

Аннотация

Дипломный проект направлен на решение актуальной задачи современного машиностроения - повышение эффективности технологии обработки закаленных деталей.

На основе анализа отечественных и зарубежных работ в области твердого точения выявлены технологические возможности данного метода обработки, показана его технологическая и экономическая эффективность по сравнению с абразивной обработкой.

В рамках выполнения проекта проведены теоретические и экспериментальные исследования процесса твердого точения. Теоретические исследования выполнены с привлечением современных средств программного обеспечения. Экспериментальные исследования проводились на реальном оборудовании с числовым программным управлением в лаборатории систем ЧПУ кафедры. На основании полученных результатов теоретических и экспериментальных исследований предложены оптимальные режимы обработки твердым точением и предложены рекомендации по эффективному управлению процессом обработки на станках с ЧПУ с использованием диагностических возможностей современных систем числового программного управления.

Содержание

Аннотация	2
Содержание.....	3
Введение.....	5
1.Технология твердого точения как альтернатива абразивной обработки. Обзор технологических возможностей твердого точения.....	7
1.1 Сущность технологии твердого точения.....	7
1.2 Обзор исследований технологии твердого точения.....	8
2. Теоретическое исследование технологии твердого точения.....	19
2.1 Постановка задачи моделирования обработки закаленных деталей.....	19
2.2 Результаты теоретического моделирования твердого точения	24
3. Разработка методики экспериментального исследования технологии твердого точения.....	27
3.1. Методика экспериментального исследования.....	27
3.2 Методика сбора данных в реальном времени. Диагностические возможности системы ЧПУ FlexNC.....	29
4. Результаты экспериментального исследования технологии твердого точения.....	43
4.1 Исследование изменения моментов в электроприводах станка при твердом точении.....	43
4.2 Исследование шероховатости обработанной поверхности.....	48
5.Оптимизация технологии твердого точения.....	52
6.Безопасность и экологичность технического объекта.....	55
6.1. Конструктивно-технологическая характеристика объекта.....	55
6.2 Идентификация производственно-технологических и эксплуатационных профессиональных рисков.....	55
6.3. Методы и технические средства снижения профессиональных рисков.....	55
6.4 Обеспечение пожарной и техногенной безопасности рассматриваемого технического объекта (производственно- технологических эксплуатационных и утилизационных процессов).....	56
6.4.1 Идентификация опасных факторов пожара.....	57
6.4.2 Разработка технических средств и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности технического объекта	57
6.4.3. Организационные (организационно-технические) мероприятия по предотвращению пожара.....	59
6.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого	

технического объекта.....	60
6.5.1 Идентификация экологических факторов технического объекта.....	60
6.5.2 Разработка мероприятий по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду рассматриваемого технического объекта	61
6.6 Заключение по разделу.....	61
7. Экономическая эффективность проекта.....	63
Заключение	75
Список литературы.....	76

Введение

Современные тенденции мирового уровня в области механической обработки заключаются в интеграция технологий механической обработки на основе реализации принципа максимальной концентрации технологический операций, выполняемых на одной единице технологического оборудования, так называемая комплексная обработка на одном станке; повышение гибкости и универсальности металлообрабатывающего оборудования, концентрация разнородных операций механической обработки в едином цикле; повышение производительности и одновременное повышение качества обрабатываемых деталей; повышение уровня экологической безопасности оборудования и технологий, стремление к безотходным технологиям;

Традиционно в маршрутных технологиях принято, что последовательность механической обработки деталей прерывается процессами термической и (или) химико-термической обработки (закалка, цементация, азотирование и др.), при этом вся лезвийная обработка выполняется до термообработки, а абразивная после.

Современные подходы, диктуемые принципами повышения производительности и снижения себестоимости продукции имеет тенденцию ухода от дискретных методов, значительно растягивающих операции изготовления деталей во времени и пространстве, к совмещению нескольких операций на одном станке, работающем в автоматическом режиме независимо от твердости материала и конфигурации обрабатываемой детали.

Комбинация нескольких процессов на одной единице станочного оборудования позволяет в разы повысить эффективность обработки, прежде всего за счет снижения продолжительности цикла изготовления детали. Таким образом, с появлением и развитием инновационных решений в

области станочного технологического оборудования, режущего инструмента, автоматизированных систем диагностики и управления процессами обработки для традиционных методов механической обработки открылись новые технологические возможности и в первую очередь, активно развивающаяся технология твердого точения.

1. Технология твердого точения как альтернатива абразивной обработки. Обзор технологических возможностей твердого точения

1.3 Сущность технологии твердого точения

Твердое точение представляет собой обработку материалов резанием с твердостью выше 45 единиц по шкале Роквелла (HRC) [1-4]. В зарубежной литературе [4-6] данная технология носит название Hard Cutting, что в дословном переводе означает «тяжелое резание». Действительно, данный метод обработки подразумевает тяжелые условия резания при снятии стружки с обрабатываемой поверхности.

В связи с тем, что усилия резания велики, твердую обработку применяют для финишных операций с глубиной срезаемого слоя 0,15...0,3 мм, заменяя шлифование точением [5, 7, 8]. Поэтому первостепенными требованиями к станку, на котором осуществляется процесс твердой обработки, является повышенная жесткость, виброустойчивость и точность.

Токарные станки для твердой обработки обеспечивают шероховатость обработанной поверхности до Ra 0,1 мкм; отклонение от круглости не превышает 1 мкм. [9, 10] Целью замены шлифования твердой обработкой является повышение экономичности обработки, так как твердое точение на 30... 50 % экономичнее шлифования: объем снимаемого материала снижается в 2 — 3 раза, стоимость токарного станка повышенной точности ниже стоимости аналогичного шлифовального в 3 — 5 раз, затраты на инструмент не возрастают [10].

По данным фирмы Sandvik точение закаленных деталей хорошо зарекомендовало себя сокращением времени обработки и затрат порядка на

70% и более [9]. Кроме того обработка твердым точением закаленных деталей позволяет повысить гибкость производства, сокращает время производственной подготовки и повышает качество.

Таким образом, можно отметить следующие преимущества технологии твердого точения:

- более простой производственный процесс, схожий с обычным точением;
- гибкое использование станка; используется один и тот же станок для наружной и внутренней обработки;
- повышение производительности;
- снижение удельных затрат в расчете на единицу изготовленной детали;
- сложные формы деталей обрабатываются с одной наладкой;
- экологическая чистота – нет СОЖ, нет отходов от шлифования.

1.4 Обзор исследований технологии твердого точения

Одним из перспективных направлений в развитии лезвийной обработки в свете последних мировых тенденций является технология высокоскоростного твердого точения [1-5, 11, 12]. Технология позволяет вести обработку, например, точением или фрезерованием, закаленных сталей с твердостью более 45 HRC. Твердое точение все больше выступает альтернативой абразивной обработке, в частности шлифованию, и имеет следующие преимущества:

- высокая гибкость технологии, заключающаяся в возможности обработки любой конфигурации поверхностей деталей одним инструментом при переналадке лишь управляющей программы ЧПУ;
- возможность обработки без применения СОЖ;

- высокая интенсивность съема припуска и как следствие высокая производительность обработки;

- наличие стружки вместо шлама и абразивной пыли.

Сравнительные исследования технологии твердого точения и шлифования, проведенные компанией ECOROLL (Германия) [12] показали перспективность данного метода обработки. Так, при обработке твердым точением закаленной шестерни коробки передач (материал 20XM, твердость 60 HRC), внутреннего кольца подшипника (материал ШХ15, твердость 62 HRC) время и затраты на обработку сократились в 2-2,5 раза по сравнению со шлифованием. При этом были достигнуты требуемые показатели качества обработанных деталей: отклонение от круглости 2,3 мкм (при заданном значении 2,5 мкм), отклонение от прямолинейности 2,4 мкм (при заданном 3 мкм) и шероховатости поверхности 0,35 мкм по Ra (при заданной 0,6 мкм).

В работе [14] выполнен литературный обзор и освещены вопросы технологического преимущества технологии твердого точения в сравнении с шлифованием применительно к автомобильной промышленности. Показано, что при обработке ведущих валов на производстве компании Mercedes Benz Sprinter по технологии твердого точения позволило произвести обработку детали инструментами из PCBN (поликристаллический кубический нитрид бора) за один установ и уменьшить при этом производственные затраты на 40 % (рис. 1.1).

Однако, несмотря на очевидные преимущества твердого точения имеется ряд недостатков, ограничивающих массовое применение данного метода лезвийной обработки. Поэтому при разработке технологии обработки закаленной детали в каждом конкретном случае необходимо сопоставлять преимущества и недостатки твердого точения и шлифования (таблица 1.1). В

работе [14] представлен сравнительный анализ технико-экономических показателей двух методов обработки (таблица 1.2).

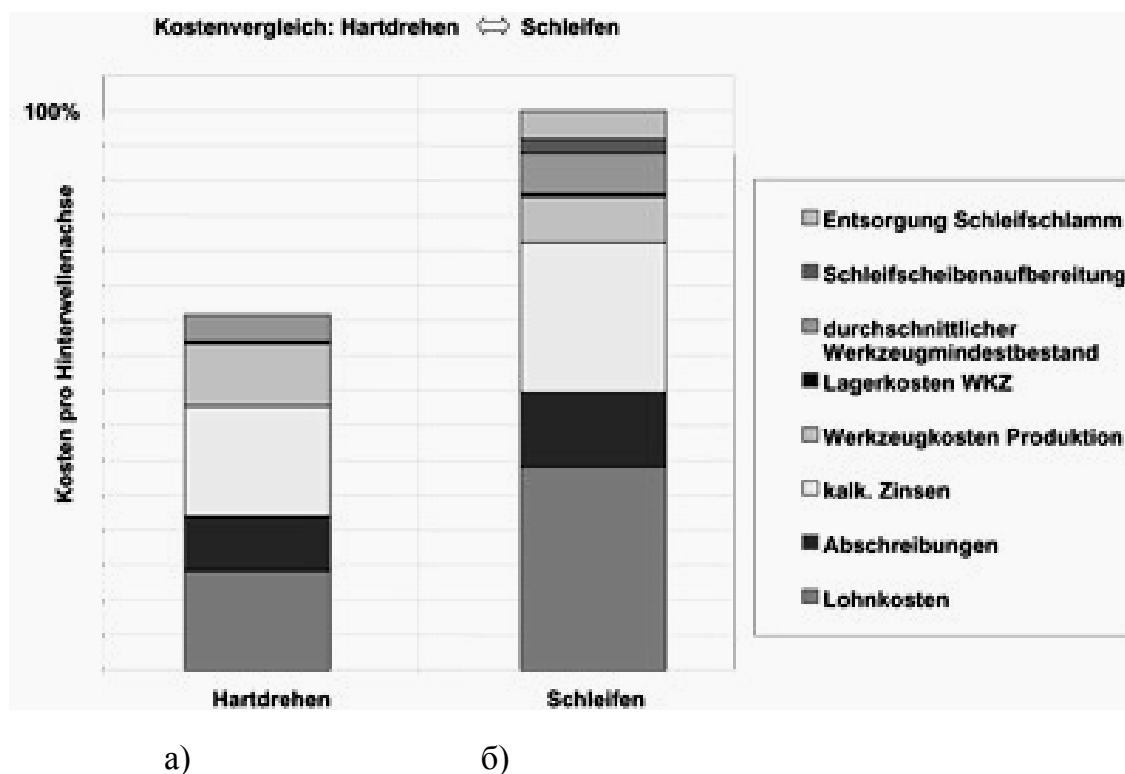


Рисунок 1.1 - Сравнительный анализ структуры производственных затрат на изготовление вала ведущего при обработке твердым точением и шлифованием [14]

Таблица 1.1 - Ограничения методов обработки твердых материалов точением и шлифованием [10]

Точение твердых материалов	Шлифование
- <u>точность диаметра</u> : ограниченная минимальная толщина стружки при обработке делает невозможным измерения и коррекцию в процессе в диапазоне одного микрометра;	- малая гибкость геометрии
- <u>поверхность</u> : высокая	- высокие затраты на наладку при

кинематическая шероховатость при точении. Производительность зависит от подачи, которая в свою очередь зависит от подачи	комплексных деталях
- прерывистое резание, вибрация: преобладание «незакаленный-закаленный» участок на материале; повышенный износ инструмента	- высокое штучное время (сверление отверстий)

Таблица 1.2 - Сопоставление методов токарной обработки твердых материалов и шлифования [10]

Показатели	Токарная обработка твердых материалов	Шлифование
Объем чистовой обработки	1000-6000 мм ³ /мин. В зависимости от требуемого качества поверхности.	100-250 мм ³ /мин; 500-1000 мм ³ /мин. В зависимости от ширины шлифовального круга, т.е. от геометрии детали
Круглость	0,5 – 1 мкм	0,2 – 0,5 мкм
Шероховатость, <i>Ra</i>	0,2 – 0,5 мкм	0,1 – 0,4 мкм
Шероховатость, <i>Rz</i>	1,5 – 4 мкм	1 – 3 мкм
Класс точности	IT 5	IT4 (с измерение детали до IT2)

Одним из существенных недостатков обработки твердым точением является низкая стойкость инструмента. Исследованиями установлено

существенное влияние износа инструмента на шероховатость обрабатываемой поверхности, структуру поверхностного слоя и формируемые остаточные напряжения [1, 4, 8]. В работе [11] показано, что при обработке образцов из стали ШХ15 (62 HRC) твердым точением увеличение «фаски» износа инструмента оказывает существенное влияние на микрогеометрию обрабатываемой поверхности, причем изменения затрагивают не только высотные параметры шероховатости (рис. 1.2), но и микропрофиля поверхности (рис. 1.3).

Актуальным направлением в развитии технологии твердого точения являются разработки в области применения новых инструментальных материалов и оптимизации геометрии режущего инструмента [9, 12]. На рис. 1.4 по данным фирмы Sandvik Coromant представлены рекомендации по применению инструментальных материалов для твердого точения в зависимости от требований к качеству обработки, исходной твердости заготовки и условий резания. Высокая эффективность в лезвийной обработке твердых материалов обеспечивается применением сверхтвердых материалов (СТМ) на основе поликристаллического алмаза (СА) и кубического нитрида бора (КНБ, CNB, эльбор). Эти материалы показывают высокую эффективность при обработке нетрадиционных конструкционных материалов.

