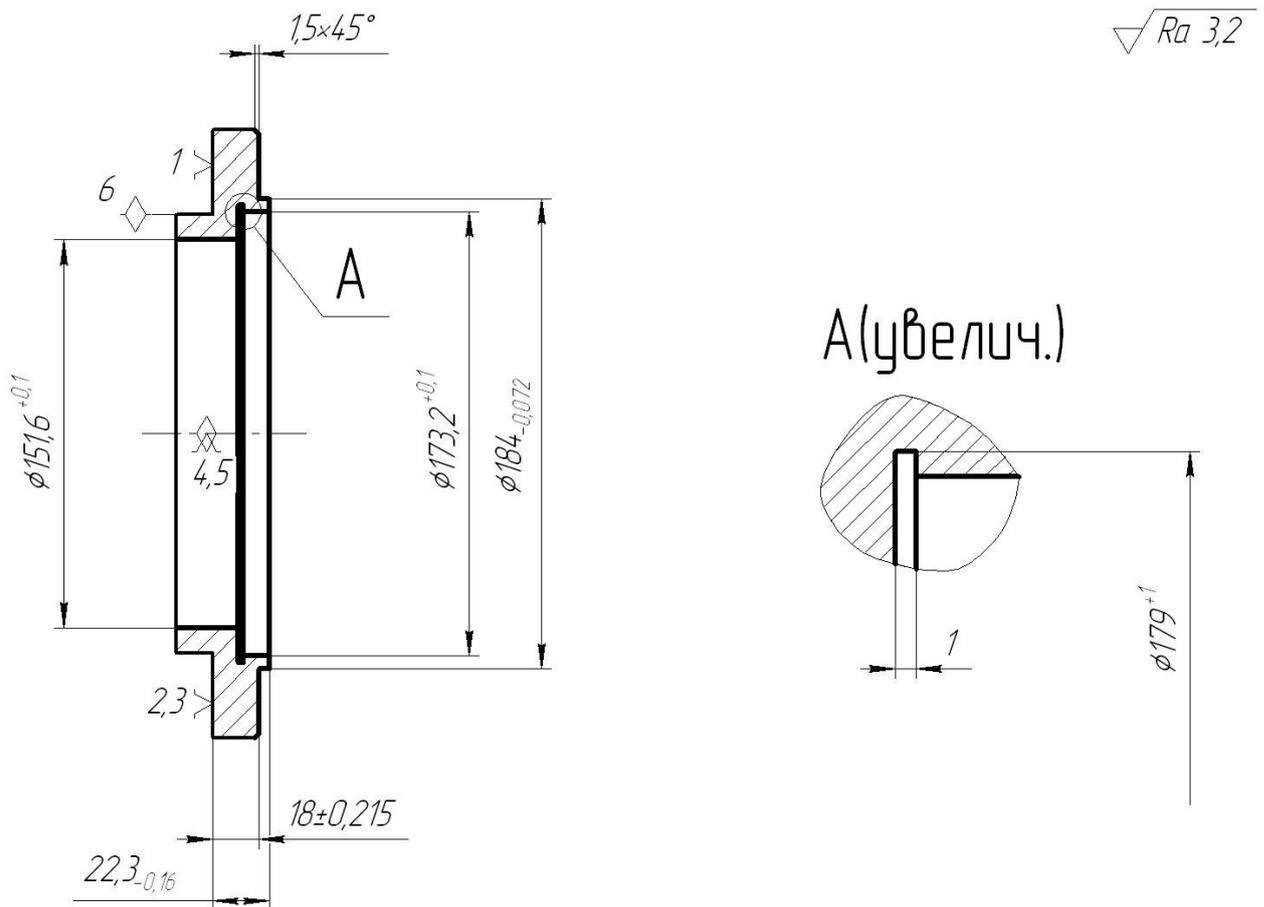


Рисунок 3 - Операционный эскиз

3.2 Определение сил резания

Определим тангенциальную P_z и радиальную составляющую силы резания P_y по формуле:

$$P_{y,z} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p, [14] \quad (3.1)$$

где C_p , n , x , y – коэффициенты и показатели степеней, учитывающие конкретные условия обработки; T – стойкость инструмента; t – глубина резания; S – подача; K_p – коэффициент учитывающий условия обработки.

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 0,3^{0,9} \cdot 0,2^{0,6} \cdot 150,1^{-0,3} \cdot 0,9 = 62,8, H$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,3^{1,0} \cdot 0,2^{0,75} \cdot 150,1^{-0,15} \cdot 0,9 = 114,1, H$$

3.3 Определение усилия зажима

На рисунке 4 показана схема фиксации заготовки.

Крутящий момент от силы резания стремится провернуть заготовку в кулачках и рассчитывается по формуле:

$$M_p = \frac{P_z \cdot d_1}{2}. \quad (3.2)$$

Этому препятствует момент от силы зажима, который рассчитывается по формуле:

$$M_3 = \frac{W \cdot f \cdot d_2}{2}, [14]$$

(3.3)

где W - суммарное усилие зажима, приходящееся на три кулачка, Н.

f - коэффициент трения на поверхности кулачка.

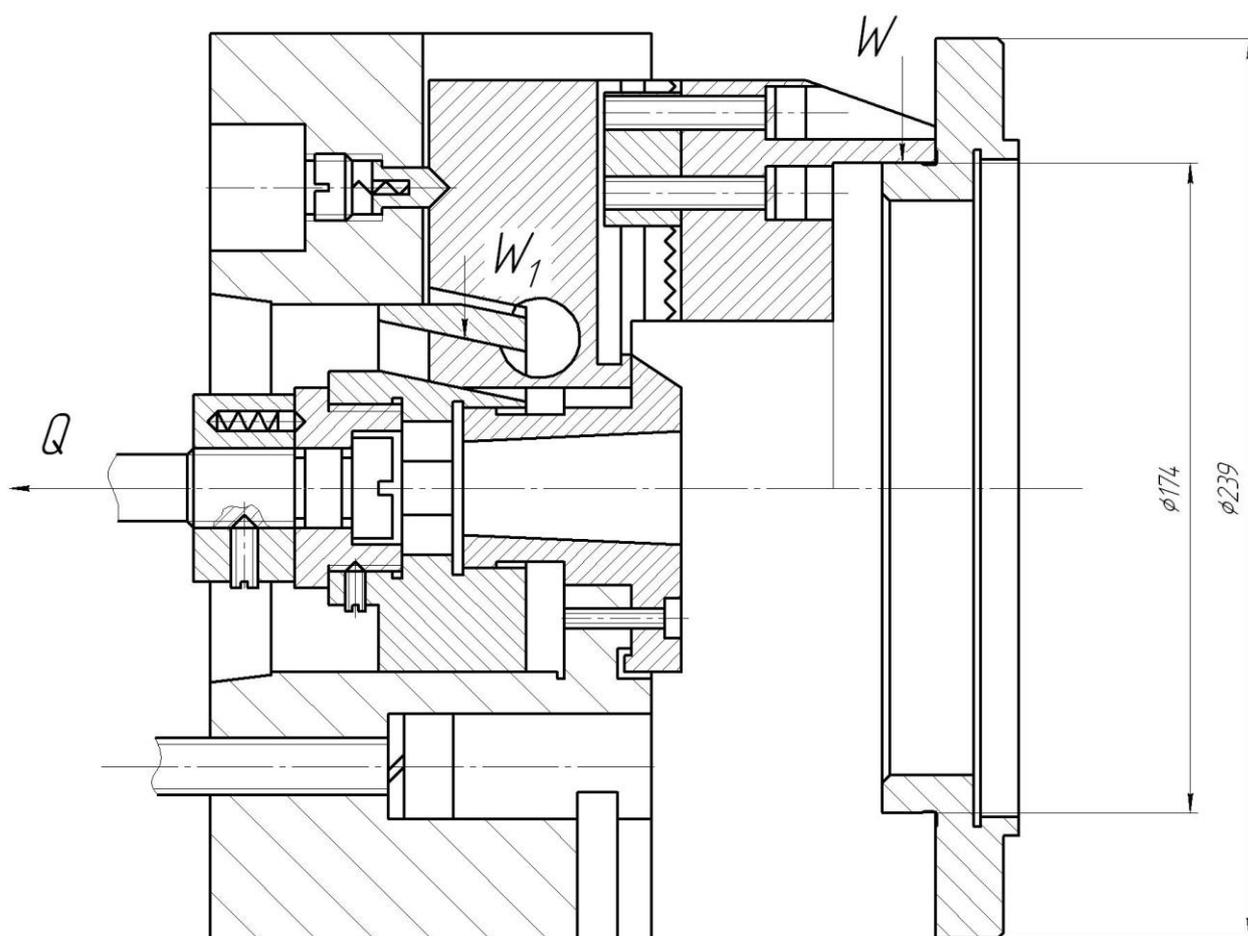


Рисунок 4 - Схема закрепления

Так как $M_p = M_3$, то определим необходимую силу зажима, препятствующую провороту заготовки.

$$W = \frac{2 \cdot K \cdot M_p}{f \cdot d_2} = \frac{2 \cdot K \cdot P_z \cdot d_1}{f \cdot d_2}. \quad (3.4)$$

Значение коэффициента запаса K , в зависимости от конкретных условий выполнения технологической операции, определяется по формуле.

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \quad (3.5)$$

где $K_0 = 1,5; K_1 = 1,0; K_2 = 1,0; K_3 = 1,0; K_4 = 1,0; K_5 = 1,0; K_6 = 1,0$. [14]

Коэффициент K равен:

$$K_{py} = 2,52; K_{pz} = 1,80$$

Коэффициент трения f зависит от состояния его рабочей поверхности. В нашем случае форма рабочей поверхности кулачка с кольцевыми канавками и $f=0,3$. Тогда получим:

$$W = \frac{2 \cdot K \cdot P_z \cdot d_1}{f \cdot d_2} = \frac{2 \cdot 1,8 \cdot 114,1 \cdot 239}{0,3 \cdot 174} = 1882,4, \text{ Н.}$$

Сила P_y стремится вывернуть заготовку из кулачков, создавая момент:

$$M_p = P_y \cdot l. \quad (3.6)$$

Данному моменту сопротивляется момент от силы зажима:

$$M_3 = T \cdot \frac{2}{3} \cdot d_2, \quad (3.7)$$

Определим необходимую силу зажима по формуле:

$$W = \frac{1,5 \cdot K \cdot P_y \cdot l}{f \cdot d_2} = \frac{1,5 \cdot 2,52 \cdot 62,7 \cdot 13}{0,3 \cdot 174} = 59,1, \text{ Н.}$$

Принимаем максимальное усилие $W = 1882,4$ Н.