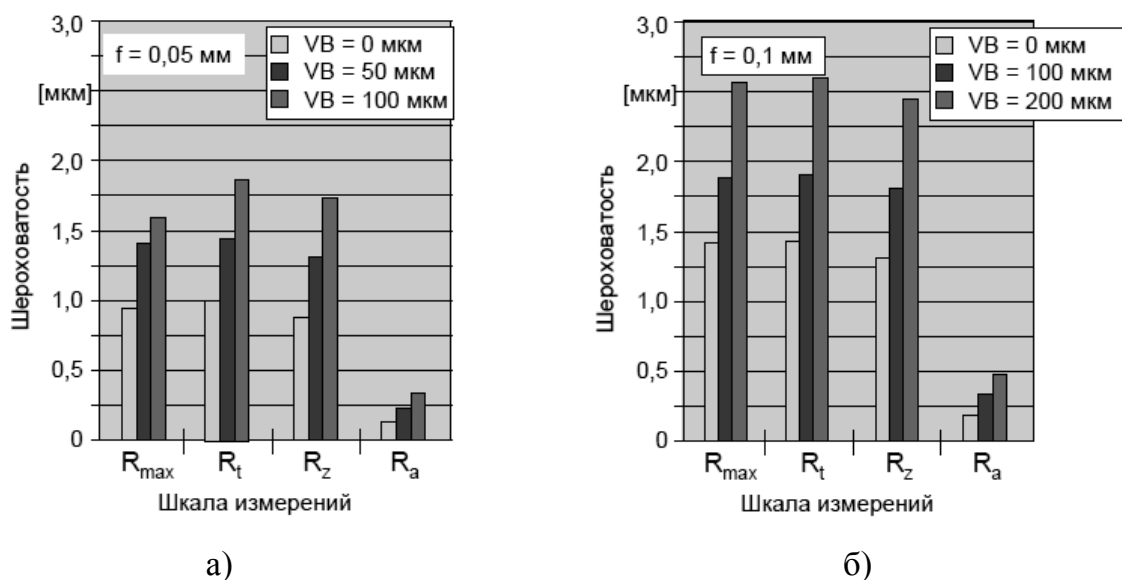


Рисунок 1.2 - Параметры шероховатости поверхности при обработке твердым точением в зависимости от величины фаски износа VB режущего инструмента. Материала детали ШХ15 (62 HRC); инструментальный материал PCBN+TiC; тип пластины DNMA 150612; режимы резания: скорость $v = 125 \text{ м/мин}$; припуск $t = 0,15 \text{ мм}$; подача $f = 0,05 \text{ мм/об}$ (а); $f = 0,1 \text{ мм/об}$ (б) [12]

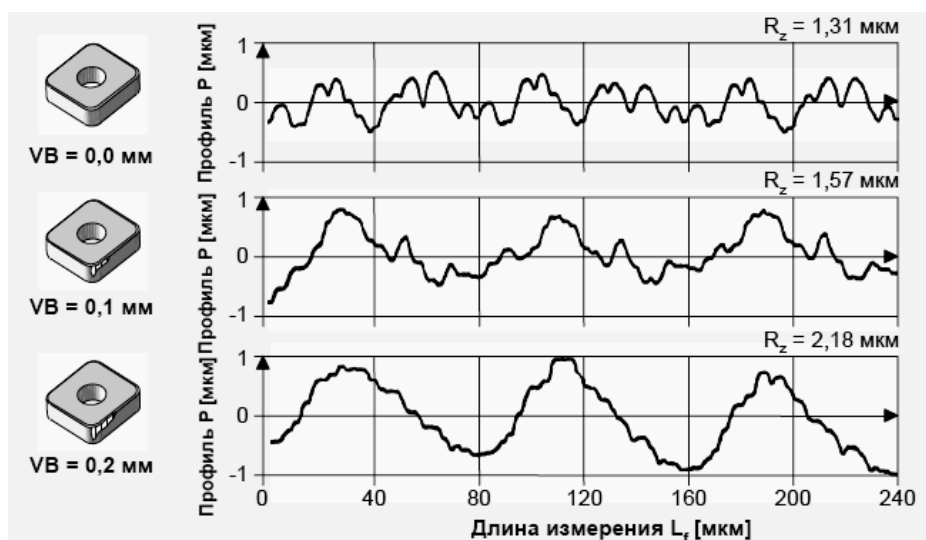


Рисунок 1.3 - Микропрофиль обработанной поверхности в зависимости от величины фаски износа VB режущего инструмента. Материала детали ШХ15 (56,5 HRC); инструментальный материал PCBN+TiC; тип пластины DNMA 150612; режимы резания: $v = 140 \text{ м/мин}$; припуск $t = 0,15 \text{ мм}$; подача $f = 0,08 \text{ мм/об}$; радиус скругления вершины режущей кромки 1,2 мм [12]

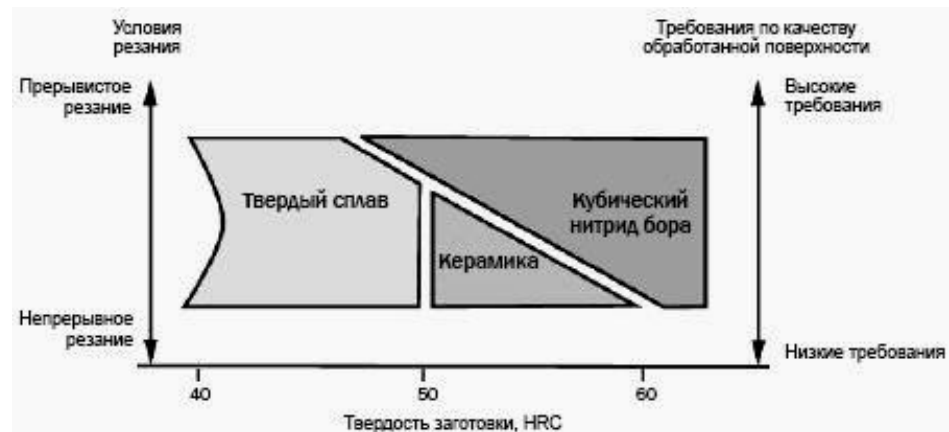


Рисунок 1.4 - Рекомендации по выбору инструментального материала для твердого точения [9]

Так, инструмент на основе СА позволяет эффективно обрабатывать детали из углеграфита, силицированного графита, изделий с детонационными керамическими покрытиями на основе Al_2O_3 , $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Ti}_2$ (80-85 HRA) и деталей из полимерных композиционных материалов.

Однако данные материалы имеют высокую стоимость, что сказывается на себестоимости обработки. С целью снижения себестоимости обработки вместо дорогих материалов разработаны нитридная керамика Si_3N_4 , а также новый керамический материал – AlMgB_{14} , который при твердости, близкой к алмазу, обладает рекордно низким коэффициентом трения $\mu=0,02$ (для сравнения: у тефлона $\mu=0,05$), однако является очень хрупким, что ограничивает его применение при обработке прерывистых поверхностей.

Также перспективным направлением в разработке новых инструментальных материалов для лезвийной обработке являются технологии нанесения функциональных покрытий. К настоящему времени большая часть наносимых покрытий представляет из себя многофазные наноструктурированные композиты, обладающие уникальными

характеристиками износостойкости, твердости. Как правило, это система покрытий, состоящая из двух слоев – твердого наноструктурированного композита и верхнего функционального слоя (например, $\text{TiAlN}+\text{W}-\text{CN}$ – для снижения трения, или $\text{AlTiN}+\text{Al}_2\text{O}_3$ для повышения теплостойкости). Следует отметить, что описанный подход к созданию эффективных покрытий для лезвийной обработки реализуется в последних разработках мировых лидеров в этой области – компаний Oerlikon Balzers, Sandvik Coromant, MITSUBISHI.

Создание специальных конструкций режущих инструментов – еще одно перспективное направление обеспечения эффективности процессов лезвийной обработки. Оптимизация геометрии режущей кромки инструмента (рис. 1.5) позволяет в значительной степени улучшить процесс обработки закаленных материалов как с точки зрения обеспечения качества обрабатываемых поверхностей, так и износостойкости инструмента [3, 5, 6].

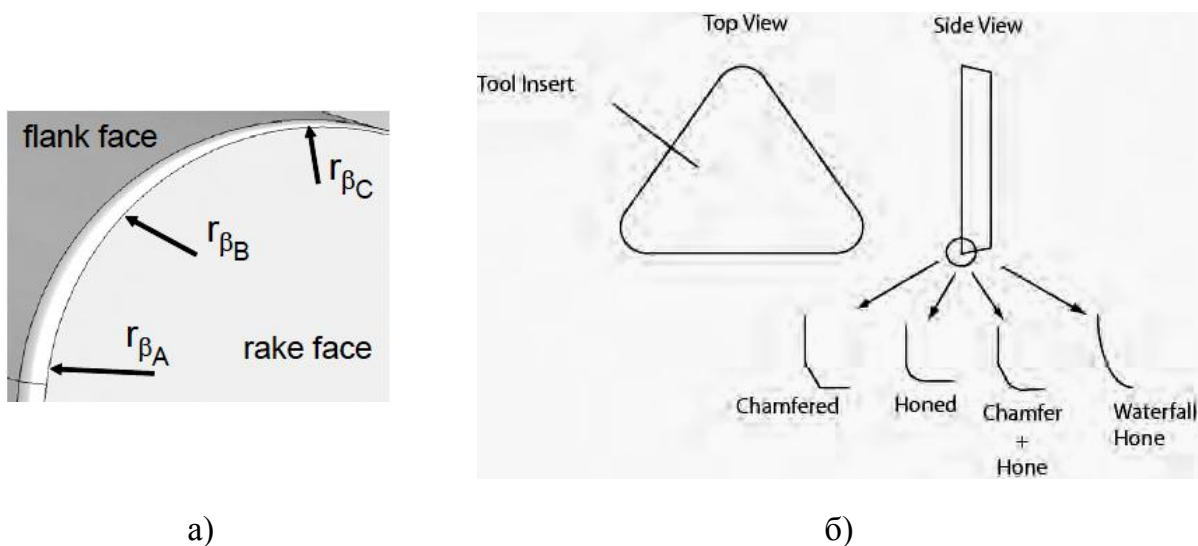


Рисунок 1.5 - Варианты оптимизации геометрии режущей кромки инструмента: а) геометрия с переменным радиусом скругления режущей кромки в направлении действия силы резания P_x ; б) геометрия с различными фасками и скруглениями в направлении действия силы резания P_z

В качестве примера, на рис. 1.6 представлены результаты некоторых исследований по влиянию геометрии инструмента на температуру и напряжения, действующие на его режущую кромку [6]. Как следует из рис. 1.6 влияние геометрии инструмента на температурно-силовые показатели процесса обработки носит экстремальный характер. При оптимальной геометрии инструмента наблюдается снижение температуры и напряжений, действующих на режущую кромку инструмента. Как следствие это приводит к повышению его износостойкости.

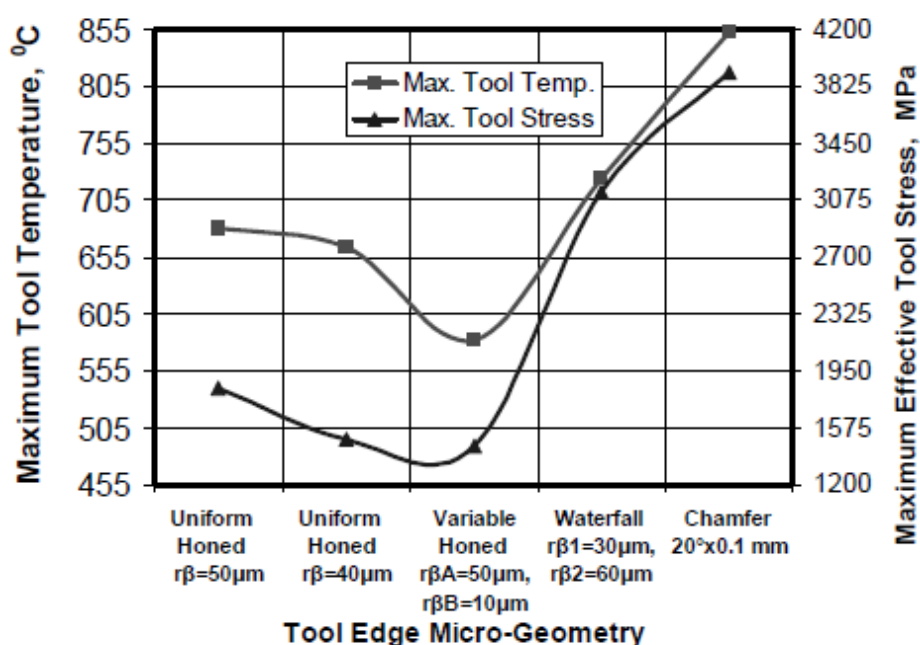


Рисунок 1.6 - Влияние геометрии инструмента на характер распределения температуры и напряжения в режущем лезвии.

На рис. 1.7 представлен эффект, заключающийся в снижении шероховатости поверхности и обеспечении высокой производительности от применения пластин Wiper с зачистной кромкой, разработанные фирмой Sandvik Coromant.

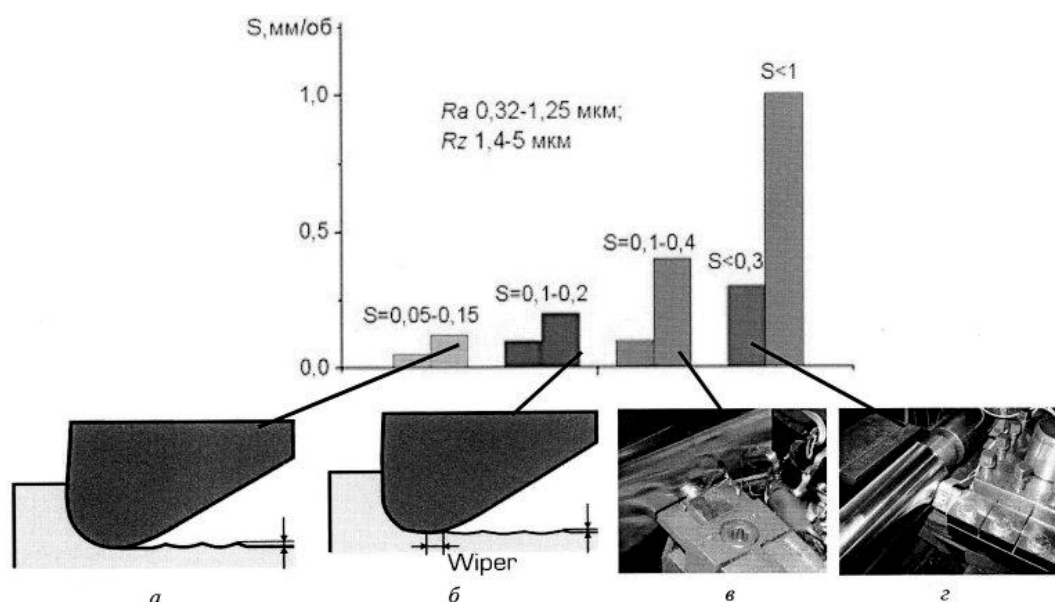


Рисунок 1.7 - Методы финишного твердого точения инструментом из СТМ:

а) инструмент со стандартной геометрией; б) инструмент с Wiper-геометрией; в) инструмент с цилиндрической передней поверхностью; г) однокромочный косоугольный инструмент

Зачистная режущая кромка обеспечивает при работе пластины минимальный вспомогательный угол в плане, что позволяет увеличивать рабочую подачу без потери качества обработанной поверхности. При увеличении подачи вдвое сокращается и путь резания, а соответственно и износ пластины. Революционность этого решения в том, что повышение производительности достигается одновременно с увеличением ресурса инструмента.

Для пластин из КНБ и керамики уже существует два варианта геометрии Wiper. Геометрия WH – основная геометрия позволяющая достигнуть максимальной производительности. Дополнительная геометрия WG создаёт низкие усилия резания и применяется для высокоскоростной обработки при высоких требованиях к качеству обработанной поверхности.

С развитием лезвийной обработки, появлением современных мелкодисперсных твердых сплавов, расширением сферы применения высокоскоростного резания, твердого точения область применения абразивной обработки шлифованием сужается: термообработанные детали подвергают токарной обработке с обеспечением высокого качества обработанной поверхности. Кроме того, шлифование предполагает применение вытяжных устройств, СОЖ, обслуживание абразивного инструмента, компенсацию работникам вредных условий труда, что существенно удорожает обработку.

2. Теоретическое исследование технологии твердого точения

2.1 Постановка задачи моделирования обработки закаленных деталей

При обработке закаленных деталей, важным фактором, влияющим на точность обработки, являются значительные усилия резания, которые приводят к упругому отжатию инструмента, возникновению колебаний и как следствие ухудшение качества обработки. Анализ исследований показал, что обеспечение стационарных (устойчивых) условий при твердом точении позволяет управлять упругими перемещениями [11]. Принцип такого управления возможно реализовать в современных системах ЧПУ открытой архитектуры [15, 17, 18]. Современные системы ЧПУ позволяют на программном уровне реализовывать алгоритмы стабилизации силы резания [17].

Таким образом, первоначально ставится задача о идентификации составляющих сил резания при твердом точении. Решение данной задачи основывается на возможности диагностирования моментов и нагрузок в электроприводах станка, так как будет более подробно изложено в разделе 3.

Схема процесса обработки на токарном станке с ЧПУ представлена на рис. 2.1. В процессе механической обработки задача системы ЧПУ заключается в обеспечении и стабилизации заданного положения инструмента относительно обрабатываемой детали (обеспечение точности обработки). Это обеспечивается за счет управления электроприводами станка по сигналу обратной связи, поступающего с энкодеров (см. рис. 2.1). В современных системах ЧПУ и в частности в системе FlexNC реализован принцип прямого управления моментами двигателей (DTC технология) [17].

В свою очередь моменты и нагрузки на электроприводах находятся во взаимосвязи с условиями силовой обстановке в зоне резания.

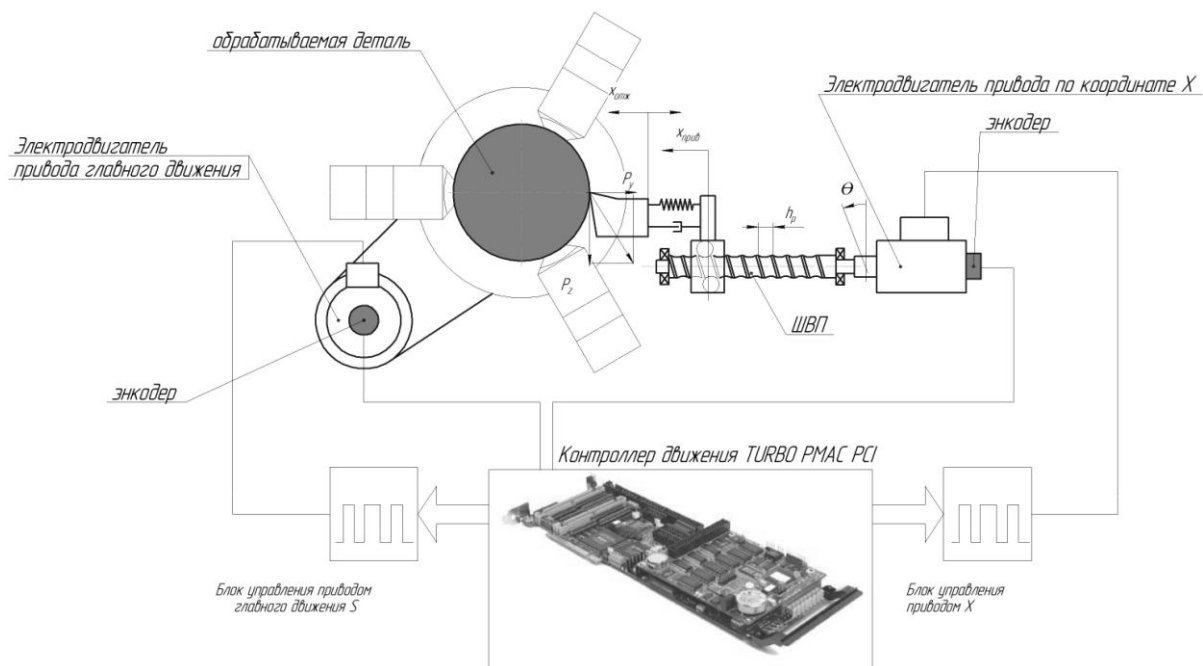


Рисунок 2.1 – Схема процесса обработки на токарном станке с ЧПУ

На рис. 2.2 приведена структурная схема управления электроприводом станка с ЧПУ по определенной координате.

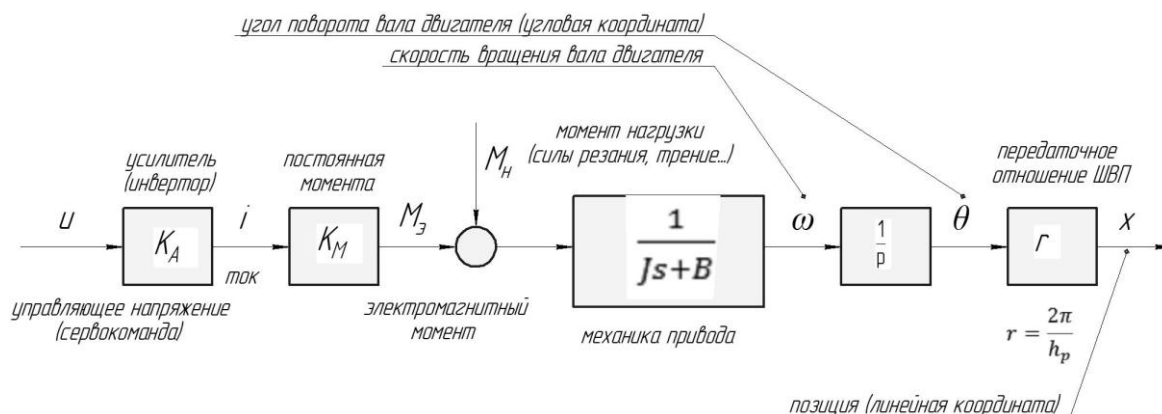


Рисунок 2.2 – Структурная схема управления электроприводом станка с ЧПУ

Из контроллера движения системы ЧПУ подается управляющий сигнал в виде напряжения u , называемой сервокомандой [15]. Значение этого напряжения для большинства систем ЧПУ составляет ± 24 В. Это напряжение инвертируется в ток, поступающий на обмотки электродвигателя и тем самым изменяя его электромагнитный момент. Через передаточную

функцию, характеризующую механику кинематической цепи привода, момент преобразуется в угловую скорость вращения привода станка. Для привода поступательного перемещения (привод подачи) через передаточное отношение шариковой винтовой пары (ШВП) угловая скорость преобразуется в линейную координату. Угловая скорость и линейная координата считывается датчиками обратной связи и подается в входной блок контроллера движения (см рис. 2.1), где сравнивается с заданным сигналом от системы ЧПУ. Ошибка рассогласования в контроллере минимизируется с помощью специальных алгоритмов (наиболее распространенный это пропорционально-интегрально-дифференциальный алгоритм управления ПИД-алгоритм) и преобразуется на выходе из контроллера в управляющее напряжение. Однако, в результате процессов механической обработки на привод действуют возмущающие факторы в виде силы и моментов резания. Эти факторы вызывают рассогласование в системе и могут увеличить тем самым ошибку позиционирования. Таким образом, задача контроллера заключается в минимизации ошибки с учетом динамики возмущающих факторов, в частности сил и моментов резания.

Рассмотрим схему процесса механической обработки на примере ортогонального резания (рис. 2.3). В основу модели положено представление об одномассовой модели [15]. Уравнение динамики описывается следующими уравнениями:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + C \frac{dy}{dt} + ky(t) = F_y(t) \quad (2.1)$$

где m – масса колеблющегося элемента, кг; C – коэффициент затухания (коэффициент кинематической вязкости), Нс/м; k – коэффициент жесткости

контактного взаимодействия инструмента с обрабатываемой поверхностью, Н/мм; $F_y(t)$ - переменное значение составляющей силы резания, Н.

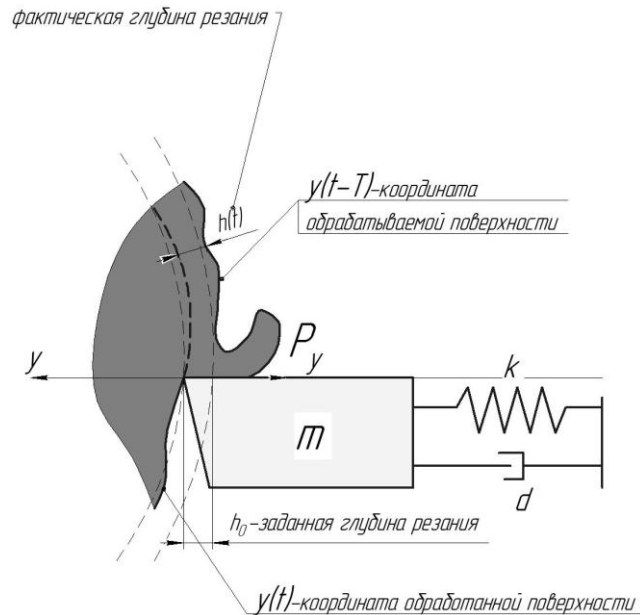


Рисунок 2.3 – Схема процесса ортогонального резания

Составляющую силу резания можно представить в виде следующей приближенной линеаризованной модели:

$$F_y(t) \approx K_F b h(t) \quad (2.2)$$

где K_F – коэффициент пропорциональности, учитывающий «жесткость» контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью

b – ширина снимаемой стружки в расчете на один оборот детали, величина пропорциональная величине продольной подачи s , мм

$h(t)$ – переменная глубина резания, мм.

Переменную величину съема припуска $h(t)$ можно представить следующим соотношением [8]:

$$h(t) = h_0 - [y(t) - y(t - \tau)]$$

где $y(t)$ – функция характеризующая форму обработанной поверхности,

$y(t - \tau)$ – функция, характеризующая форму обрабатываемой поверхности,

h_0 – величина заданного припуска на обработку, мм

$\tau = \frac{60}{n}$ – время одного оборота, с.

Преобразуем уравнение (2.1) к виду

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2\xi\omega_0 \frac{dy}{dt} + \omega_0^2 y(t) = \frac{HVs}{m} [h_0 - y(t) - y(t - \tau)] \quad (2.3)$$

где $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} = 2\pi n$ – угловая скорость вращения заготовки, рад/с,

$\xi = \frac{c}{2\sqrt{km}}$ – амплитуда колебаний инструмента, мм

Применяя к уравнению (2.3) преобразования Лапласа и учитывая, что $y(t - \tau) = y(p) \exp(-p\tau) \approx y(p) \exp(-p\tau)$ получим следующую передаточную функция процесса резания

$$W(p) = \frac{y}{h_0} = \frac{HVs/m}{p^2 + (0,066\pi\xi n + \frac{60HVs}{nm})p + \omega_0^2} \quad (2.4.)$$

Полученная передаточная функция процесса резания характеризует отношение выходного сигнала (упругое отжатие технологической системы) к входному сигналу (величине заданного припуска на обработку). Исследование динамики процесса резания проводили в Matlab-Simulink [16, 19]

Simulink модель представлена на рис. 2.4.

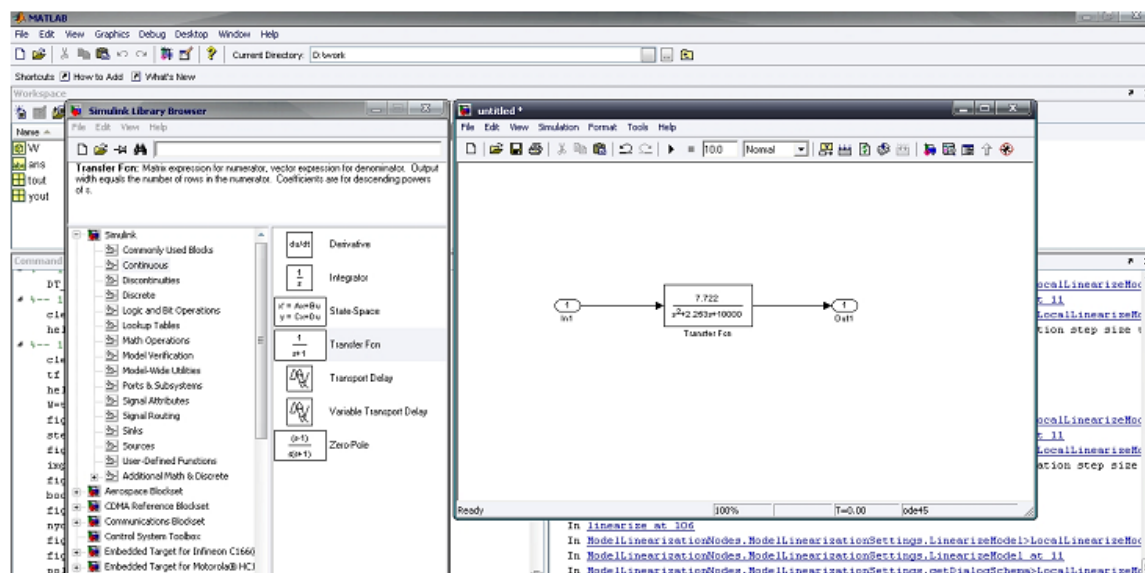
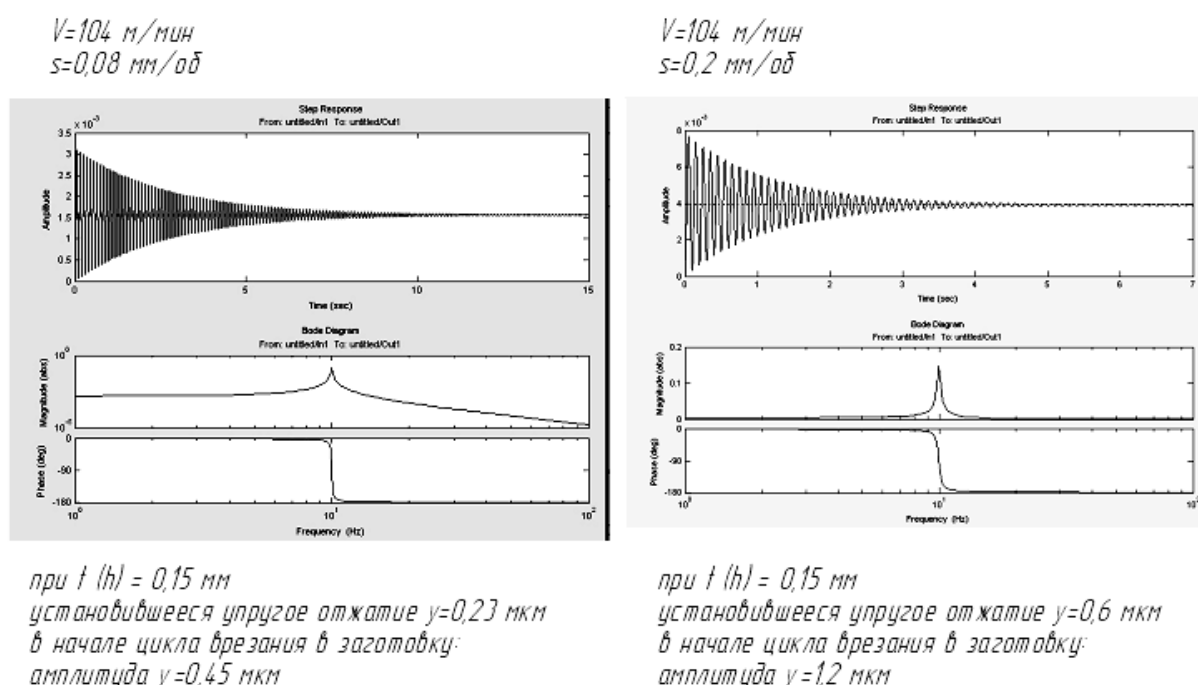


Рисунок 2.4 - Simulink модель процесса резания.

2.2. Результаты теоретического моделирования твердого точения

Результаты моделирования для четырех режимов обработки приведены на рис. 2.5.