Величина усилия зажима W_1 увеличивается по сравнению с усилием W и определяется по формуле:

$$W_1 = \frac{W}{1 - \frac{3 \cdot l_k}{H_k} \cdot f}. \quad (3.8)$$

Подставив исходные данные в формулу (3.8) получим:

$$W = \frac{1882,3}{1 - \frac{62}{80} \cdot 0,1} = 2040,4, \text{ Н.}$$

3.4 Определение зажимного механизма

Для расчета зажимного механизма определим усилие Q по формуле:

$$Q = \frac{W_1}{i_c}. \quad (3.9)$$

Передаточное отношение по силе зажимного механизма для клинового механизма равно:

$$i = \frac{1}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + \operatorname{tg} \varphi_1}. \quad (3.10)$$

$$i = \frac{1}{\operatorname{tg}(15 + 5^{\circ}50') + \operatorname{tg} 5^{\circ}50'} = 2,1.$$

Тогда

$$Q = \frac{2040,4}{2,1} = 971,6, \text{ Н.}$$

3.5 Расчёт силового привода

Диаметр поршня в рабочей штоковой полости рассчитывается по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{1,27 \cdot Q}{P} + d^2}, \quad (3.11)$$

где $P=0,4$ МПа для воздуха;

d – диаметр штока.

Тогда получим:

$$D = \sqrt{\frac{1,27 \cdot 971,6}{0,4} + 60^2} = 81,8, \text{ мм.}$$

Для увеличения возможностей приспособления принимаем диаметр поршня 90 мм.

4 Проектирование режущего инструмента

«Современное машиностроение характеризуется повышением требований к геометрическим параметрам качества изготовления поверхностей деталей – точности получаемых размеров, отклонением форм, взаимному расположению поверхностей, их волнистости и шероховатости. Именно эти параметры определяют контактные деформации и жесткость стыков, характеризуют трение и износ поверхностей, герметичность соединений, прочность сцепления с покрытием и т. п. При этом необходимо обеспечить не только заданные требования качества поверхности, но и их стабильность, которая определяется характеристиками параметров геометрии поверхности детали, задаваемыми законами их распределения. Геометрия поверхности детали определяется ее топографией. Математическое описание формирования топографии поверхности при механической обработке затрудняется большим количеством влияющих на нее параметров. В то же время математическое моделирование операций механической обработки по сравнению с экспериментальными исследованиями позволяет получать большее количество информации и сократить время на исследования. Эти преимущества приводят к широкому внедрению моделирования в технологические расчеты. Однако разнородность существующих моделей технологических систем и процессов, а также отсутствие единого подхода к их разработке значительно затрудняет внедрение этих моделей». [19]

4.1 Анализ исходных данных

Эскиз операции представлен на рисунке 5.

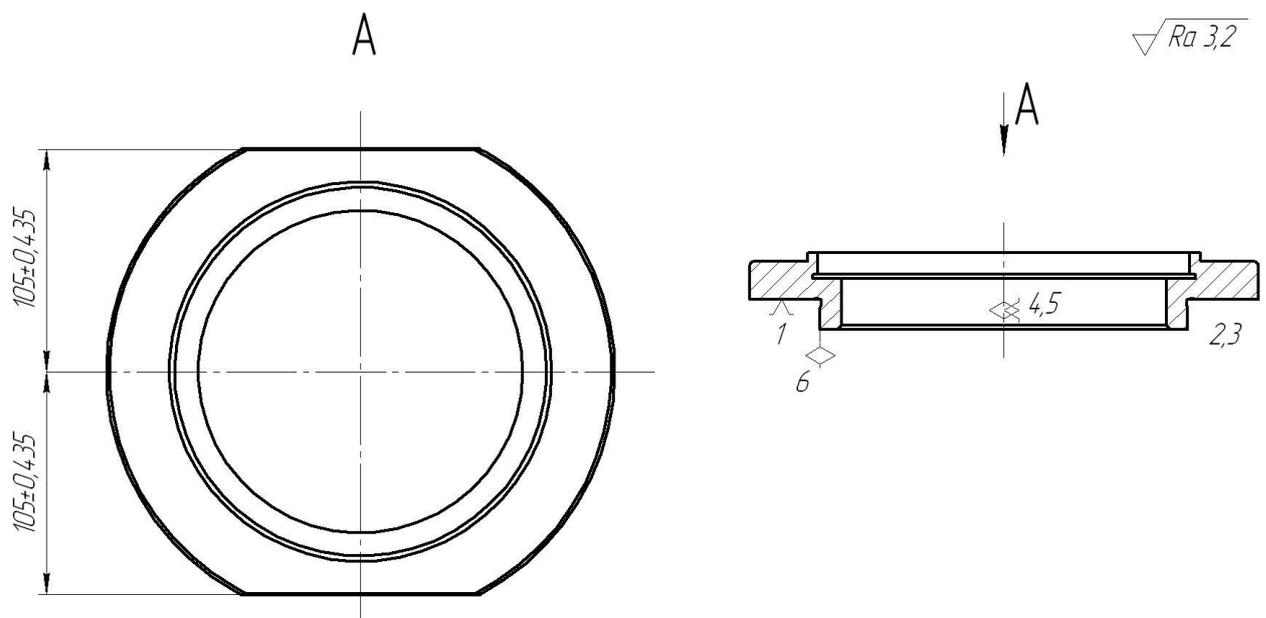


Рисунок 5 – Эскиз фрезерной операции

4.2 Расчет дисковой фрезы

Диаметр посадочного отверстия определяется по формуле

$$d_0 = 5,28 \cdot h^{0,48} \cdot b^{0,15},$$

где $h = 18$ мм – глубина профиля заготовки;

$b = 3$ мм – ширина профиля заготовки.

$$d_0 = 5,28 \cdot 18^{0,48} \cdot 3^{0,15} = 24,9, \text{ мм.}$$

Принимаем стандартное значение диаметра $d_0 = 27$ мм.

Определим приблизительное значение наружного диаметра

$$d_a \approx 2,5 \cdot d_0 = 2,5 \cdot 27 = 67,5, \text{ мм.}$$

Рассчитаем высоту профиля зуба

$$h_1 = h + (1...3) = h + 2,5 = 18 + 2 = 20, \text{ мм.}$$

Определим число зубьев фрезы [30]

$$z = \frac{\pi \cdot d_a}{A \cdot h_1},$$

где A – коэффициент, который для черновых фрез равен 1,8...2,5, для чистовых 1,3...1,8.

Принимаем $A = 1,8$ мм.

$$\text{Тогда } z = \frac{3,14 \cdot 67,5}{1,8 \cdot 20} = 12,89.$$

Принимаем $z = 14$.

«Значение переднего угла γ выбирают положительным в зависимости от обрабатываемого материала, что способствует улучшению процесса резания. При этом для чистового фрезерования необходим коррекционный расчет размеров профиля фрезы. Обычные фасонные фрезы делают с $\gamma=0$. Значение заднего угла α выбирают в пределах $8...15^\circ$, в точке при вершине профиля фрезы задний угол α_b обычно берут $10...12^\circ$ ». [30]

Принимаем $\alpha_b = 10^\circ$.

Задние углы α_N в сечениях, нормальных к боковым сторонам профиля фрезы, определяют для любой точки i_p профиля фрезы по формуле

$$\text{tg } \alpha_N = \frac{R}{R_i} \text{tg } \alpha_\epsilon \cdot \sin \tau,$$

где τ – угол между касательной к профилю фрезы в рассматриваемой точке i_p и плоскостью, перпендикулярной к ее оси;

R_i – радиус рассматриваемой точки;

R – наружный радиус фрезы. [29]

$$\text{Величина затылования } k = \frac{\pi \cdot d_a}{z} \text{tg } \alpha_\epsilon.$$

$$k = \frac{3,14 \cdot 67,5}{14} \operatorname{tg} 10^\circ = 2,7, \text{ мм, принимаем } k = 3 \text{ мм.}$$

Центровальный угол канавки, необходимый для выхода затыловочного инструмента $\psi = \frac{360^\circ}{6 \cdot z}$, если $h_1 < 15$ мм; $\psi = \frac{360^\circ}{4 \cdot z}$, если $h_1 > 15$ мм.

$$\text{В нашем случае } \psi = \frac{360^\circ}{4 \cdot 14} = 6,43^\circ = 6^\circ 26'.$$

Радиус закругления впадины между зубьями фрезы

$$r = \left(\frac{d_a}{2} - h_1 - k \right) \sin(\psi_1 / 2).$$

$$r = \left(\frac{67,5}{2} - 20 - 3 \right) \sin 5^\circ = 0,96 \approx 1, \text{ мм.}$$

Определим высоту зуба

$$H = h_1 + k + r.$$

$$H = 16 + 3 + 1 = 20, \text{ мм.}$$

Уточним наружный диаметр фрезы

$$d_a = d_0 + 2m + 2H,$$

где $m = 3$ мм – толщина фрезы.

$$d_a = 27 + 2 \cdot 3 + 2 \cdot 24 = 81, \text{ мм.}$$

«Затылование фрез можно проводить по различным кривым: логарифмической спирали, спирали Архимеда и дуге окружности, а также по прямой. При затыловании по логарифмической спирали задний угол не изменяется, при затыловании по спирали Архимеда возрастает, а при затыловании по дуге окружности уменьшается примерно на 1° ; при затыловании по прямой резко падает. Обычно применяют затылование по спирали Архимеда, так как это технологически выполняется проще, чем при других кривых (прямую практически не применяют). Архимедова спираль

получается в результате двух равномерных движений – поступательного и вращательного, т. е. имеет место простота при изготовлении кулачков к токарно-затыловочным станкам, на которых проводится затылование». [30]

4.3 Исследования методов нанесения износостойких покрытий на режущий инструмент

На сегодняшний день существует множество методов нанесения износостойких покрытий на режущий инструмент. Эти методы можно разделить на две группы:

- 1) методы химико-термического осаждения из газовой фазы (англ. Chemical Vapor Deposition) с сокращенной аббревиатурой CVD;
- 2) методы физического осаждения покрытия в вакууме (англ. Physical Vapor Deposition) с сокращенной аббревиатурой PVD.

Технологиями CVD создаются различные по химическому составу износостойкие слои покрытия толщиной до сотен микрометров.

Выбор метода и оборудования для CVD происходит в несколько этапов. На первом этапе определяются функциональные свойства, которыми должно обладать покрытие [1]. На втором этапе формулируются свойства верхнего слоя покрытия, где формулируются ограничения состава и его возможным примесям и так далее. На третьем этапе выбирают технологию нанесения данного покрытия, схему процесса, а также технологическое оборудование для нанесения. [2]

Недостатком химического осаждения является то, что наибольшее налипание слоя покрытия происходит на заостренных участках инструмента, одним из которых является режущая кромка, что приводит к ее скруглению и затуплению. [28]

Процессы, протекающие при CVD идут при значительных температурах (1000 °C и выше), что значительно снижает перечень материалов, на которые возможно нанести покрытия этими методами.