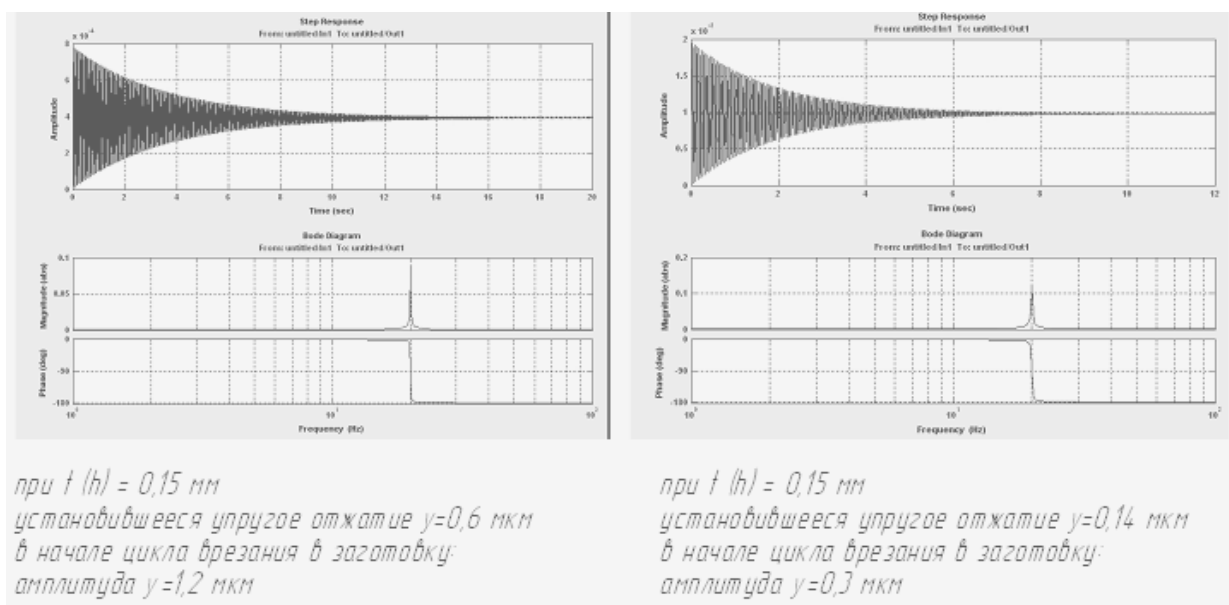


Рисунок 2.5 - Результаты теоретического моделирования

Результаты теоретического моделирования могут быть интегрированы в виртуальную модель станка. Диагностический блок Gather системы ЧПУ Flex NC [18] возможно интегрировать с программным пакетом Matlab через функцию REAL-TIME WORKSHOP® Technology и осуществлять не только on-line диагностику, но и непосредственную коррекцию алгоритмов управления электроприводами станка [17].

В программном обеспечении контроллера управления электроприводами Delta TAU имеется библиотеки настройки алгоритмов управления электроприводами, которые возможно загружать в Matlab (рис. 2.6)

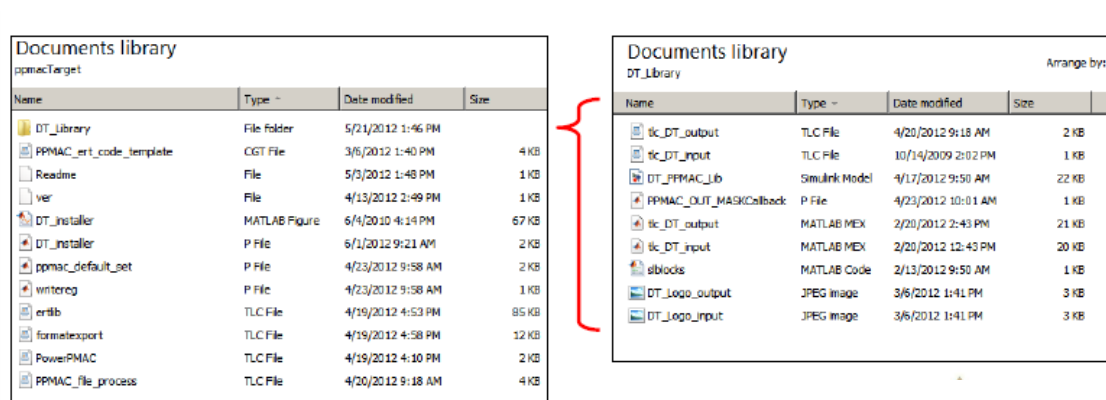


Рисунок 2.6 - Библиотеки данных в ПО контроллера движения Delta TAU

Процесс загрузки библиотек контроллера в программе Matlab представлен на рис. 2.7.

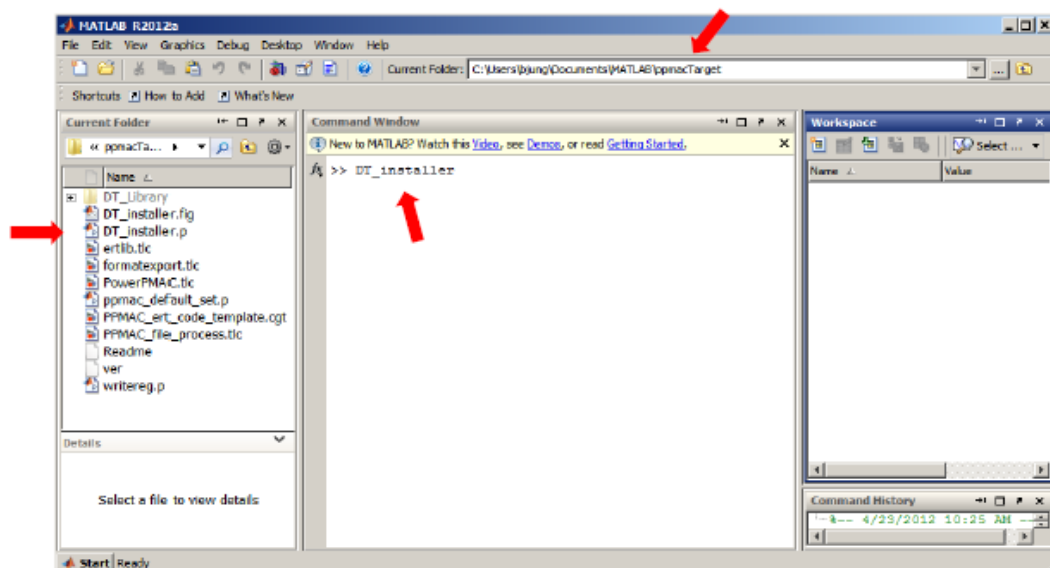


Рисунок 2.7 - Загрузка библиотек контроллера в среде Matlab

После инсталляции библиотек в Matlab возможно использовать соответствующие блоки загруженного контроллера в Simulink. На рис. 2.8 в качестве примера представлены разработанные блоки Simulink, имитирующие работу электропривода с подключенными входами-выходами контроллера

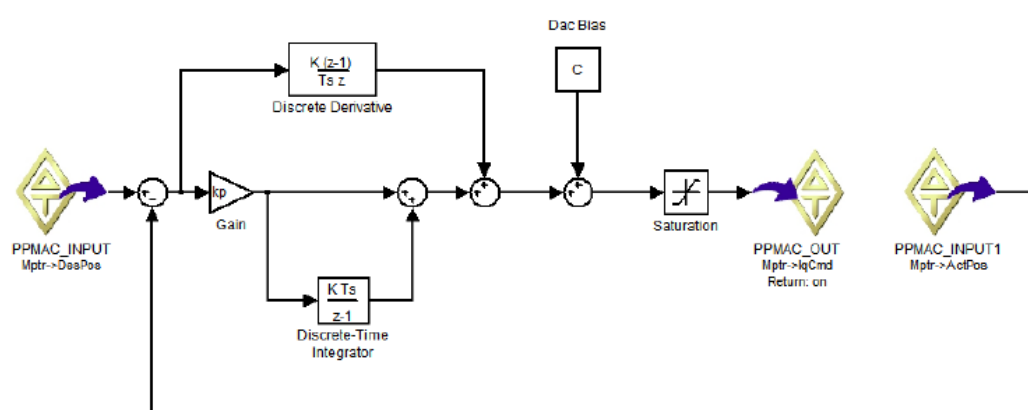


Рисунок 2.8 - Пример подключения контроллера Delta TAU системы ЧПУ Flex NC к блокам Simulink

3. Разработка методики экспериментального исследования технологии твердого точения

3.1. Методика экспериментального исследования

Используемое оборудование, инструмент и образцы

Экспериментальные исследования проводили на токарном станке с ЧПУ модели 16Б16Т1С1, оснащенным системой ЧПУ FlexNC. Общий вид станка представлен на рис. 3.1.



Рисунок 3.1 - Общий вид станка с ЧПУ модели 16Б16Т1С1

Схема процесса обработки цилиндрической заготовки приведены соответственно на рис. 3.2.

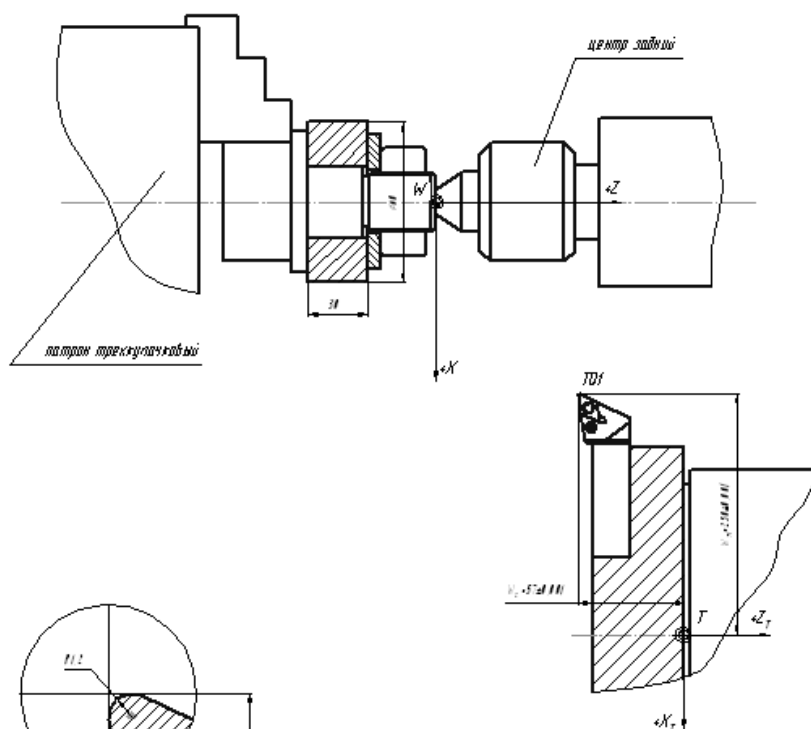


Рисунок 3.2 - Схема обработки заготовки

В качестве образцов для проведения экспериментального исследования использовали специально изготовленные детали $\varnothing 60$ мм и длиной 30 мм из стали ХВГ твердость 60 HRC.

Обработку проводили на следующих режимах:

- скорость резания - 104 м/мин; 225 м/мин
- подача - 0,08 мм/об; 0,2 мм/об;
- припуск на обработку – 0,15 мм.

В качестве режущего инструмента использовали токарный резец с механическим креплением твердосплавной пластины: державка PCLNR 25×25 M12, пластина MCB020 Mitsubishi из поликристаллического кубического нитрида бора (PcBN), предназначенная для обработки закаленных сталей.

В процессе обработки с помощью диагностических возможностей системы ЧПУ проводили в автоматическом (программном) режиме запись моментов и токов в приводах станка, согласно методике, изложенной в п. 3.

Обработку записанных значений проводили в Excel и в Matlab по методике, изложенной ниже. Рассчитывали средние значения, записанных величин, среднеквадратичное распределение и дисперсию. Проводили оценку распределения случайной величины (момента M_s , тока I_x и тока I_z).

Проведение экспериментального исследования проводили в два этапа. На первом этапе осуществляли запись значений в электроприводах станка на холостом ходу, без контактирования режущей кромки инструмента с обрабатываемой заготовкой.

На втором этапе проводили обработку заготовки с заданным припуском.

3.2 Методика сбора данных в реальном времени. Диагностические возможности системы ЧПУ FlexNC

Современные системы числового программного обеспечения позволяют в реальном времени наблюдать динамику изменения характеристик работы оборудования на экране персонального компьютера, а также сохранять данные о них на жесткий диск в числовом виде. Числовые характеристики, полученные с помощью функции сбора данных системы ЧПУ, необходимо обрабатывать для последующего принятия управленческих решений. Для этой цели существует множество программ математического моделирования. В системе ЧПУ FlexNC имеется диагностический блок, с помощью которого можно отследить состояния динамики электроприводов при обработке детали. Рассмотрим более подробно диагностические возможности системы ЧПУ FlexNC и разработаем методику сбора данных и их обработку.

Диагностические возможности системы ЧПУ FlexNC

После загрузки системы ЧПУ FlexNC, на экране монитора откроется программная оболочка. Для подключения функции сбора данных, на нижней панели окна программы следует выбрать функцию «Сбор дан.», во вкладке «Граф», откроется блок сбора данных системы – Gather (рис. 3.3). Чтобы исследовать определенные зависимости в работе приводов станка, нужно указать необходимые переменные. Перейти в меню выбора переменных можно, нажав в окне оператора «Выбрать...», из раздела «Переменные». Двойным щелчком мыши в таблице меню отметить крестиком величину (или несколько), которую требуется исследовать («Момент S» и «МОМЕНТ» в нашем случае) (рис. 3.3). Далее, задать период опроса данных в сервоциклах («Период, сц»), введя нужное значение в соответствующее поле. Поставить галочки в поля «По программе» в разделах «Автостарт» и «Автостоп», соответствующих началу и окончанию программы управления работой станка (рис. 3.4). Работа станка и считывание данных начинается в автоматическом режиме после автозапуска управляющей программы.

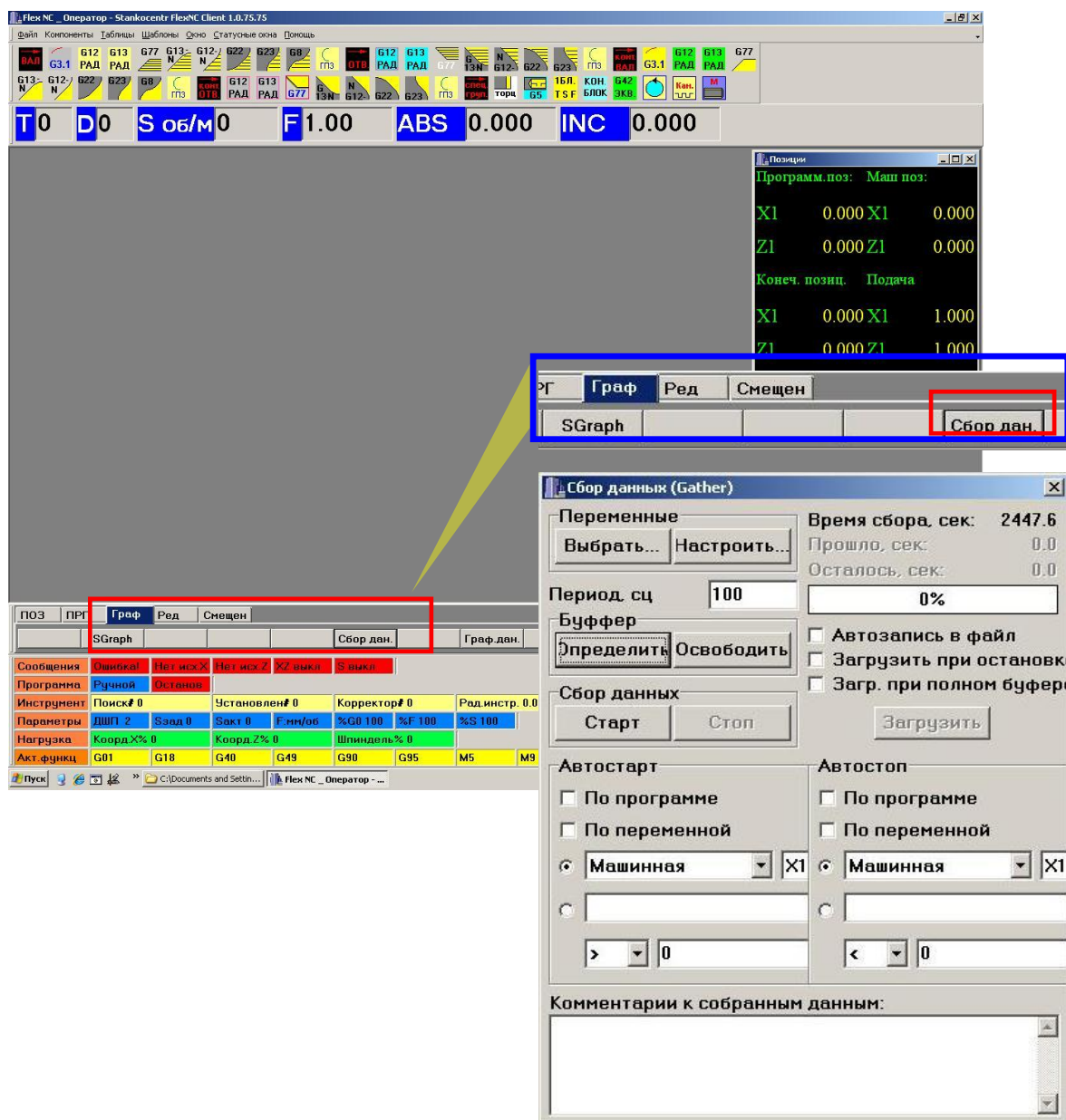


Рисунок 3.3 - Блок сбора данных Gather в системе ЧПУ FlexNC

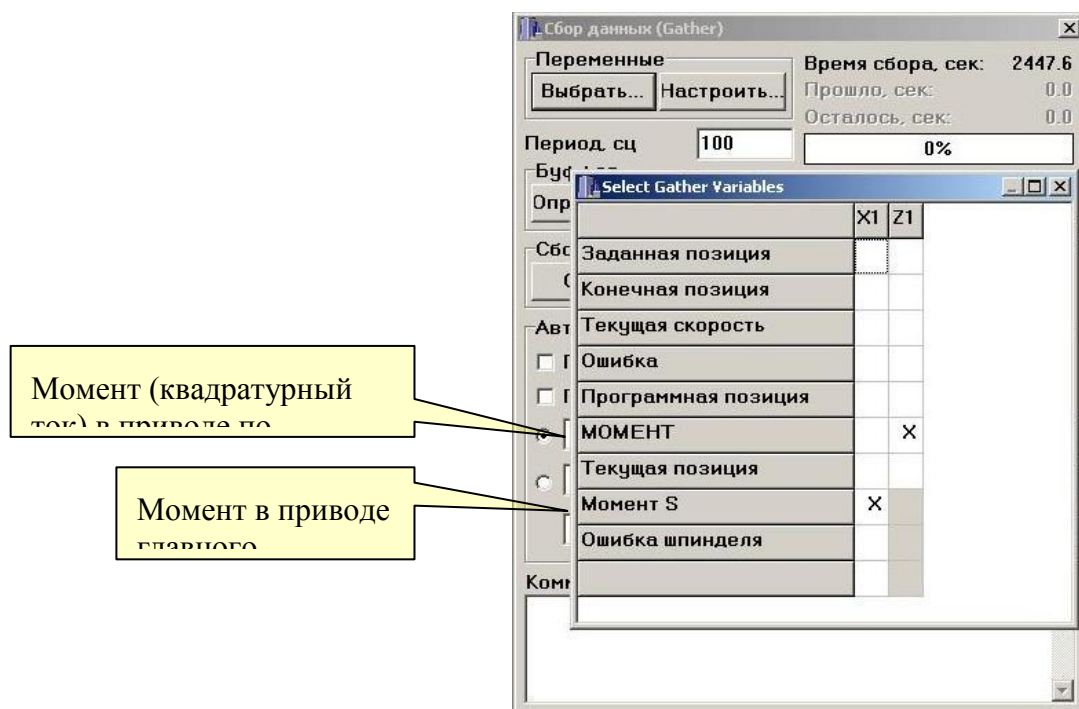


Рисунок 3.3 - Меню выбора исследуемой переменной

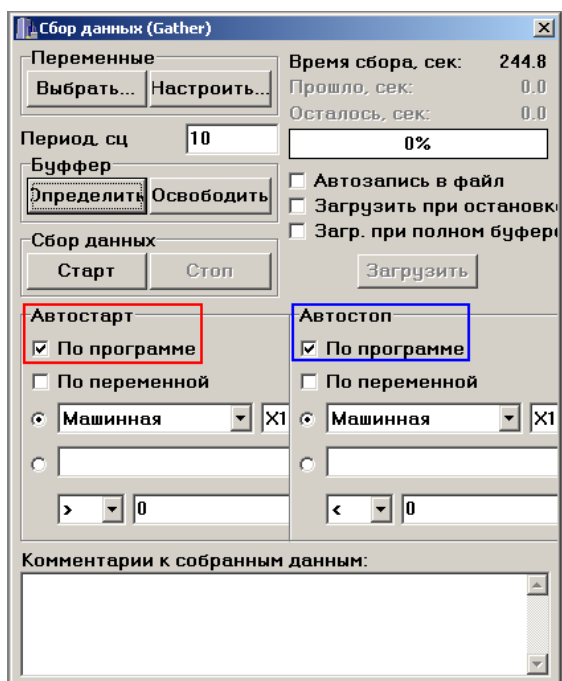


Рисунок 3.4 - Выбор режимов запуска и остановки программы сбора данных

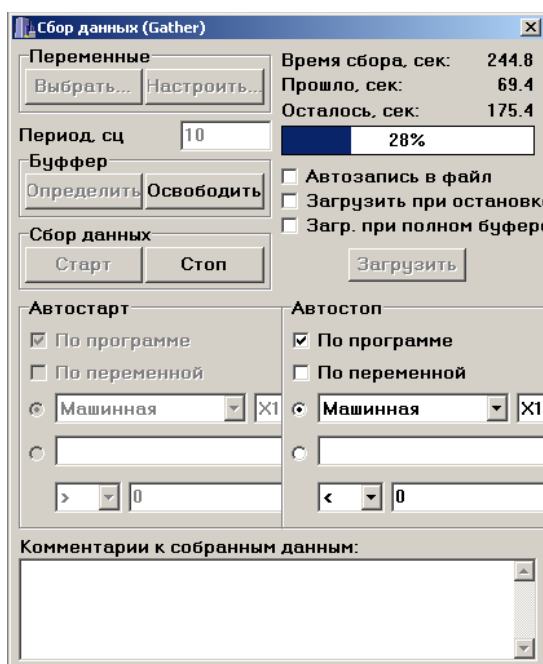


Рисунок 3.4 - Процесс сбора данных в Gather

Для вывода собранных данных, после остановки работы станка, их необходимо отобразить в графическом виде. Это осуществляется с помощью блока вывода графических данных – Gather Graphs. Чтобы включить его, следует на нижней панели выбрать функцию «Граф. дан.», во вкладке «Граф». (рис. 3.5).

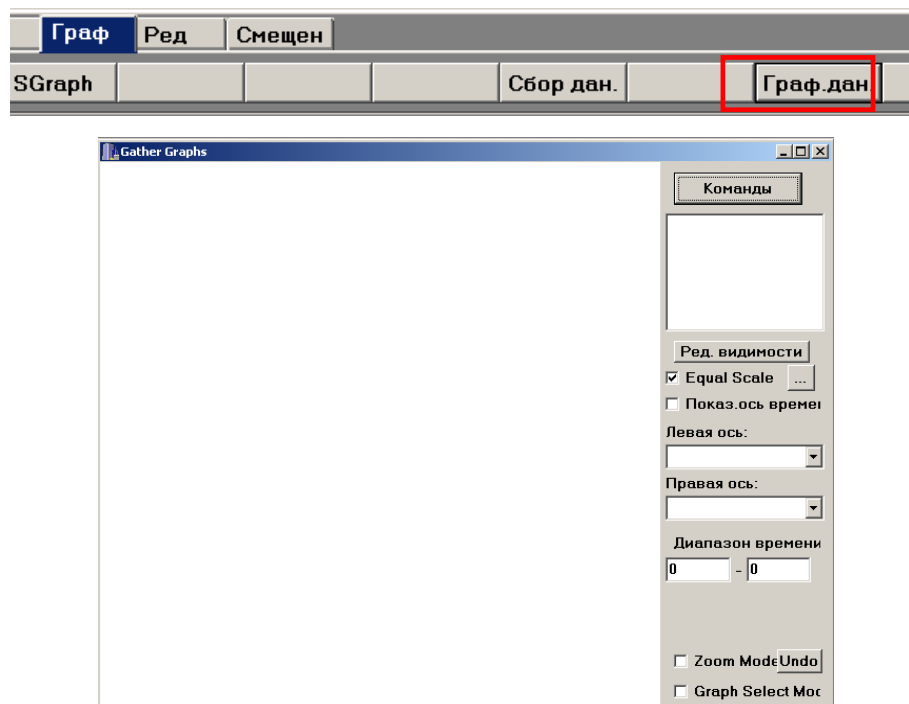


Рисунок 3.5 - Окно функции Gather Graphs

Чтобы вывести графики, требуется выбрать пункт «Считать из Gather» в меню «Команды». Для наглядного представления результата считывания данных, в область построения графических зависимостей можно выводить координатные оси, выбрав нужные параметры в полях, соответствующих данным осям (рис. 3.6). Также, есть возможность отображения в нижней части графического поля оси времени (а, вернее, шкалы, на которой в качестве единиц времени может отображаться количество периодов опроса, либо секунд), вертикальной и горизонтальной координатных сеток.

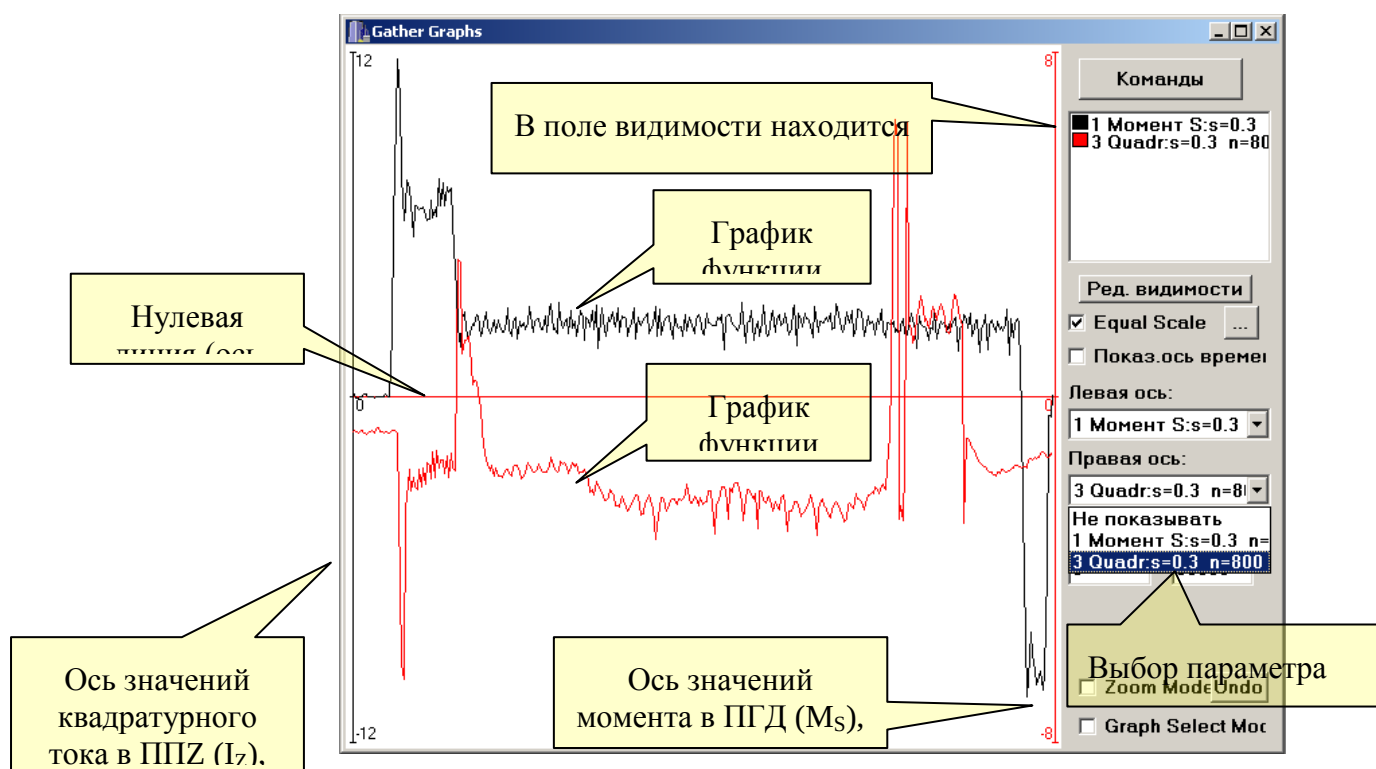


Рисунок 3.6 - Представление графических зависимостей

Сохранение данных

Чтобы сохранить полученные данные, в меню «Команды» нужно выбрать пункт «Сохранить данные» и задать путь сохранения на жёстком диске (Рис. 3.7). Данные записываются в формате *.PPL, который доступен для чтения и последующей обработки в программах Excel, MathCAD, MATLAB и др.

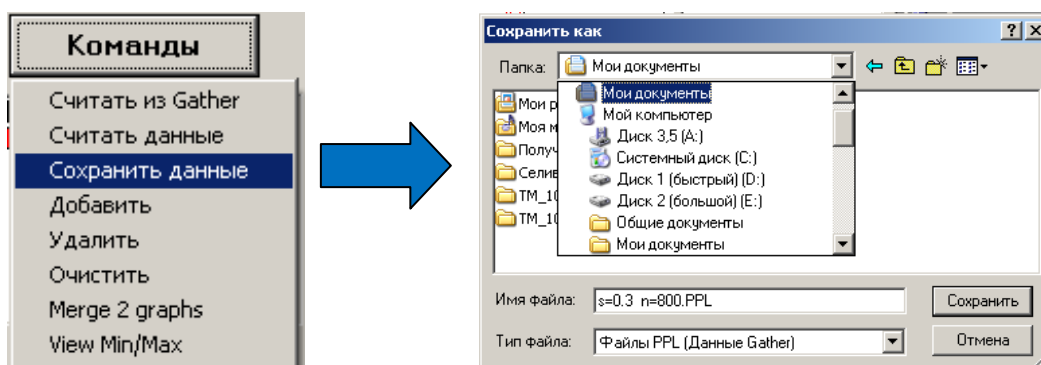


Рисунок 3.7 - Сохранение полученных данных

Методика обработки данных, считанных с приводов токарного станка в системе ЧПУ FlexNC, и отображения их в графическом виде в программе Microsoft Office Excel 2007. В рассматриваемом примере имеются исходные данные о вращающем моменте в приводе главного движения (ПГД) и о квадратурном токе в приводе подачи по координате Z (ППЗ), полученные с системы ЧПУ при обработке детали. Они являются непосредственными показателями величины нагрузки, возникающей в приводах. Данные считаны с частотой, обратной периоду опроса системы, задаваемому числом периодов сервоцикла (в системе ЧПУ FlexNC $T_{\text{сц}} = 4,427 \times 10^{-4}$ с), что означает, что интервал времени между парой соседних значений собираемых данных задается оператором в количестве сервоциклов. Необходимо исследовать влияние величины осевой подачи на изменение изучаемых параметров — момента и тока, при неизменной частоте вращения шпинделя станка.