Методы PVD отличаются от методов химического осаждения более низкими температурами реализации (не более 600 °С), что позволяет их использовать не только для нанесения покрытий на тугоплавкие материалы, которыми являются, например, твердые сплавы, но и на инструментальные стали и даже на конструкционные материалы. Методы PVD характеризуются равномерностью нанесения покрытий по всей площади изделий, что делает их более привлекательными для упрочнения режущего инструмента с острой режущей кромкой. Также эти методы характеризуются более тонкой толщиной формируемого покрытия, что приводит к его более быстрому разрушению. [34]

Основой нанесения покрытий методами PVD заключается в том, что создается испарение или распыление вещества в вакуумной камере, где находится покрываемое изделие. Далее в камеру подается реакционный газ. В результате реакции распыленного вещества и газа на поверхность изделия конденсируется получаемое покрытие. [34, 35]

Из методов PVD наибольшее распространение получили конденсация ионной бомбардировкой (КИБ), ионное плакирование и магнетронное распыление.

Методы PVD более выгодны для нанесения покрытий на режущий инструмент в отличие от методов CVD ввиду более эффективного управления процессами нанесения и, соответственно, управлением свойствами формируемых покрытий. [14]

Авторами [12] описано проведение трибологических испытаний образцов с многослойными покрытиями AlN/TiN , TiN/CrN , AlN/CrN , нанесенными на инструмент из быстрорежущей стали Р6М5. Покрытие наносилось методом физического осаждения из паровой фазы (PVD).

Толщина покрытий, включая адгезионный слой, составляла 3...3,5 мкм. В таблице 2 представлены сравнительные результаты индентирования испытанных покрытий.

Таблица 2 - Сравнительные результаты индентирования испытанных покрытий

Покрытие	Скретч-тест, нагрузка, Н		Твердость по шкале Викерса, HV	Модуль упругости Е, ГПа	Твердость Н, ГПа	Толщина покрытий h, мкм
	Lc1	Lc2				
<i>TiN/CrN</i>	12,5/14,17	12,34/14,09	3315/3265	411/406	35/34	3...3,5
<i>AlN/TiN</i>	10,66/7,82	8,42/4,29	3220/3245	388/371	34/34	
<i>AlN/TiN</i>	8,64/7,82	6,05/4,00	3950/2700	355/346	31/28	
<i>TiN</i>	-	-	2800	350	28	-

«Стойкость покрытий к отслоению выбиралась по точкам Lc1 и Lc2, где происходило полное разрушение, либо наблюдались множественные очаги разрушения. Покрытие *TiN/CrN*, нанесенное на сталь 40X, имело самое высокое значение адгезионной прочности. По сравнению с другими покрытиями, критическая нагрузка в точке Lc1 составила 14,09 Н, а в точке Lc2 14,17 Н. Тоже покрытие, нанесенное на подложку из стали Р6М5, имеет адгезионную прочность 12,34 Н и 12,57 Н соответственно, что на 10 % меньше чем для стали 40X. Измерения критических нагрузок адгезионной прочности для покрытий *AlN/CrN* и *AlN/TiN* на подложках из разных материалов показали обратную тенденцию, а точнее критические нагрузки в точках Lc1 – Lc2 выше для быстрорежущей стали Р6М5 и ниже для стали 40X. Однако критические нагрузки для покрытия *TiN/CrN* значительно превышают аналогичные показатели для покрытий *AlN/CrN* и *AlN/TiN*, а, следовательно, покрытие *TiN/CrN* является более стойким к отслоению и сколам». [12]

«При испытании покрытий на трибометре учитывались максимальный и средний коэффициенты трения. Максимальные значения коэффициента трения на этапе притирки при испытании образцов с покрытиями составили, для *AlN/TiN* — 0,74, а для *AlN/CrN* и *TiN/CrN* — 0,65. После этапа притирки покрытия наблюдался стационарный режим, для которого значения коэффициента трения составили: для покрытия *AlN/CrN* - 0,59, для покрытия

AlN/TiN - 0,64, для покрытия TiN/CrN - 0,70 и для образца без покрытия - 0,81». [12]

«Проведены экспериментальные исследования твердости, модуля упругости, коэффициента трения многослойных наноразмерных покрытий TiN/CrN , AlN/CrN и AlN/TiN . Сравнение полученных характеристик многослойных покрытий с традиционным (TiN) показало увеличение твердости на 2...25 %, при этом твердость многослойных наноструктурных покрытий оказалась в 3,5...6,3 раза выше твердости термообработанных сталей 40X и P6M5. Коэффициент трения покрытий составил 0,59...0,7, что на 10...25 % ниже коэффициента трения материала испытываемых образцов без покрытия. Результаты измерений позволяют рекомендовать покрытия к использованию в упрочнении инструментов и оснастки для холодной листовой штамповки, режущего инструмента, в парах трения, а так же прочих узлов и механизмов, где требуется снижение износа рабочих поверхностей». [12]

В работе [30] проводились экспериментальные исследования покрытий TiN , $TiCrN$, $TiCrAlN$, $TiCrZrN$, нанесенные на резбонарезные пластины H13A фирмы Sandvik Coromant. Инструмент проходил испытания при точении заготовок из стали 30ХГСА при скорости резания $V = 80$ и 120 м/мин.

Интенсивность износа инструмента определяли по формуле:

$$J = \frac{h_3}{L} \times 10^{-4},$$

где h_3 – величина фаски износа инструмента по задней поверхности, мм;

L – длина пути резания, мм.

Результаты исследований представлены на рисунке 6.

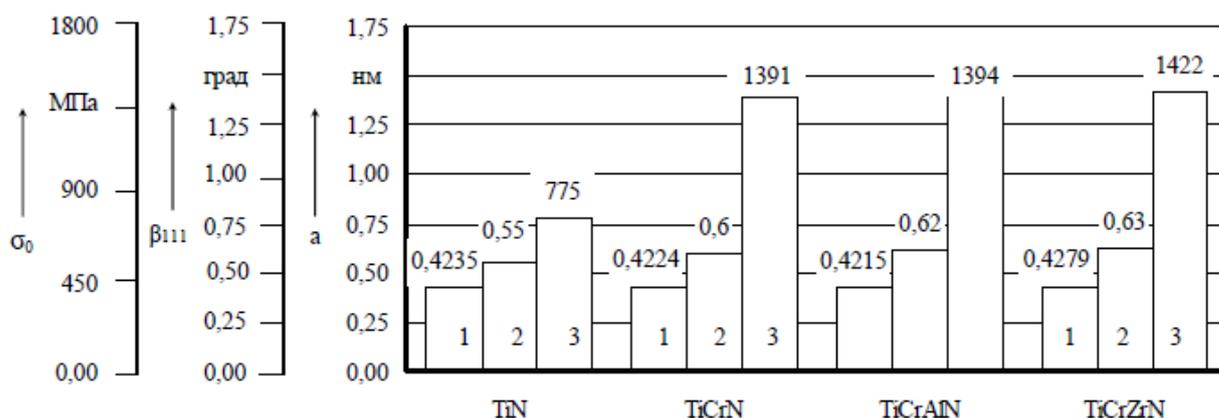


Рисунок 6 - Влияние состава покрытия на параметры структуры: 1 – период кристаллической решетки a ; 2 – полуширина рентгеновской линии β_{111} ; 3 – остаточные напряжения σ_0 .

Из рисунка 6 видно, что многоэлементные покрытия, такие как $TiCrN$, $TiCrAlN$, $TiCrZrN$ имеют более высокие значения остаточных сжимающих напряжений по сравнению с TiN . Это способствует более крепким связям среди звеньями и высокой стойкости покрытий с появлению трещин.

В свою очередь авторы [30] отмечают, что многоэлементные покрытия $TiCrN$, $TiCrAlN$, $TiCrZrN$ имеют обладают большей микротвердостью в отличие от TiN , а покрытие TiN обладает большим коэффициентом сцепляемости с основной, что способствует меньшему уровню отслоения покрытия от основы.

В работе [30] были исследованы и контактные характеристики процесса резания. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Влияние составов покрытий на их механические свойства

Покрытие	Модуль Юнга E , ГПа	Коэффициент интенсивности напряжений K_{IC}	Коэффициент отслоения K_0	Микротвердость H_μ , ГПа
$TiCrZrN$	354	4,10	1,25	36,5
$TiCrAlN$	348	4,05	1,25	34,5
$TiCrN$	334	3,80	1,2	33,1
TiN	287	3,70	1,1	26,4

Также отмечается, что многоэлементные покрытия имеют увеличенный критический коэффициент интенсивности напряжений и больший модуль

Юнга, что способствует увеличению сопротивляемости покрытия хрупкому разрушению и повышению энергии связей между атомами соответственно. [30]

Самые большие усилия резания наблюдались у инструмента без покрытия. Нанесение покрытия TiN способствует снижению сил резания на 6...8%. При переходе от одноэлементного покрытия к многоэлементным наблюдался рост составляющих сил резания на 2...5%. [36]

Влияние состава покрытия на степень износа режущего инструмента представлено на рисунке 7.

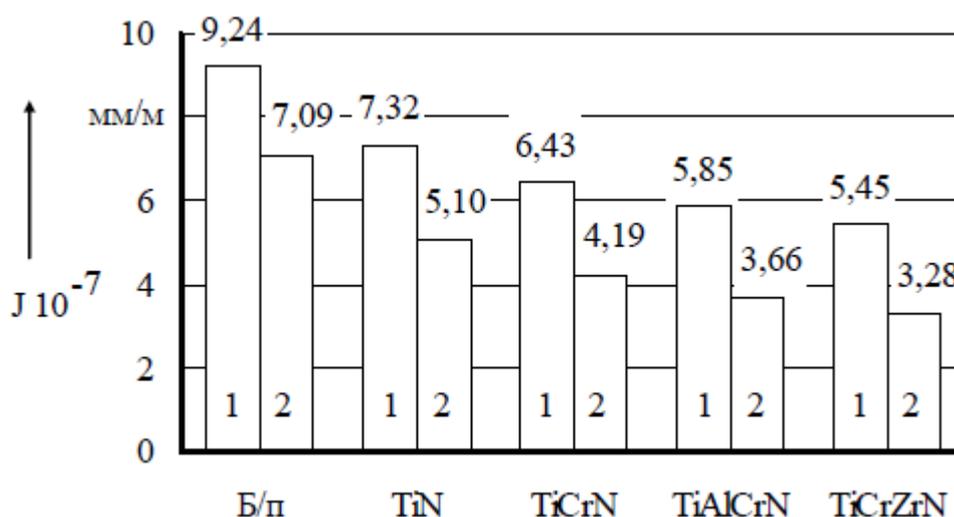


Рисунок 7 – Влияние химического состава покрытий на интенсивность износа инструмента J

Инструмент с покрытием в отличие от инструмента без покрытия имеет меньшую интенсивность износа в 1,4...2,2 раза, причем при увеличении скорости резания этот эффект увеличивается. Наилучшие показатели по интенсивности износа выявились у покрытия $TiCrZrN$. [30]

Авторами [25] проводились исследования токарных резцовых резцов с твердосплавными пластинами. На пластины наносились следующие покрытия: TiN , $TiCrN$, $TiCrZrN$. Внимание акцентировалось на величину пластической деформации стружки, т.к. этот фактор зависит от теплового состояния режущего инструмента. Измеряли микротвердость стружки. По

этим результатам получены регрессионные законы, представленные в таблице 4.

Таблица 4 – Коэффициенты регрессии распределения микротвердости стружки при нарезании резьбы по ширине стружки

Покрытие	Величина достоверности аппроксимации R^2	Коэффициенты регрессии $H_\mu = a \times b_c^k$.	
		k	a
<i>TiCrZrN</i>	0,90	0,17	214
<i>TiCrN</i>	0,90	0,19	225
<i>TiN</i>	0,86	0,15	259
Без покрытия	0,85	0,12	301

Авторами выявлено, что при работе инструмента с износостойкими покрытиями микротвердость стружки меньше, чем у инструмента без покрытия, что говорит о ее меньшей деформации в связи с меньшей силовой нагрузкой на режущий клин. Причем снижение микротвердости стружки больше возле режущего клина, а меньше на противоположной ее стороне.

Также были в [25] исследованы температурные поля, возникающие при обработке. Наименьшие температуры наблюдались при работе инструмента с покрытием TiN. Но у инструментов с покрытиями *TiCrN*, *TiCrZrN* в отличие от образцов без покрытия снижение температур было все же заметно.

В таблице 5 представлены результаты исследования теплового баланса процесса резбонарезания резцами с различными покрытиями при профильной схеме резания.

Таблица 5 - Результаты исследования теплового баланса процесса резбонарезания резцами с различными покрытиями

Покрытие	Тепловой баланс P, %			Мощность теплового потока $Q \times 10^6$, Вт
	Заготовка	Инструмент	Стружка	
<i>TiCrZrN</i>	11	23	66	65,74
<i>TiCrN</i>	11	25	64	63,67
<i>TiN</i>	12	26	62	59,62
Без покрытия	13	34	53	69,57

Таким образом, авторами [25] сделан вывод о положительном эффекте нанесения многоэлементных покрытий на режущий инструмент, не смотря на затратность процесса.

Исследователями [29] отмечается, что при переходе от однокомпонентных покрытий к двухкомпонентным износостойкость режущего инструмента повышается в 1,5 – 4 раза. А при переходе от двухкомпонентных к трехкомпонентным покрытиям стойкость повышается в 1,5 – 1,7 раза.

Авторами [18] отмечается, что разрушение покрытия, нанесенного на режущий инструмент характеризуется появлением и ростом сетки из трещин. Поэтому эффективными мероприятиями для увеличения износостойкости инструмента можно сгруппировать так:

1) мероприятия по снижению величины переменных тепловых и силовых нагрузок;

2) мероприятия по снижению адгезионных связей материалов покрытия и обрабатываемого материала (это достигается при кардинальном отличии кристаллохимического строения материала покрытия и обрабатываемого материала; при многослойном покрытии этими свойствами должен обладать самый верхний слой);

3) повышение диффузионных и адгезионных связей между материалами покрытия и основы инструмента (при многослойном покрытии самый нижний слой, прилегающий к основе, выполняют максимально идентичным по кристаллохимическому строению с основной);

4) повышение трещиностойкости и прочности материала покрытия.

Переходные (внутренние слои) многослойного покрытия можно делать из соединений, имеющих повышенную хрупкость, которые не совместимы по кристаллохимическим свойствам с инструментальным материалом, например, Si_3N_4 , HfB_2 , Al_2O_3 , Cr_2O_3 . Кроме этого, данные соединения имеют

другие важные характеристики для комплексного покрытия, такие как, например, термодинамическая устойчивость или повышенная твердость.

В работе [11] представлены результаты испытаний образцов с нанопокрытиями, у которых размер зерен менее 100 нм. Исследования проводились при точении заготовок из стали 45. Результаты приведены в таблице 6.

Таблица 6 - Результаты испытаний инструмента с нанопокрытиями

Пластина + износостойкое покрытие	Износ по передней поверхности, мм	Износ по задней поверхности, мм	Время обработки, мин
Исходный T5K10 без покрытия	0,732	0,150	1
	0,834	0,205	4
	0,935	0,232	7
	-	0,463	10
T5K10 + <i>TiAlN</i>	-	0,117	1
	0,392	0,158	4
	0,406	0,222	7
	0,427	0,309	10
	0,510	0,344	13
	0,634	0,476	16
T5K10 + <i>TiN</i> + <i>TiAlN</i>	0,075	-	1
	0,116	0,289	4
	0,166	0,398	7
	0,124	0,454	10
	0,172	0,475	13
	0,199	0,481	16
	0,228	0,502	19
	0,268	0,516	22
	0,288	0,570	25
	0,640	0,577	28

На рисунке 8 [11] представлена зависимость износа задней поверхности инструмента от времени его работы при точении стали 45.

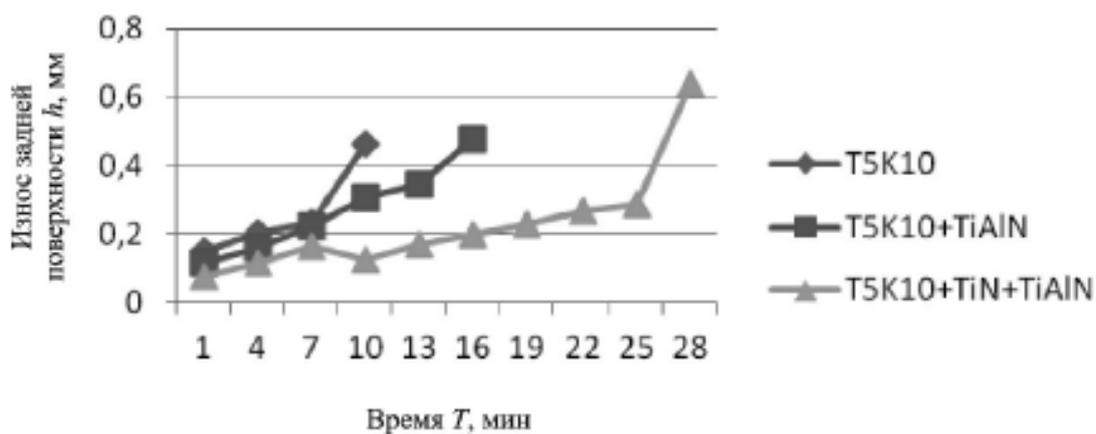


Рисунок 8 - Зависимость износа задней поверхности инструмента от времени его работы при точении стали 45

Из рисунка 8 [11] видно, что быстрее всего подвергался износу инструмент без покрытия, а наибольшую стойкость показал инструмент с покрытием $TiN + TiAlN$.

Наибольший эффект по износостойкости инструмента с износостойким покрытием достигается при получистовом и чистовом фрезеровании с умеренными подачами. [20]

Авторами [21] описан способ получения износостойкого покрытия на твердосплавном режущем инструменте. Покрытие наносилось вакуумно-плазменным методом. Пластины из твердого сплава МК8 помещали в вакуумную камеру установки «Булат-6». В эту же камеру помещали три катода и располагали их в одной плоскости в горизонтальном положении. В камере создают давление $6,65 \times 10^{-3}$ Па. На изделие подают отрицательное напряжение равное 1,1 кВ.

Сначала при токе дуги на катоде 100 А в камере проводят ионную очистку и разогревают пластины до температуры 560...580 °С. После этого в камеру подают реакционный газ азот при отрицательном напряжении 160 В. Таким образом, с помощью трех катодов формируют на изделии износостойкое покрытие.

Далее [21] проводились испытания пластин с покрытиями, нанесенными согласно описанному способу. Результаты представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты испытания режущих пластин с покрытиями

Материал покрытия	Химический состав покрытия (соотношение металлических компонентов), %					Микро-твердость, ГПа	Стойкость, мин
	<i>Ti</i>	<i>Si</i>	<i>Al</i>	<i>Nb</i>	<i>Mo</i>		
<i>TiSiAlNbMoN</i>	63,56	0,94	10,11	21,47	3,92	46,7	81
<i>TiSiAlN</i>	82,75	1,25	16,0	-	-	43,1	64
<i>TiSiN</i>	98,75	1,25	-	-	-	36,5	34

Из таблицы 7 видно, что стойкость многокомпонентного покрытия, нанесенного описанным способом, выше, чем у остальных образцов.

В источнике [19] проводились аналогичные испытания пластин с покрытиями. Результаты представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты испытания режущих пластин с покрытиями

Материал покрытия	Химический состав покрытия (соотношение металлических компонентов), %					Микро-твердость, ГПа	Стойкость, мин
	<i>Ti</i>	<i>Si</i>	<i>Al</i>	<i>Nb</i>	<i>Fe</i>		
<i>TiSiAlNbFeN</i>	60,53	0,96	10,19	26,94	1,38	46,3	76
<i>TiSiAlN</i>	82,75	1,25	16,0	-	-	43,1	64
<i>TiSiN</i>	98,75	1,25	-	-	-	36,5	34

Авторами [22] отмечается, что в качестве химических методов осаждения покрытий на режущий инструмент применяются высокотемпературный и среднетемпературный методы химического осаждения (HT-CVD и MT-CVD соответственно), а также метод химического осаждения с плазменным сопровождением (PA-CVD). А в качестве физических методов осаждения применяются методы электронно-лучевого испарения, магнетронного распыления и вакуумно-дугового испарения.

При выборе методов [22] отмечается, что ввиду высокой производительности и малой чувствительности к незначительным

отклонениям технологических параметров наибольшее распространение получили методы физического осаждения (PVD).

Технология нанесения покрытий на режущий инструмент условно включает в себя следующие пять стадий [22]:

- 1) загрузка камеры и откачка воздуха (на этой стадии в камеру загружаются пластины и заготовки, а далее в камере создается вакуум);
- 2) очистка пластин (сначала пластины очищаются методом ионного травления в газовом разряде, а далее осуществляется ионная бомбардировка пластин для их нагрева до рабочих температур);
- 3) нанесение покрытия (подается электрический ток, и ионы из газовой фазы осаждаются на поверхности изделий);
- 4) охлаждение камеры, изделий и пластин;
- 5) операции контроля нанесенного покрытия.