Отображение числовых данных в MS EXCEL

Открытое главное окно MS Excel будет иметь вид, представленный на рис 3.8. В электронной таблице отображены 2 столбца значений момента M_s («1 Момент S») и тока I_z («3 Quadr») соответственно. Для анализа собранных данных, их нужно отобразить в виде графиков. Для построения графика значений выбранной величины, следует на верхней панели программы во вкладке «Вставка» выбрать пункт «Точечная», из раздела «Диаграммы», и тип диаграммы «Точечная с прямыми отрезками». В координатной плоскости полученного графика, по оси ординат отражены значения исследуемой функции (момента), а ось абсцисс автоматически размечается значениями количества единиц времени T (периодов опроса). Значение периода опроса данных, прописанное в ячейке G9, играет роль масштабного коэффициента относительно числа сервоциклов при отображении шкалы времени.

На полученном графике $M_s(T)$ можно выделить 4 режима работы электропривода главного движения (рис. 3.8):

- 1) режим ожидания, при котором практически отсутствует электрический ток в обмотках двигателя и, соответственно, вращающий момент на валу равен нулю;
- 2) пуск и разгон двигателя до достижения заданной частоты вращения;
- 3) установившийся режим работы привода с заданной частотой вращения вала двигателя с постоянной нагрузкой в приводе, при котором возмущающие воздействия (момент сопротивления) уравниваются соответствующим противодействием (вращающий момент двигателя);
- 4) электромагнитное **торможение** привода после окончания обработки.

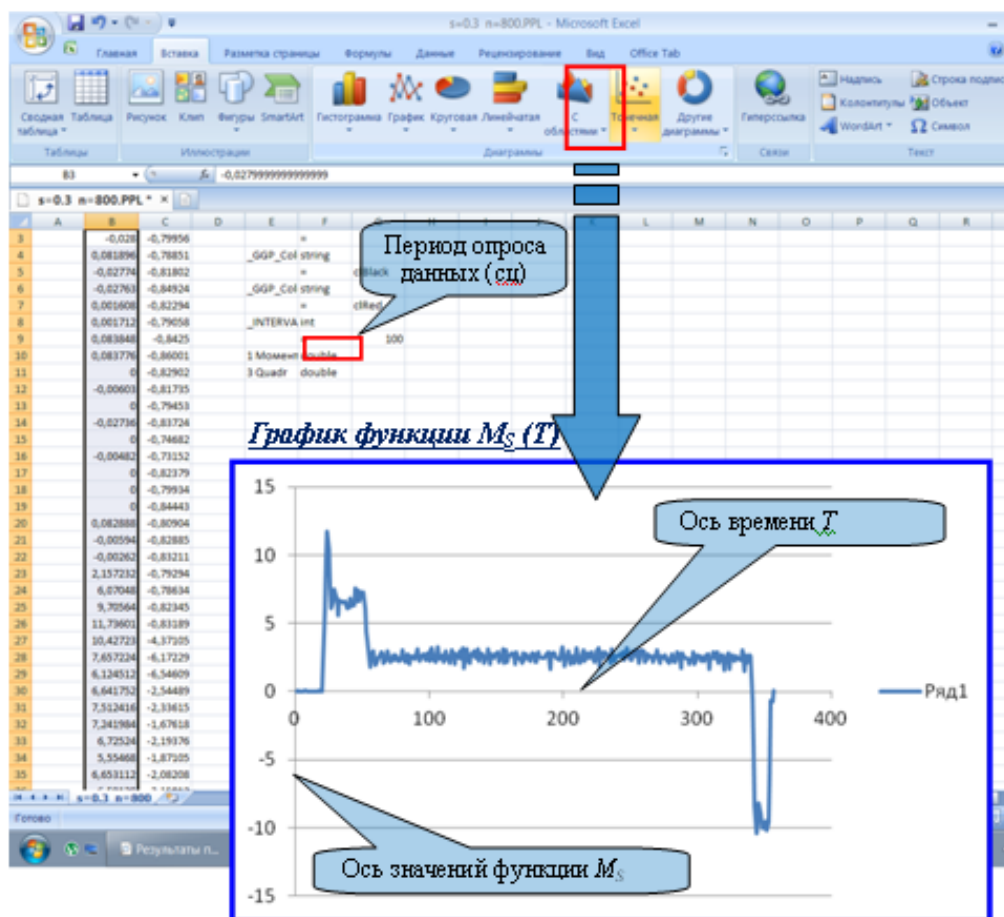


Рисунок 3.8 - Отображение графика исходных значений исследуемой величины

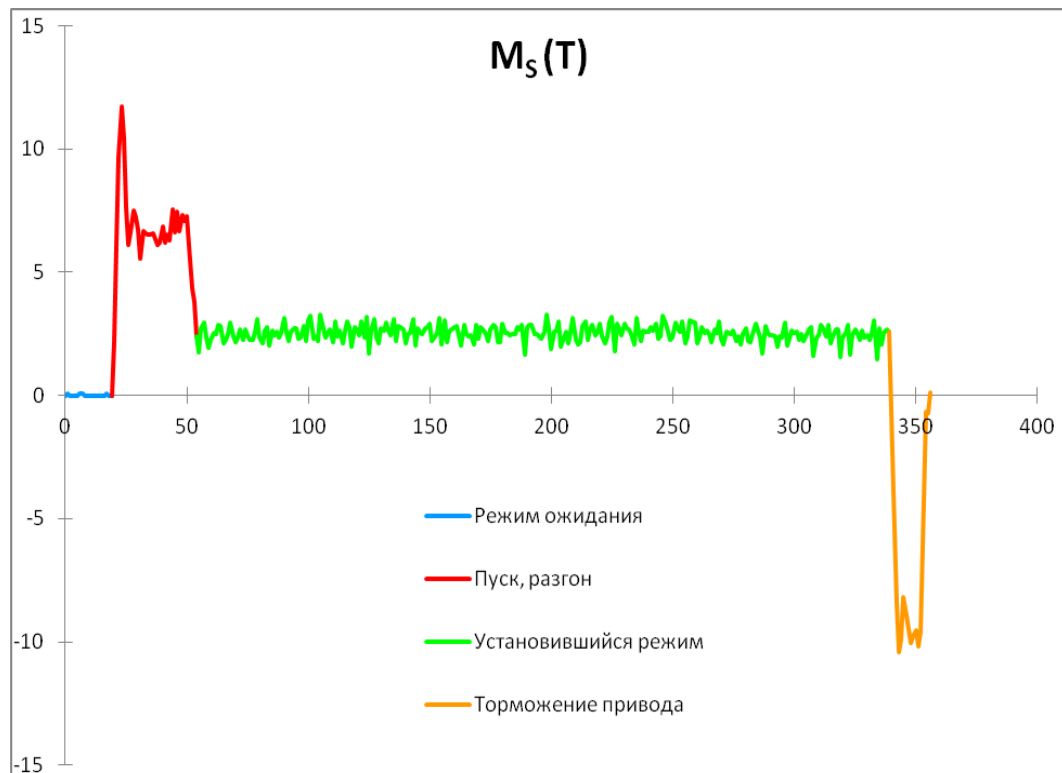


Рисунок 3.9 - Изменение значений вращающего момента в различных режимах работы привода

Соответственно, все остальные режимы, кроме третьего, будут являться переходными. Переходным режимом называется процесс перехода электропривода от одного установившегося состояния к другому, когда одновременно изменяются скорость, момент и ток двигателя, а также скорость и моменты всех звеньев кинематической цепи, соединяющей двигатель с рабочим органом механизма.

К переходным процессам относятся пуск, торможение и реверс электропривода, переход с одной скорости на другую, а также процессы, вызванные изменениями момента на валу двигателя, изменением напряжения сети.

Наилучшие условия для работы механизма – абсолютно равномерное вращение. Однако, как известно, в общем случае скорость начального звена механизма при установившемся движении является переменной величиной. Колебания скорости начального звена за время установившегося движения

могут иметь как случайный, так и систематический характер (непериодические и периодические соответственно).

Колебания скорости обоих типов нежелательны как с точки зрения динамики механизма, так и выполнения им технологического процесса. Колебания скорости вызывают в кинематических парах дополнительные динамические давления, снижающих КПД механизма, долговечность и надежность его работы.

На изображении рабочей характеристики $I_z(T)$ привода подач можно также выделить 4 режима работы:

Для изучения искомой закономерности изменения нагрузки в приводах, необходимо для каждой вариации величины подачи проанализировать выборку значений целевой функции на интервале, соответствующем работе данного привода в установившемся режиме. Для этого, в соответствующем столбце выделить значения данного интервала, прежде оценив его границы на графике работы привода с помощью наведения курсора на нужные точки. Построить график для выбранного интервала значений, выбрав тот же тип точечной диаграммы.

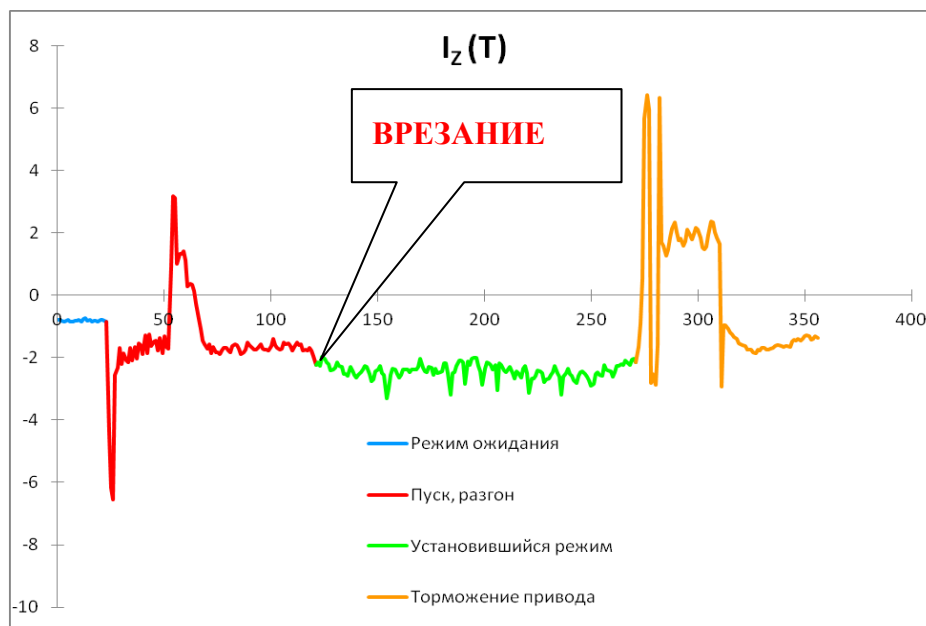


Рисунок 3.10 - Изменение значений квадратурного тока в различных режимах работы привода

На каждом режиме обработки система ЧПУ настраивается на сбор данных о величине момента и токов в приводах главного движения и подачи. На рисунке 3.11 показано диалоговое окно подключения функции сбора данных в режиме реального времени.

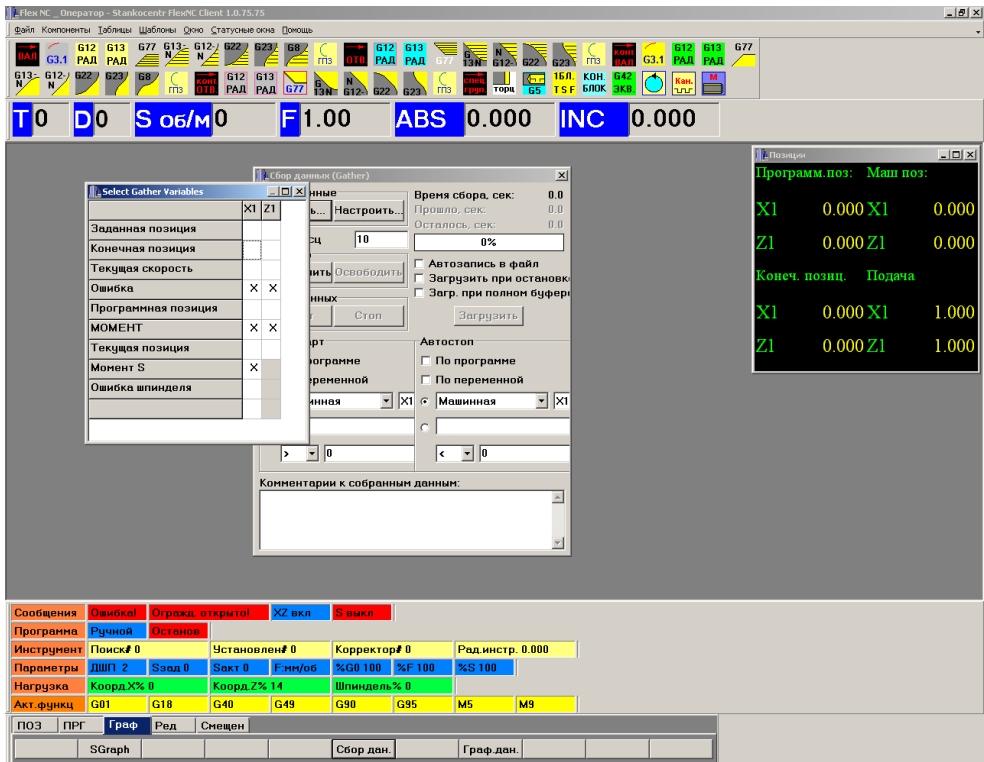


Рисунок 3.11 - Диалоговое окно в СЧПУ FlexNC для сбора данных в режиме реального времени

На рисунке 3.12 показан процесс записи диагностических данных о состоянии электроприводов в память СЧПУ.

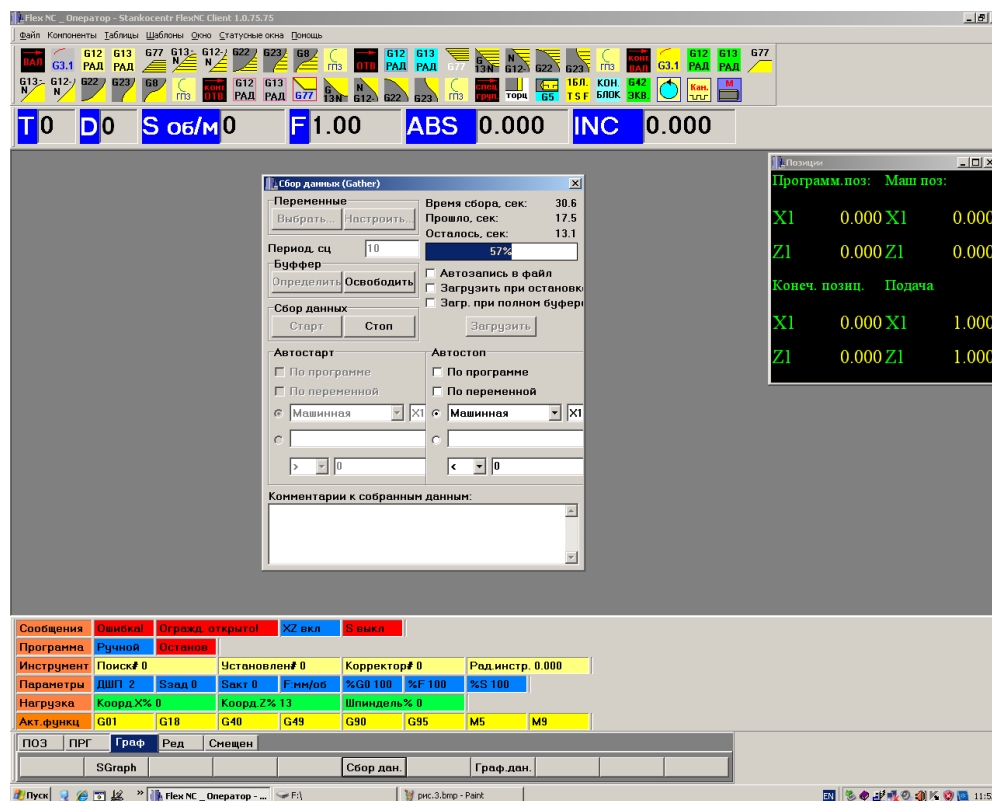


Рисунок 3.12 - Процесс сбора данных СЧПУ FlexNC

Энергетические затраты в зоне обработки зависят от исходных параметров обрабатываемого материала (твердости, структуры, плотности, неоднородности, отклонений макрогеометрии и т.д.) и определяются совокупностью внешних параметров процесса обработки (усилие P , подача S , скорость v , радиус инструмента R_i , амплитуда ξ и частота f колебаний инструмента).

Энергетические затраты в электроприводах станка определяются совокупностью их параметров (моментом в приводе главного движения, токами в приводах подачи), контролируемых СЧПУ и обеспечивающих заданные движения формообразования инструмента и обрабатываемой заготовки. Энергетические затраты в электроприводах станка связаны с технологическими параметрами обработки, определяющими в итоге выходные показатели качества обработанных изделий. На рисунке 3.13 приведены некоторые результаты записи данных в приводах станка.

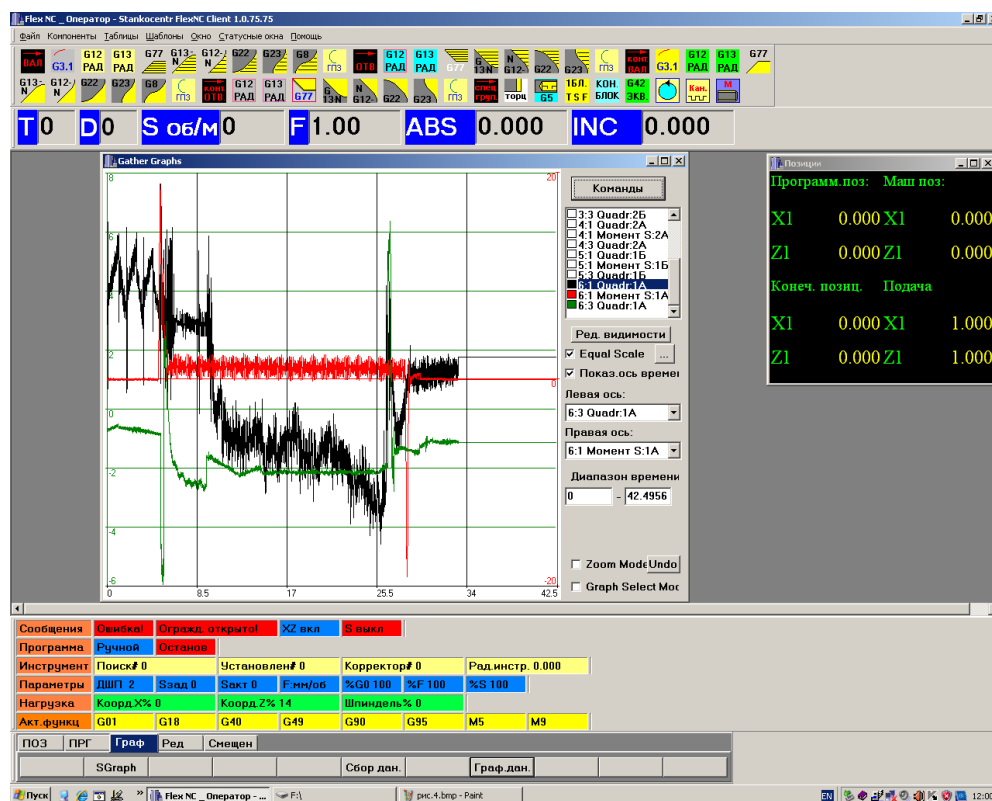


Рисунок 3.13 - Результаты записи данных в приводах станка

Результаты записи значений в приводах станка записываются в отдельный файл в формате trl, хранящийся в блоке памяти СЧПУ. Этот файл возможно использовать в реальном режиме времени для обработки значений и управления процессом обработки.

4. Результаты экспериментального исследования технологии твердого точения

4.1 Исследование изменения моментов в электроприводах станка при твердом точении

Результаты экспериментальных исследований представляют собой графические зависимости моментов в приводе главного движения, записанные системой числового программного управления. Результаты численных значений моментов отражают нагрузочные характеристики привода и позволяют дать оценку процесса резания. На рис. 4.1. для различных режимов обработки экспериментальных образцов получены записанные значения моментов в приводе главного движения. Анализ результатов исследования позволил сделать вывод о чувствительности момента двигателя в состоянии процесса обработки. Наблюдается не только изменение среднего значения момента при различных режимах обработки, но и также изменение его разброса, характеризующую некоторую функцию распределения.

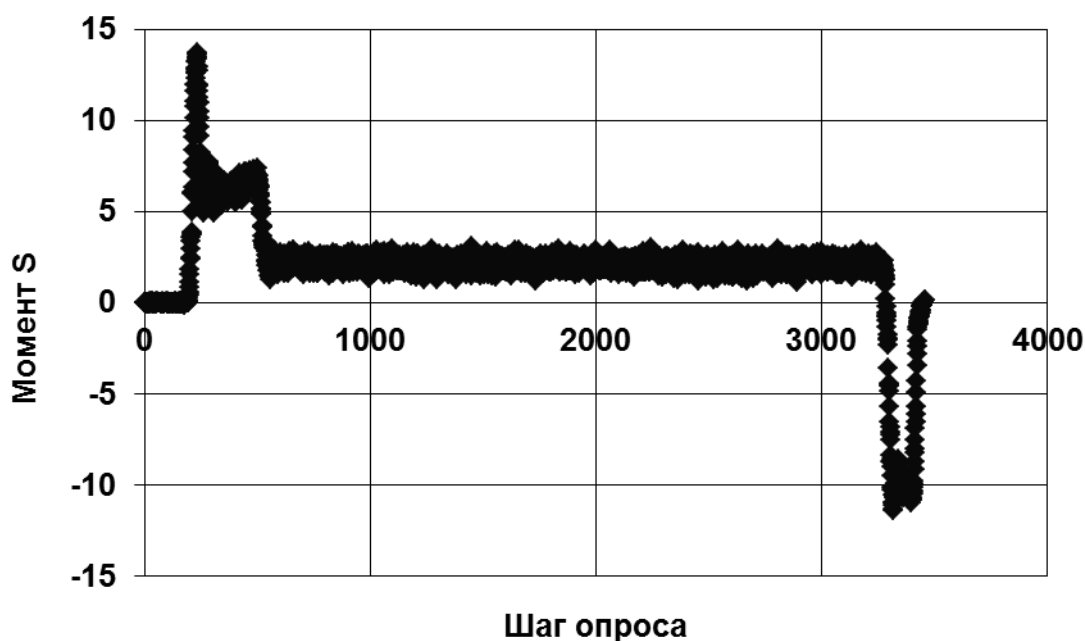
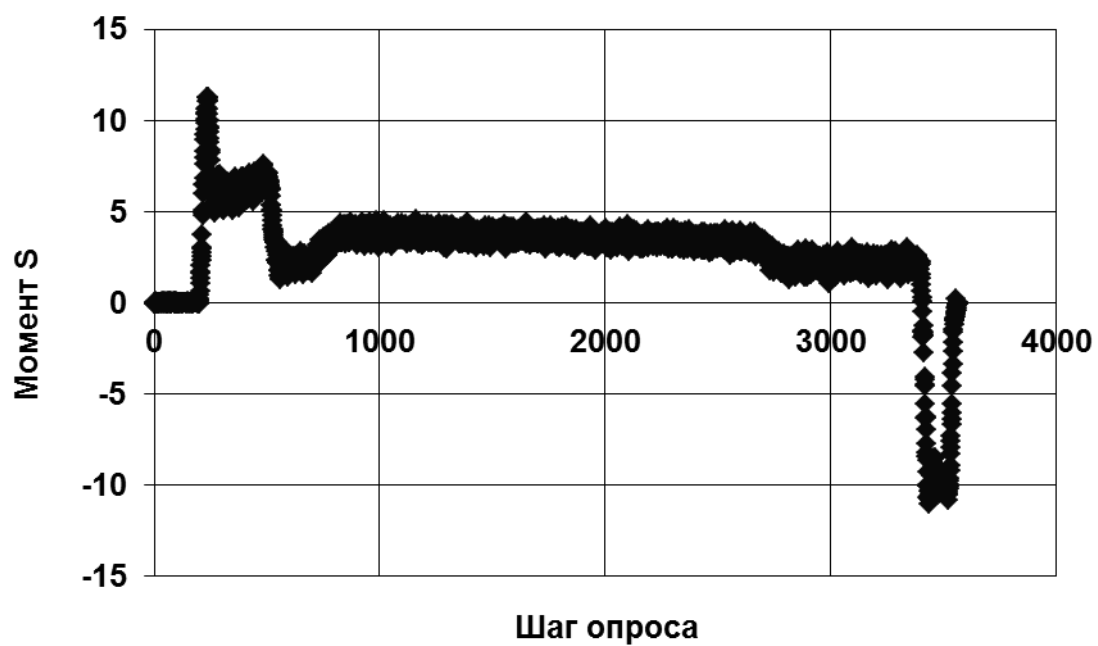
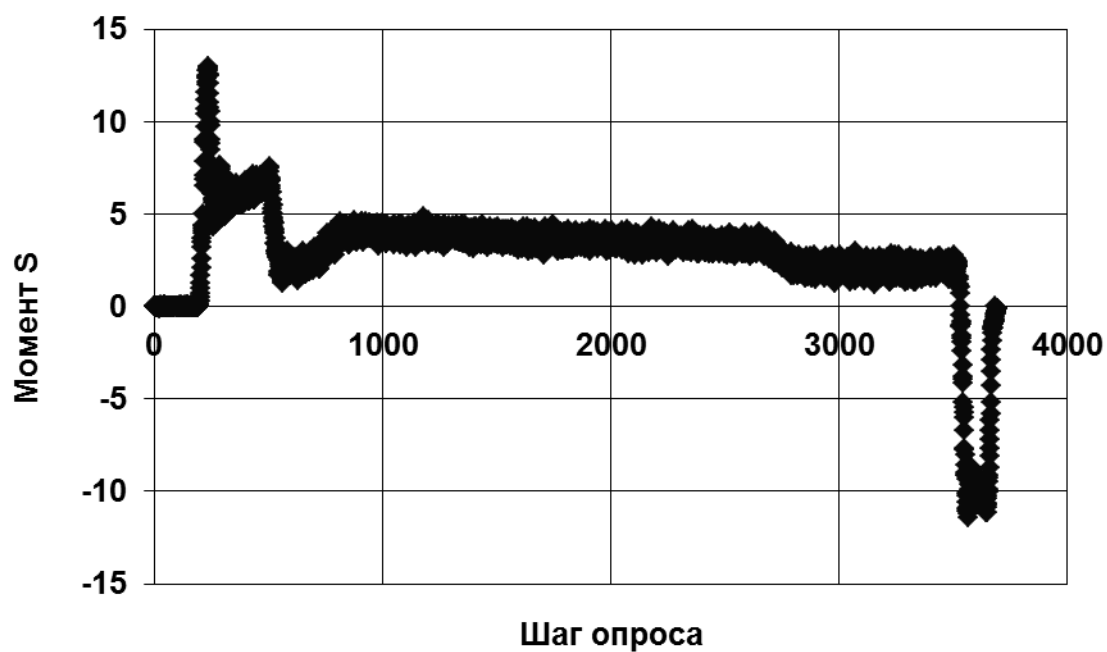


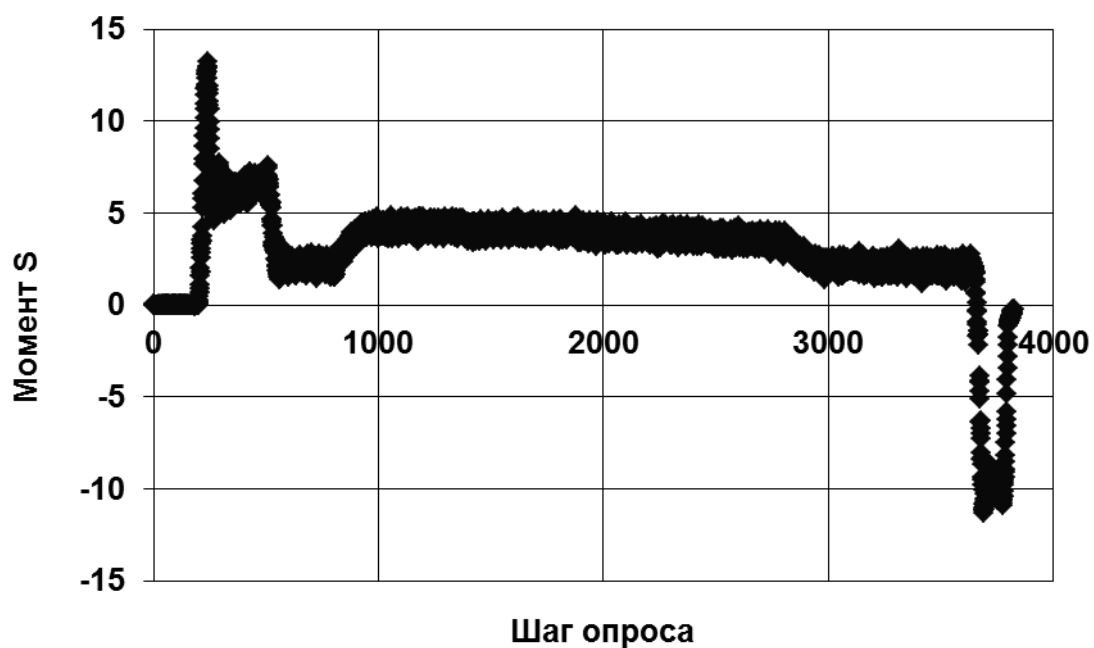
Рисунок 4.1 - Момент в приводе главного движения на холостом ходе



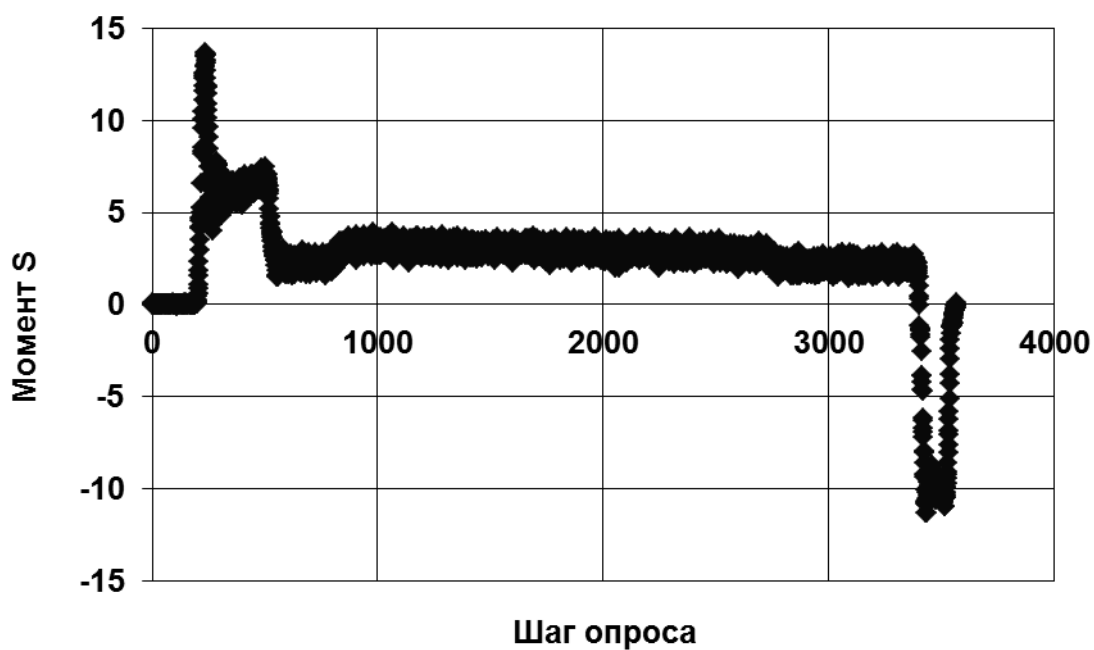
Продолжение рисунка 4.1 - Момент в приводе главного движения при резании с подачей 0,12 мм/об и припуском 0,265 мм.