Авторами [5] разработано износостойкое покрытие для инструмента, работающего на высоких скоростях. В состав этого покрытия вошли титан (*Ti*), цирконий (*Zr*), гафний (*Hf*), ванадий (*V*), ниобий (*Nb*) и тантал (*Ta*). Наносят покрытие методом вакуумно-дугового или магнетронного распыления катода в атмосфере атомарного азота. Разработанное покрытие [5] представляет собой сложный нитрид (*Ti-Zr-Hf-V-Nb-Ta*)N. В таблице 9 представлены экспериментальные исследования температурной зависимости трибологических свойств покрытия.

Таблица 9 - Исследования температурной зависимости трибологических свойств покрытия

Температурная зависимость трибологических свойств покрытия (<i>Ti-Zr-Hf-V-Nb-Ta</i>)N от температуры				
Температура испытания, °C	Коэффициент трения, μ		Интенсивность износа, $\text{мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$	
	Начальный	В ходе испытания	Конртело	Покрытие
20	0,683	1,063	$3,84 \times 10^{-6}$	$4,1 \times 10^{-5}$
500	1,15	0,827	$7,36 \times 10^{-6}$	$2,12 \times 10^{-5}$
700	0,725	0,585	$2,47 \times 10^{-6}$	$2,71 \times 10^{-5}$

Авторами [5] сделан вывод, что покрытие демонстрирует высокие значения стойкости при повышенных температурах, а с ростом температуры значение коэффициента трения снижается.

В работе [10] разработан способ комбинированного упрочнения режущего инструмента, который приводит к заточке инструмента. Этот способ состоит из азотирования и осаждения покрытия. На первом этапе режущий инструмент помещают в камеру, нагревают путем бомбардировки атомами аргона и выдерживают в среде азотной плазмы. Далее с помощью магнетронного распылительного устройства в плазме титана, азота и аргона синтезируют на поверхности заготовки износостойкое покрытие.

На рисунке 9 представлена схема установки для реализации способа [10]. Это устройство состоит из вакуумной камеры 1, в которую помещают заготовку для нанесения покрытия (режущий инструмент) 2. Устройство имеет мишень 3 магнетронного ускорительного устройства, а также плоскую сетку 4 на боковой стенке вакуумной камеры. Внутри камеры находится анод 5 и криволинейная сетка 6. Также устройство имеет источник питания разряда 7 и пирометр 8. На схеме обозначены еще плазма 9, слой объемного заряда 10, быстрые нейтральные атомы 11, ионы 12 и молекулы газа 13.

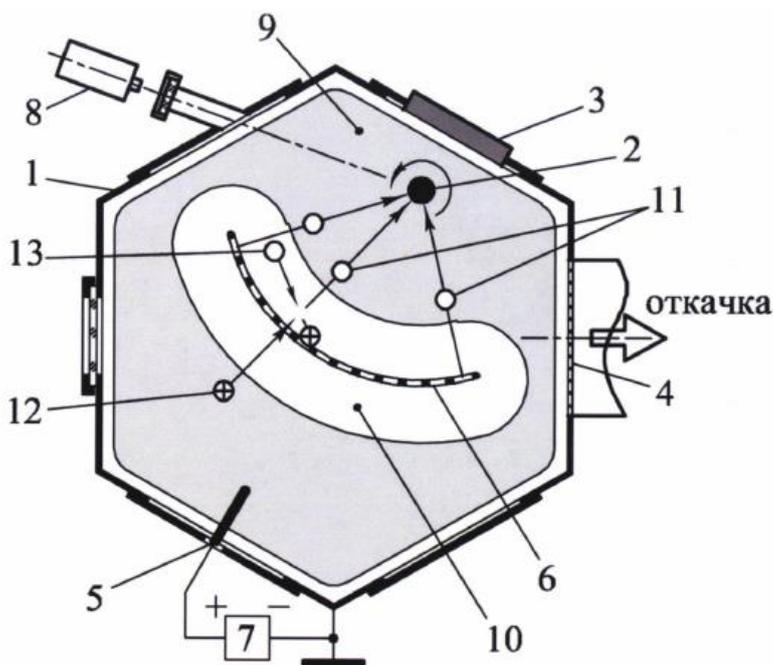


Рисунок 9 – Устройство для нанесения покрытия

«Способ комбинированного упрочнения режущего инструмента 2 заключается в заполнении газовой плазмой 9 рабочей вакуумной камеры 1 с установленным внутри нее режущим инструментом 2, нагреве и выдержке режущего инструмента 2 в азотной плазме 9, и синтез на его поверхности из плазмы износостойкого покрытия, отличающийся тем, что сначала режущий инструмент 2 нагревают и затачивают посредством бомбардировки пучком быстрых атомов аргона 11 в аргоновой плазме 9, затем в рабочую вакуумную камеру 1 подают азот и нагрев и выдержку режущего инструмента 2 проводят в азотной плазме 9 при температуре эффективной термодиффузии азота 500°С, поддерживаемой посредством бомбардировки пучком быстрых молекул азота 11, затем в рабочую вакуумную камеру 1 подают смесь аргона и азота и с помощью магнетронного распылительного устройства в плазме 9 титана, азота и аргона синтезируют на поверхности режущего инструмента 2 износостойкое покрытие из нитрида титана при бомбардировке его в процессе синтеза импульсными пучками быстрых атомов аргона 11 и быстрых молекул азота 11». [10]

Авторами [6] обозначается, что для инструмента, имеющего прерывистый характер при резании наиболее целесообразно применять для формирования износостойкого покрытия метод осаждения из газовой фазы. Из-за наличия переходной зоны данный метод обеспечивает прочную связь покрытия с основой. Также эффективно нанесение многослойного покрытия $TiC/TiCN/TiN$, так как снижается количество трещин, образующихся в покрытии.

Оптимальная толщина покрытия на задней поверхности соответствует примерно 20 мкм [6], так как при большой толщине не происходит снижения интенсивности износа.

Авторами [6] описываются испытания режущего инструмента из твердого сплава ТТ21К9, на который наносили многослойное износостойкое покрытие $TiC/TiCN/TiN$. Покрытие наносили разной толщины в 1,5...2 и 5...7

мкм. Испытания показали, что в более тонком покрытии в меньшей степени происходит трещинообразование.

На рисунке 10 представлена схема нанесения покрытий методом осаждения из газовой фазы. [18]

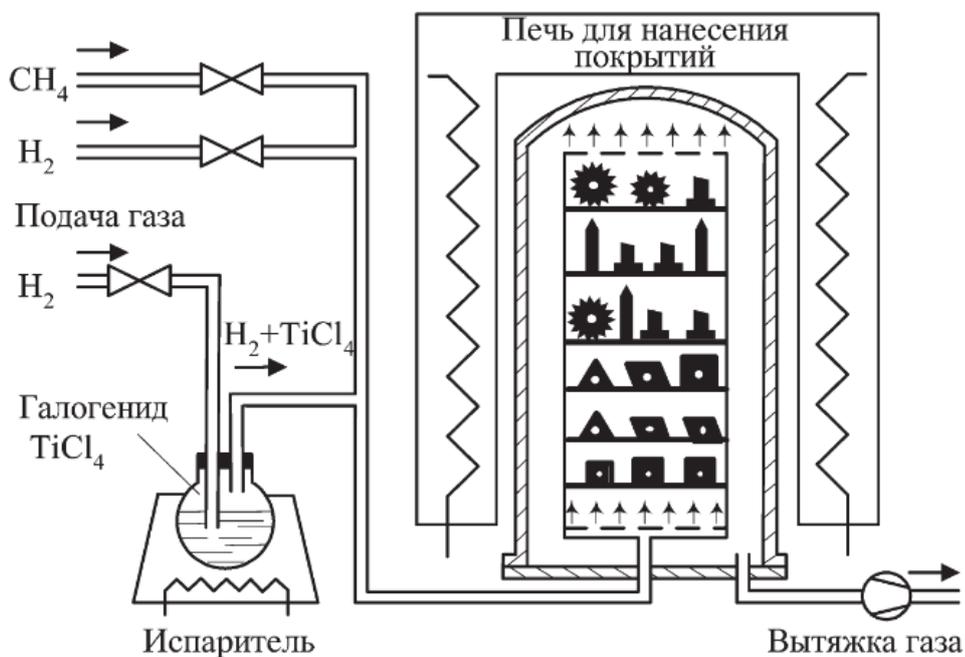


Рисунок 10 - Схема нанесения покрытий методом осаждения из газовой фазы

На рисунке 11 представлены микрошлифы поверхностного слоя инструмента с различными покрытиями.

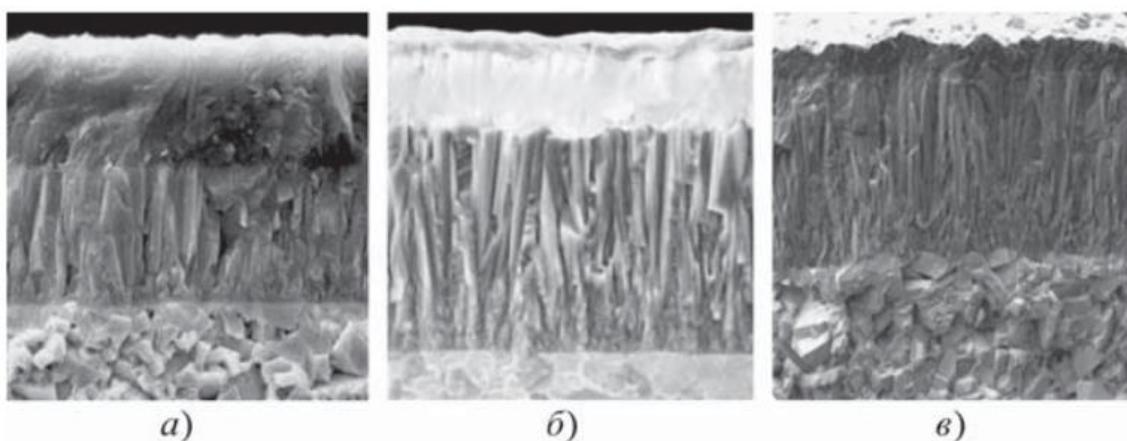


Рисунок 11 - Микрошлифы поверхностного слоя инструмента с различными покрытиями:

a – твердый сплав с трехкомпонентным покрытием $TiN-TiCN-Al_2O_3$; *б* – твердый сплав с трехкомпонентным покрытием $TiCN-Al_2O_3-TiN$; *в* - твердый сплав с двухкомпонентным покрытием $TiCN-TiN$.

Для конденсации покрытия высоко- и среднетемпературным методом материал инструмента нагревают до температур от 900 до 1200°С. Диапазон температур исключает применение данного способа нанесения покрытий на инструментальные стали.

Зачастую в инструментах с покрытием происходит диффузия вольфрама и кобальта из основы в покрытие (формируется так называемая η -фаза). Таким образом, переходный слой, который может достигать толщины в 4 мкм, становится более хрупким. Поэтому приходится переходить на средние температуры нанесения покрытия, которые составляют от 700 до 900°С. В этом случае образование η -фазы почти исключается.

Методами CVD нанесения возможно наносить покрытия как из тугоплавких металлов, так и из их нитридов, оксидов, карбидов и карбонитридов. [9]

Толщина покрытия является неоднозначным показателем. С одной стороны рост толщины приводит к повышению износостойкости площадок контакта. С другой стороны при этом увеличивается количество дефектов в поверхностном слое и снижается сила сцепления покрытия с основой. Поэтому при прерывистом характере резания, в том числе при фрезеровании, на инструмент рекомендуется наносить покрытие толщиной не более 5 мкм. А, например, на режущих пластинах токарных резцов толщина покрытия может быть до 15 мкм. [9]

Крупный производитель инструмента – шведская фирма «Sandvik Coromant» разработала оригинальную технологию нанесения трехслойного покрытия $TiCN-Al_2O_3-TiN$. [9] Эта технология заключается в том, что после нанесения покрытия инструмент подвергается полированию. При полировании полностью убирается внешний слой TiN и частично удаляется средний слой Al_2O_3 . Удаляемый припуск составляет 2...3 мкм. В результате у покрытия снижаются внутренние растягивающие напряжения, а также

снижается количество зародышей трещин. Данный вид покрытий получил название «low stress coating» (LSC).

На рисунке 12 представлены фотографии режущих пластин после обработки.

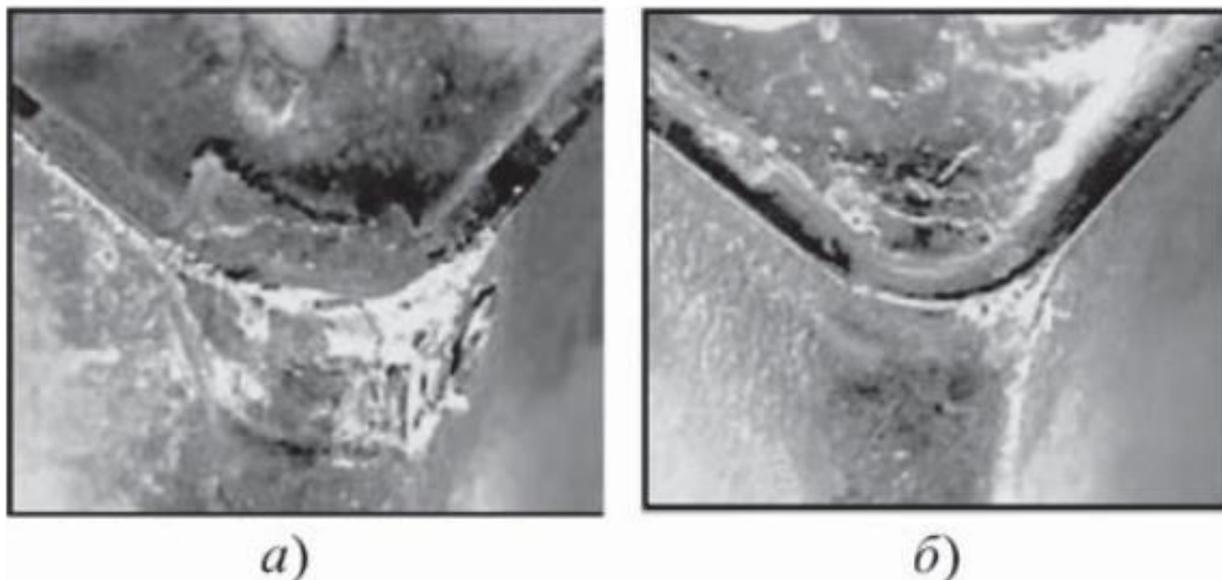


Рисунок 12 - Фотографии режущих пластин с покрытием $TiCN-Al_2O_3-TiN$ после обработки точением 330 стальных деталей с режимами обработки $V=300$ м/мин, $t=3$ мм, $S=0,4$ мм/об:
 a – обычное покрытие; b – LSC-покрытие

Из рисунка 12 видно, что инструмент с покрытием «low stress coating» имеет меньший износ, следовательно, такая технология нанесения эффективна.

Применение описанных технологий упрочнения режущего инструмента позволит увеличить ресурс инструмента, что скажется на вспомогательное время операций, направленное на плановые замены и переточку инструмента.

5 Безопасность и экологичность технического объекта

В результате реализации технологического процесса изготовления детали рабочие могут травмироваться на производстве. Данный раздел посвящен разработке предложений по техническим решениям, которые направлены на сведению к минимуму получения такого рода травм на производстве.

Тема работы: Технологический процесс изготовления фланца револьверной головки центра «Формула Станок».

В процессе анализа воспользуемся методикой, указанной в [23].

5.1 Назначение участка

Данный участок предназначается для изготовления фланца револьверной головки.

5.2 Планировка рассматриваемого участка

«Вспомогательной площадью является участок, на котором располагаются вспомогательные подразделения, которыми могут являться ремонтные службы, инструментальные и складские службы, лаборатории, служебно-бытовые помещения, а также межцеховые магистральные проезды». [2]

«Производственной площадью является участок, на котором располагается технологическое оборудование с местами для рабочих, расположенными возле каждой единицы оборудования». [2]

5.3 Состав оборудования

Состав оборудования и его количество представлено в таблице 10.

Таблица 10 – Состав оборудования

№ п/п	Оборудование	Количество, шт
1	Токарный станок с ЧПУ SAMAT-400XC	4
2	Горизонтально-фрезерный станок с ЧПУ ХК6032	1
3	Вертикально-сверлильный станок с ЧПУ 2P135Ф2-1	1
4	Долбежный станок 7Д450	1
5	Внутришлифовальный станок с ЧПУ 3М225ВФ2	2
6	Торцекруглошлифовальный станок с ЧПУ ХШ4-104Ф20	1
7	Круглошлифовальный станок с ЧПУ 3М151Ф2	1
Итого:		11

Таблица 11 – Технологический маршрут обработки детали фланец

«Наименование цеха» [23]	«Номер операции» [23]	«Наименование операции» [23]	«Применяемое оборудование» [23]	«Содержание операции» [23]
Кузнечный	000	Заготовительная	ГКШП	Получение заготовки
Механический	005	Точение предварительное	Токарный станок с ЧПУ SAMAT-400XC	Предварительное точение поверхностей: 5,6, 7,8,11,12
Механический	010	Точение предварительное	Токарный станок с ЧПУ SAMAT-400XC	Предварительное точение поверхностей: 4,3, 2,1
Механический	015	Точение окончательное	Токарный станок с ЧПУ SAMAT-400XC	Окончательное точение поверхностей: 5,6, 7,8,9,10,11,12
Механический	020	Точение окончательное	Токарный станок с ЧПУ SAMAT-400XC	Окончательное точение поверхностей: 4,3, 2,1
Механический	025	Фрезерование окончательное	Горизонтально-фрезерный станок с ЧПУ ХК6032	Фрезерование окончательное поверхностей: 21, 22

Продолжение таблицы 11

«Наименование цеха» [23]	«Номер операции» [23]	«Наименование операции» [23]	«Применяемое оборудование» [23]	«Содержание операции» [23]
Механический	030	Сверление окончательное	Вертикально-сверлильный станок с ЧПУ 2P135Ф2-1	Сверление окончательное поверхностей: 18, 19,20,16,17
Механический	035	Долбление окончательное	Долбежный станок 7Д450	Долбление окончательное поверхностей: 13, 14,15
Термический	040	Термообработка	-	Закалка заготовки
Механический	045	Внутришлифование предварительное	Внутришлифовальный станок с ЧПУ 3М225ВФ2	Предварительное шлифование поверхностей: 2, 12
Механический	050	Торцекруглошлифование окончательное	Торцекруглошлифовальный станок с ЧПУ ХШ4-104Ф20	Окончательное шлифование поверхностей: 4, 5,6
Механический	055	Внутришлифование окончательное	Внутришлифовальный станок с ЧПУ 3М225ВФ2	Окончательное шлифование поверхностей: 2, 12
Механический	060	Круглошлифование окончательное	Круглошлифовальный станок с ЧПУ 3М151Ф2	Окончательное шлифование поверхности 2
Механический	065	Промывка всех поверхностей	Моечная машина	Промывка всех поверхностей
Механический	070	Контроль	-	Контроль основных параметров согласно рабочего чертежа

Поскольку были улучшены технологические операции, такие как точение окончательное 015 и Фрезерование окончательное 025, то идентификацию по рискам будем проводить только эти операции.

5.4 Анализ вредных производственных факторов

Таблица 12 – «Вредные производственные факторы» [23]

№ п/п	Технологические операции	«Вредные производственные факторы» [23]	«Мероприятия, которые позволяют уменьшить вредные воздействия» [23]
1	Точение	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вылетающая стружка 2. Высокая температура стружки и обрабатываемой поверхности 3. Испарения СОТС при обработке 4. Высокий уровень шума и вибраций при работе оборудования 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Применение защитных очков, спецодежды. Использование защитного экрана. Использование «скребкового и одношнекового транспортера для удаления стружки». [8] 2. Применение синтетических СОТС. 3. Применение «отопительно-вентиляционного оборудования» [16]. 4. Использование акустических экранов, противозумных наушников и беруш. Применение «виброизолирующих опор». [34]
2	Фрезерование	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вылетающая стружка 2. Высокая температура стружки и обрабатываемой поверхности 3. Испарения СОТС при обработке 4. Высокий уровень шума и вибраций при работе оборудования 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Применение защитных очков, спецодежды. Использование защитного экрана. Использование «скребкового и одношнекового транспортера для удаления стружки». [8] 2. Применение синтетических СОТС. 2. Применение синтетических СОТС. 3. Применение «отопительно-вентиляционного

Продолжение таблицы 12

№ п/п	Технологические операции	«Вредные производственные факторы» [23]	«Мероприятия, которые позволят уменьшить вредные воздействия» [23]
			оборудования» [16]. 4.Использование акустических экранов, противошумных наушников и беруш. Применение «виброизолирующих опор». [34]

В результате выполнения данного раздела был выполнен анализ вредных и опасных факторов на проектируемом производстве, предложены мероприятия для снижения воздействия опасных и вредных факторов на производстве.

5 Экономическая эффективность работы

Цель раздела – рассчитать технико-экономические показатели проектируемого технологического процесса и произвести сравнительный анализ с показателями базового варианта, определить экономический эффект от предложенных в проекте технических решений.

При написании бакалаврской работы было предложено изменить на операции 015 (токарная) зажимное приспособление и на 025 (фрезерная) инструмент. Эти изменения привели к сокращению трудоемкости выполнения этих операций, что с технологической точки зрения доказывает эффективность данного изменения. Однако, предстоит подтвердить эффективность еще и с экономической точки зрения, что и будет выполнено в рамках раздела 5 бакалаврской работы.

Все необходимые технические параметры: машинное и штучное время, модель оборудования до и после совершенствования технологического процесса, наименование инструмента и оснастки, также до и после совершенствования, применяемые на операциях 015 и 025, были взяты из предыдущих разделов бакалаврской работы. Для сбора информации по остальным параметрам, необходимым для расчета: мощность и занимаемая площадь оборудования, цены оснастки и инструмента, часовые тарифные ставки, тарифы по энергоносителям и многое другое, использовались разные источники:

- паспорт станка;
- учебно-методическое пособие по выполнению экономического раздела выпускной квалификационной работы для студентов, обучающихся по специальности 15.03.03 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»;
- данные предприятия по тарифам на энергоносители;
- сайты с ценами на оборудование, оснастку и инструмент, и другие источники.

Кроме перечисленных источников для расчета применялось программное обеспечение Microsoft Excel, с помощью которого были произведены такие расчеты как:

- «капитальные вложения по сравниваемым вариантам;
- технологическая себестоимость изменяющихся по вариантам операций;
- калькуляция себестоимости обработки детали по вариантам технологического процесса;
- приведенные затраты и выбор оптимального варианта;
- показатели экономической эффективности проектируемого варианта техники (технологии)» [35].

Далее будут представлены основные результаты проведенных расчетов. На рисунке 13, показаны величины слагаемых капитальных вложений, сумма которых для внедрения предложенных изменений составит 256075,61 руб.

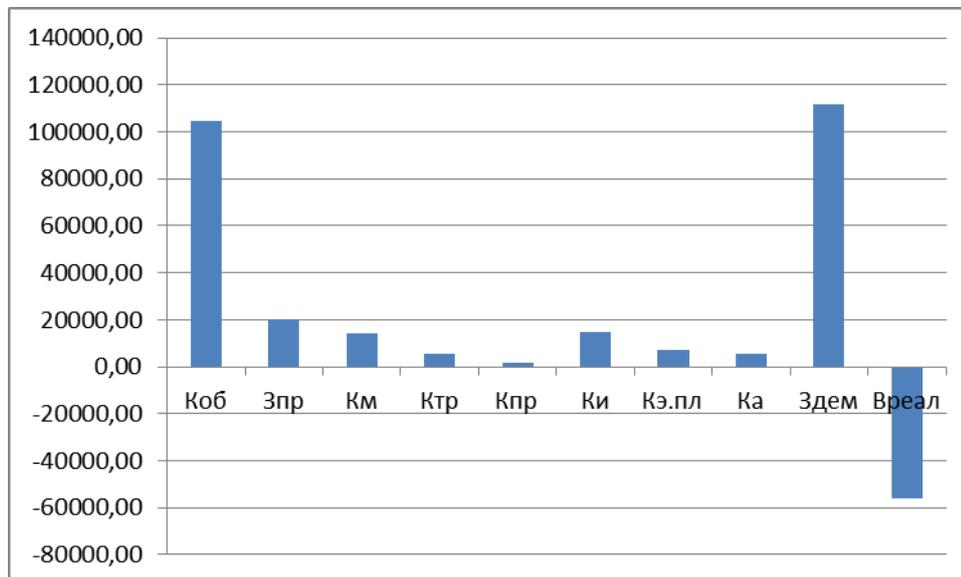


Рисунок 13 – Величина затрат, входящих в капитальные вложения, предложенного проекта, руб.

Анализируя, представленные на рисунке 13, данных, можно сделать вывод о том, что самыми капиталоемкими затраты являются:

– затраты на демонтаж заменяемого оборудования ($Z_{ДЕМ}$), с величиной 49,91 % от всей величины капитальных вложений;

– прямые капитальные вложения в основное технологическое оборудование ($K_{ОБ}$), величина которых составляет 47,8 % от общей суммы капитальных вложений.

Все остальные значения не превышают даже 10 %, и находятся в интервале от 0,72 % до 8,9 %. Но не смотря на их относительную не большую величину, пренебрегать этими значениями нельзя, так они отображают значения затрат, таких приобретений как инструмент ($K_{И}$), эксплуатацию производственной площади ($K_{Э.ПЛ}$), транспортные средства ($K_{ТР}$), доставку и монтаж вновь вводимого оборудования ($K_{М}$), затраты на проектирование ($Z_{ПР}$) и другие показатели, относящиеся к эксплуатации оборудования с числовым программным управлением.

На рисунке 13 представлены параметры, из которых складывается технологическая себестоимость детали «фланец», по двум сравниваемым вариантам технологического процесса. Правда значение величины основных материалов за вычетом отходов не использовалось для определения вышеоговоренного параметра, т. к. в процессе совершенствования технологического процесса, способ получения заготовки не метался, поэтому остается без изменения.

Анализируя диаграмму на рисунке 14, видно, что две величины имеют примерные равные доли в общей величине технологической себестоимости, это:

– расходы на содержание и эксплуатацию оборудования, с объемом величины 47,58 % для базового варианта и 43,59 % для проектируемого варианта, от всего значения технологической себестоимости;

– заработная плата оператора ($Z_{ПЛ.ОП}$), необходимая на оплату труда рабочего, занятого на работе токарного и фрезерного станков, доля которой составляет 30,05 % для базового варианта и 39,71 % для проектируемого варианта, в размере технологической себестоимости.

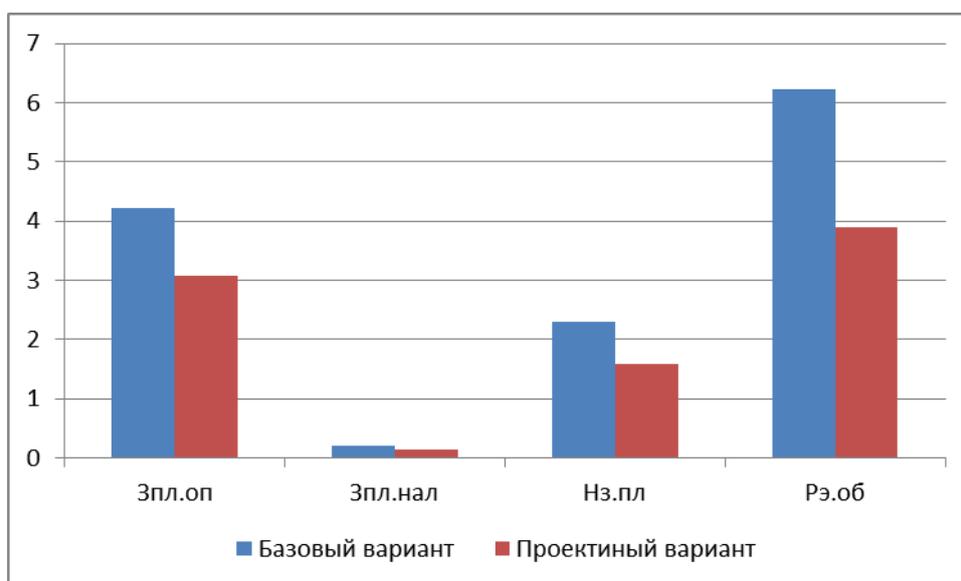


Рисунок 14 – Слагаемые технологической себестоимости изготовления детали «фланец», по вариантам, руб.

Данные параметры позволили сформировать значение полной себестоимости. Результаты калькуляции себестоимости обработки детали «фланец» по операциям 015 и 025 технологического процесса, представлены на рисунке 15.

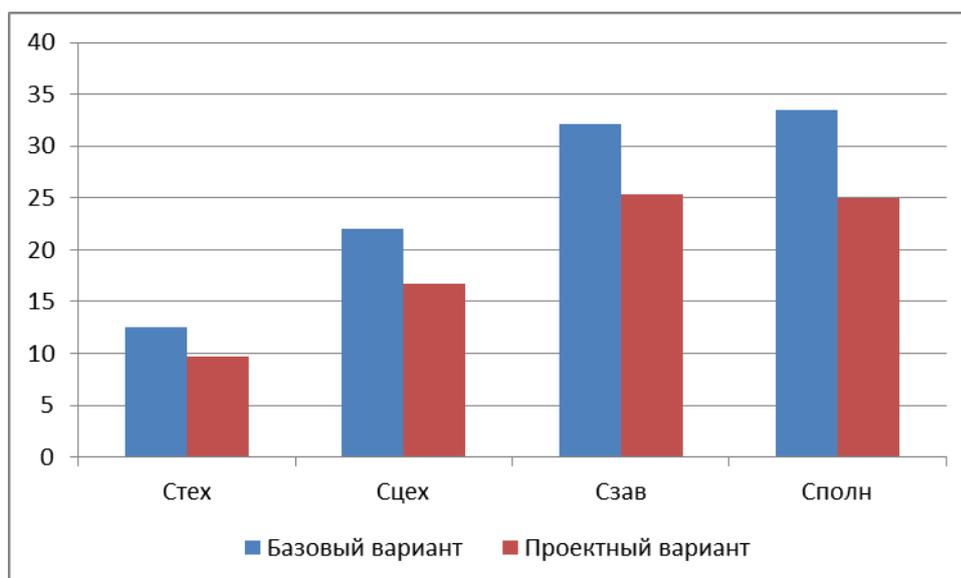


Рисунок 15 – Калькуляция себестоимости, по вариантам технологического процесса, руб.

Согласно рисунку 15, значение полной себестоимости ($C_{\text{полн}}$) для базового варианта составило 33,45 рубля, а для проектируемого варианта всего лишь 24,93 рублей.

Дальнейшие расчеты показали, что капитальные вложения, в размере 224193,45 рублей, окупятся в течение 4-х лет. Такой срок является максимально допустимым для внедрения нового оборудования по совершенствованному технологическому процессу. Однако прежде чем говорить об его эффективности, проанализируем такой экономический параметр как интегральный экономический эффект или чистый дисконтируемый доход. Величина данного показателя составляет 29947,97 рубля со знаком «плюс», что доказывает эффективность предложенных мероприятий. А это значит, что на каждый вложенный рублю будет получен доход 1,19 рублей.

Заключение

В начале работы осуществлен анализ назначения и условий работы фланца, проведен анализ служебного назначения каждой поверхности, выполнено описание назначения станочных револьверных головок, проанализирован химический состав материала детали, физико-механические свойства материала и определена необходимая термическая обработка.

Далее определен среднесерийный тип машиностроительного производства, проведен технико-экономический расчет оптимального метода получения заготовки, подобраны методы обработки каждой поверхности детали, разработаны маршрут и план обработки фланца. После этого на одну из поверхностей проведен расчет припусков и определены режимы обработки на некоторые операции техпроцесса, подвергающиеся модернизации.

В третьем разделе работы произведено проектирование токарного патрона для токарной операции. Работой предлагается автоматизировать данное станочное приспособление. Для этого проведен анализ и рассчитана необходимая сила зажима, рассчитан и спроектирован пневматический привод, с помощью которого патрон работает в автоматическом цикле.

В четвертом разделе спроектирован режущий инструмент – дисковая фреза для обработки боковых лысок фланца. В этом же разделе выполнен анализ и назначены мероприятия по увеличению износостойкости спроектированного режущего инструмента.

В работе проведен анализ экологичности и безопасности, а также выполнен расчет экономической эффективности, который подтвердил рациональность и правильность проведенных мероприятий по модернизации базового технологического процесса.

Список используемой литературы

1. Александров В.А. Создание износостойких покрытий для режущего инструмента / В.А. Александров, В.М. Вдовин, А.С. Сергеева // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2017. №11. С. 85-89.
2. Безъязычный В.Ф. Основы технологии машиностроения : учебник для вузов. 3-е изд., исправл. – М. : Инновационное машиностроение, 2020. – 568 с.
3. Безъязычный В.Ф. Технологические процессы механической и физико-химической обработки в машиностроении : Учебное пособие / В.Ф.Безъязычный, В.Н. Крылов, Ю.К. Чарковский, Е.В. Шилков. – 4-е изд., стер. – СПб. : Издательство «Лань», 2021 – 432 с.
4. Вереина Л. И. Металлообработка [Электронный ресурс] : справочник / Л.И. Вереина, М.М. Краснов, Е. И. Фрадкин ; под общ. ред. Л.И. Вереиной. - Москва : ИНФРА-М, 2013. - 320 с. - (Высшее образование. Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-004952-6.
5. Воробьев А.А. Эффективность применения современных материалов для износостойких покрытий режущего инструмента, применяемого на ремонтных предприятиях ОАО «РЖД» / А.А. Воробьев, В.Г. Кондратенко, С.Н. Мануйлов // В сборнике: Специальная техника и технологии транспорта. Сборник научных статей. Санкт-Петербург, 2020. С. 151-156.
6. Горина Л.Н. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта» : электрон. уч.- метод. пособие / Л.Н. Горина, М.И. Фесина. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2018. – 41 с.
7. ГОСТ 1050-88. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия. – 85 с.

8. ГОСТ 12.1.029-80. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация. – 4 с.
9. ГОСТ 12.3.025-80. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Обработка металлов резанием. Требования безопасности (с Изменением N 1). – 13 с.
10. Григорьев С.Н. Методы повышения стойкости режущего инструмента : учебник для студентов вузов. – М. : Машиностроение, 2009. – 368 с.
11. Григорьев, С.Н. Технологические принципы осаждения износостойких нанопокровов для применения в инструментальном производстве // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре технического университета. 2010. №1-1(1). С. 92-98.
12. Дрималовский, Е.И. Особенности нанесения твердых покрытий на режущий инструмент / Е.И. Дрималовский, Е.А. Памфилов // Новые материалы и технологии в машиностроении. 2019. №29. С. 33-36.
13. Зубарев Ю.М. Расчет и проектирование приспособлений в машиностроении : Учебник. – СПб. : Издательство «Лань», 2015. – 320 с.
14. Исаев Д.Т. Методы с различными покрытиями пластин из твердых сплавов при обработке труднообрабатываемых материалов / Д.Т. Исаев, З. Умарова, Г. Мажимова // В сборнике статей XXV Международной научно-практической конференции. 2018. С. 47-79.
15. Козлов А.А. Разработка технологических процессов изготовления деталей машин : учеб.-метод. пособие по выполнению курсовых проектов по дисциплине «Основы технологии машиностроения» / А.А. Козлов, И.В. Кузьмич. – Тольятти : ТГУ, 2008. – 152 с.
16. Краснопевцева И.В., Зубкова Н.В. Экономика и управление машиностроительным производством : учеб.-метод. пособие / И.В.Краснопевцева, Н.В. Зубкова. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2014. – 183 с.
17. Михайлов М.И. Моделирование формообразующих кромок внутренней дисковой фрезы при обработке винтовой поверхности /

М.И.Михайлов, Д.В. Никитенко // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П.О. Сухого. №2. 2018. С. 21-26.

18. Оганян Г.В. Совершенствование твердосплавного инструмента с целью повышения производительности механической обработки / Г.В. Оганян, М.Г. Оганян // Вестник МГТУ «Станкин», №4(43). 2017. С. 22-27.

19. Патент 2620521 Российская Федерация МПК С 23 С 14/24; С 23 С 14/22; В 23 В 27/14. Износостойкое покрытие для режущего инструмента / Новиков В.Ю., Колесников Д.А., Береснев В.М.; ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (RU). – 2015142248 заявл. 06.10.2015; опубл. 26.05.2017, Бюл. №15. – 7 с.

20. Патент 2648814 Российская Федерация МПК С 23 С 14/24. Способ получения износостойкого покрытия для режущего инструмента / Табаков В.П., Чихранов А.В., Сагитов Д.И., Полозов М.В.; ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» (RU). – 2017107926 заявл. 10.03.2017; опубл. 28.03.2018, Бюл. №10. – 5 с.

21. Патент 2648927 Российская Федерация МПК С 23 С 14/24. Способ получения износостойкого покрытия для режущего инструмента / Табаков В.П., Чихранов А.В., Сагитов Д.И., Полозов М.В.; ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» (RU). – 2017107997 заявл. 10.03.2017; опубл. 28.03.2018, Бюл. №10. – 5 с.

22. Патент 2708024 Российская Федерация МПК С 23 С 14/35; С 23 С 8/36. Способ комбинированного упрочнения режущего инструмента / Метель А.С., Григорьев С.Н., Волосова М.А., Мельник Ю.А.; ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» (RU). – 2018145828 заявл. 24.12.2018; опубл. 03.12.2019, Бюл. №34. – 10 с.

23. ПОТ Р М-004-97. Межотраслевые правила по охране труда при использовании химических веществ. – 135 с.

24. Режимы резания металлов: Справочник/ Ю.В. Барановский, Л.А. Брахман, А.И. Гадалевич и др. – М.: НИИТавтопром, 1995. – 456 с.

25. Сагитов, Д.И. Исследование влияния износостойких покрытий на характеристики теплового состояния токарных резьбовых резцов / Д.И.Сагитов, В.П. Табаков // В сборнике трудов: Теплофизические и технологические аспекты повышения эффективности машиностроительного производства. Труды IV Международной научно-технической конференции. 2015. С. 145-149.

26. Складнова Е.Е. Конструкционные стали и сплавы. Изд. 2-е переработ. : Учебное пособие / Е.Е. Складнова, Г.А. Воробьева; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2017. – 143 с.

27. Солоненко В.Г. Резание металлов и режущие инструменты : учеб. пособие / В.Г. Солоненко, А.А. Рыжкин. – М. : ИНФРА-М, 2019. – 415 с.

28. Схиртладзе А.Г. Проектирование металлообрабатывающих инструментов: Учебное пособие. 2-е изд., стер./ А.Г. Схиртладзе, В.А. Гречишников, С.Н.Григорьев, И.А. Коротков – СПб. : Издательство «Лань», 2015. – 256 с.

29. Табаков, В.П. Износостойкие ионно-плазменные покрытия режущих инструментов / В.П. Табаков, Н.А. Ширманов, М.Ю. Смирнов, А.В. Циркин // Фундаментальные исследования, №8. 2005. С. 92-93.

30. Табаков, В.П. Применение износостойких покрытий при резбонарезании / В.П. Табаков, Д.И. Сагитов // Вестник МГТУ «СТАНКИН». №1(19). 2012. – С. 15-19.

31. Тарабарин О.И. Проектирование технологической оснастки в машиностроении : Учебное пособие / О.И. Тарабарин, А.П. Абызов, В.Б.Ступко // 2-е изд., испр. и доп. – СПб. : Издательство «Лань», 2021. – 304 с.

32. Kern W. Thin film processes II. – Academic press, 2012. Т. 2.

33. Ryachin S A, Ershova T B, Burkov A A, Vlasova N M, Kirichenko E A, Kulik M A and Krutikova V O 2019 Letters on Materials 9 pp 191–196

34. Padgurskas J, Kreivaitis R, Rukuiža R, Mihailov V, Agafii V, Kriūkienė R and Baltušnikas A 2017 Surf. Coat. Technol. 311 pp 90–97

35. Verhoturov A D, Vlasenko V D and Konevtsov L A 2018 J. Frict. Wear 39 pp 232–240

36. Wang P. Polycrystalline ZrB₂ coating prepared on graphite by chemical vapor deposition // Physica status solidi. – 2016. – T. 253. №8. – C. 1590-1595.

Продолжение Приложения Б

Продолжение таблицы Б.1

ГОСТ 3.110-02										Форма 1			
Дубль.													
Взам.													
Подп.													
										Листов 1 / Лист			
Разраб.	Омельченко												
Проверил	Логинюв			Кафедра ОТМП									
Фланец										Цех	Уч.	Р.М.	Опер.
													015
Наименование операции		Материал		Твердость	ЕВ	МД	Профиль и размеры			МЗ	КОИД		
Токарная чистовая с ЧПУ		Сталь 35 ГОСТ 1050-88			166	35	φ243x415			6,25	1		
Оборудование, устройство ЧПУ		Обозначение программы		Т _с	Т _б	Т _{пз}	Т _{шт}	СОЖ					
Токарный с ЧПУ SAMAT-400XC		-		155	0,58	10	213	5% Ужринал					
P		ПМ	0 или В	L	f	i	S	n	v				
01					ММ		ММ/об	об/мин	М/МИН				
02	1. Установить и снять заготовку												
T 03	396110.XXXX Патрон самоцентрирующий трехшлицевой.												
04	Точить поверхность 5, выдерживая размер 18±0,215; точить фаску 1,5x45 ⁰ ; точить поверхность 6, выдерживая размер φ184 ^{-0,072} ;												
05	точить поверхность 7, выдерживая размер 22,2 ^{-0,16} ; точить канавку (поверхности 9, 10, 11), выдерживая размеры φ179 ^{+0,1} , 1;												
T 06	точить поверхность 8, выдерживая размер φ173,2 ^{+0,1} ; точить поверхность 12, выдерживая размер φ151,6 ^{+0,1} .												
T 07	392190.XXXX Резец сборный проходной правый Т15К6 ГОСТ 18878-82; Резец сборный расточной Т15К6 ГОСТ 9795-84;												
08	392190.XXXX Резец канавочный Р6М5 ГОСТ 18885-73; 393410.XXXX Микрометр ГОСТ 6507-90; Калибр-пробка ГОСТ 24851-81.												
09		1	184	22,3	0,2	1	0,2	315	150,1				
10		1	179	3	3,0	1	0,3	80	45,0				
11		1	173,2	20	0,3	1	0,2	80	45,0				
12													
OK													