Продолжение рисунка 4.1 - Момент в приводе главного движения при резании с подачей 0,12 мм/об и припуском 0,34 мм.



Продолжение рисунка 4.1 - Момент в приводе главного движения при резании с подачей 0,12 мм/об и припуском 0,4 мм.



Продолжение рисунка 4.1 - Момент в приводе главного движения при резании с подачей 0,12 мм/об и припуском 0,11 мм.

На рис. 4.2 приведены результаты разброса значений моментов при обработке на скорости резания 104 м/мин и различных значениях припуска

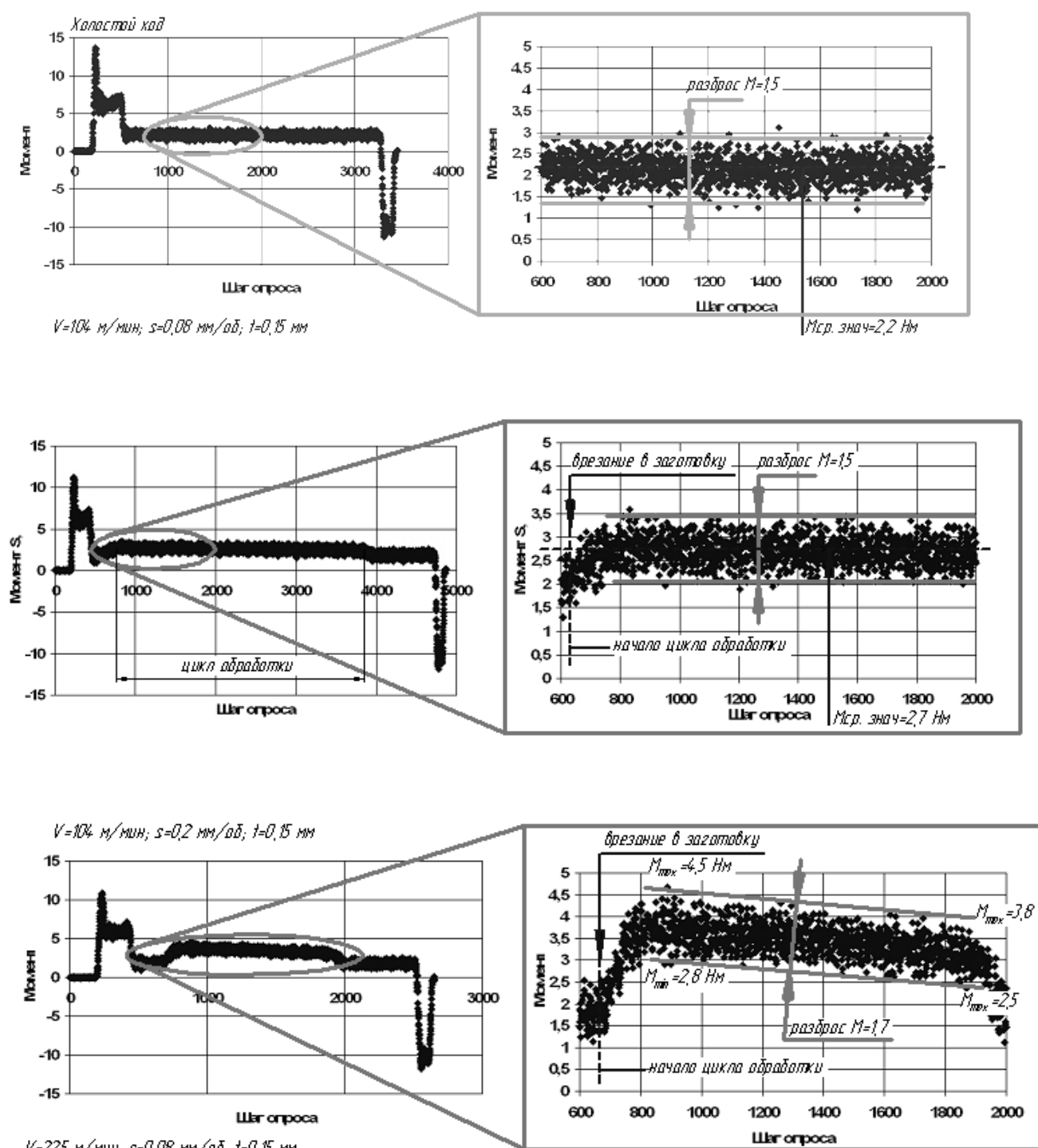
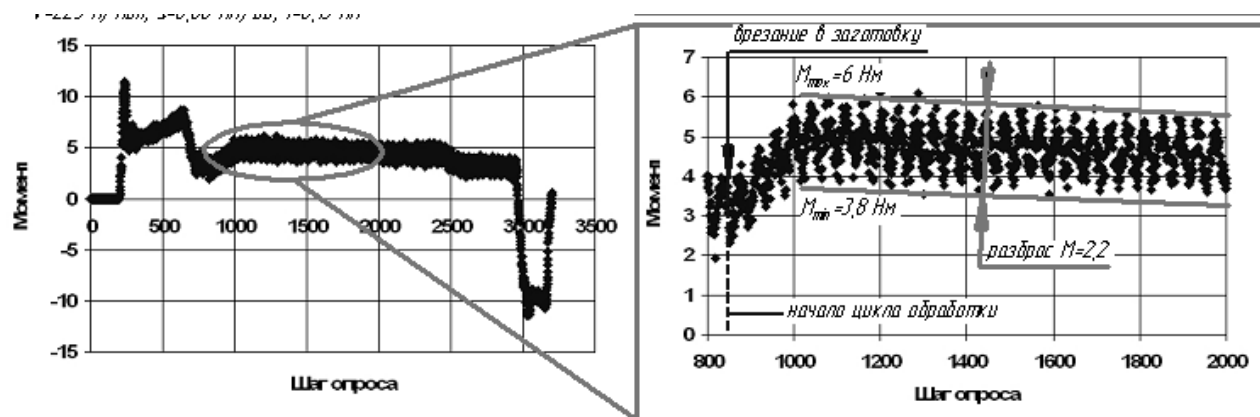


Рисунок 4.2 - Разброс значений момента в приводе главного движения при твердом точении



Продолжение рисунка 4.2 - Разброс значений момента в приводе
главного движения при твердом точении

На рис. 4.3, 4.4 приведены результаты записи погрешности позиционирования суппорта станка в зависимости от условий резания

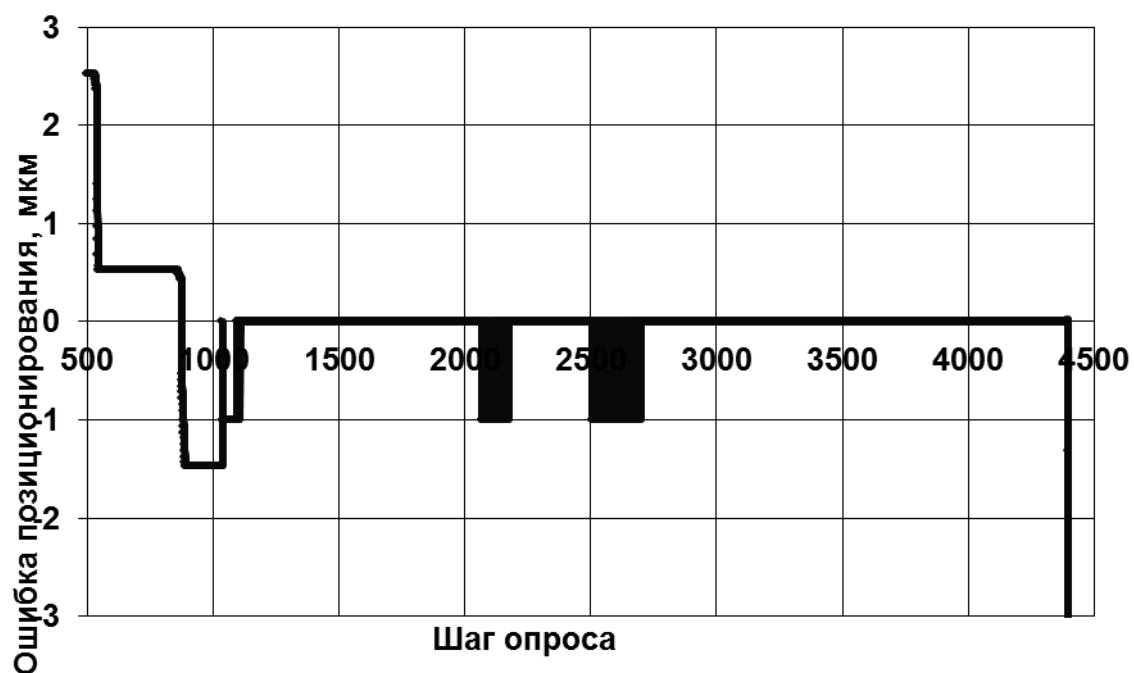


Рисунок 4.3 - Ошибка позиционирования суппорта на холостом ходе
(без обработки)

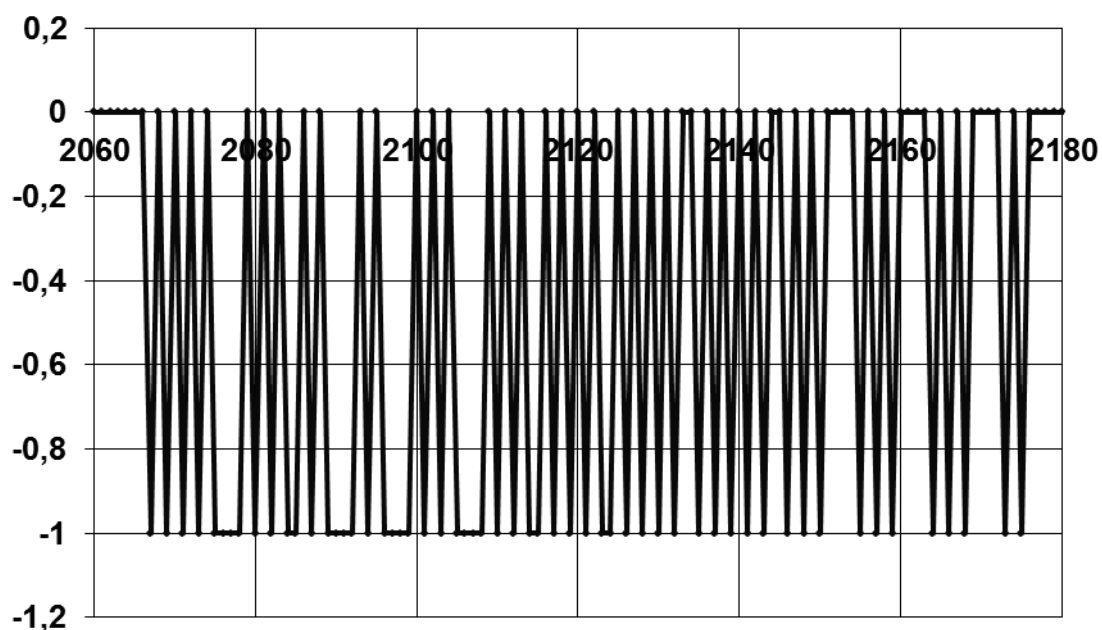


Рисунок 4.4 - Ошибка позиционирования суппорта при обработке твердым точением с неблагоприятными условиями обработки (процесс вибрации)

4.2 Исследование шероховатости обработанной поверхности

В результате разброса моментов и следовательно сил резания, снимаемый припуск в результате отжатия инструмента или детали также будет варьироваться. Представляет определенный интерес рассмотреть зависимость формируемой шероховатости поверхности от величины разброса припуска. На рис. 4.5 представлена диаграмма, на которой отображены параметры шероховатости поверхности Ra от величины припуска на обработку и величины его разброса. Как следует из анализа диаграммы величина припуска и значения его разброса влияют на показатель шероховатости поверхности. При варьировании значения припуска на обработку в диапазоне значений свыше 0,2 мм и его разбросе более 0,1 мм значения параметра шероховатости Ra составляли более 1 мкм. Оптимальный диапазон значений припуска на обработку составил величины от 0,1 до 0,2 мм при разбросе припуска до 0,1 мм.

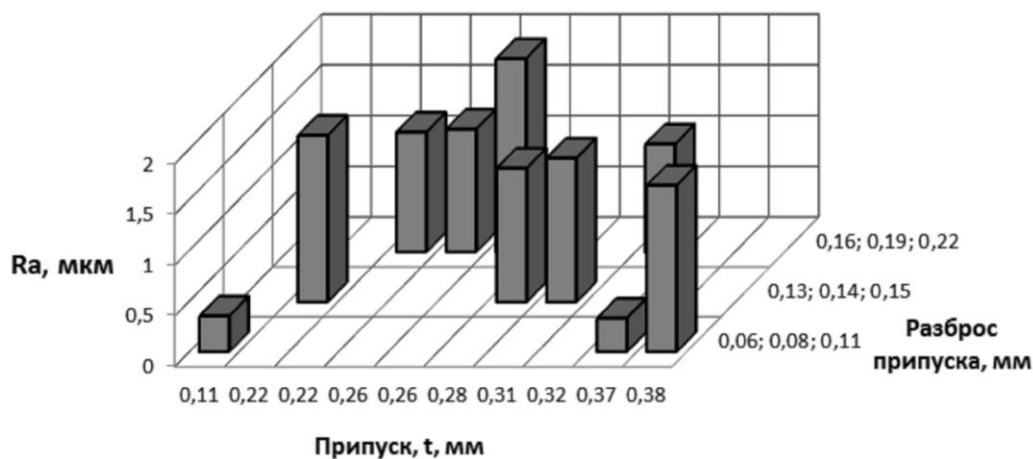


Рисунок 4.5 – Диаграмма зависимости шероховатости поверхности от величины припуска и его разброса при обработке твердым точением

В ходе работы выполнялась оценка формируемой топографии поверхности и ее шероховатости. На рис. 4.6, 4.7 представлены результаты профилографирования образцов после различных условий твердого точения

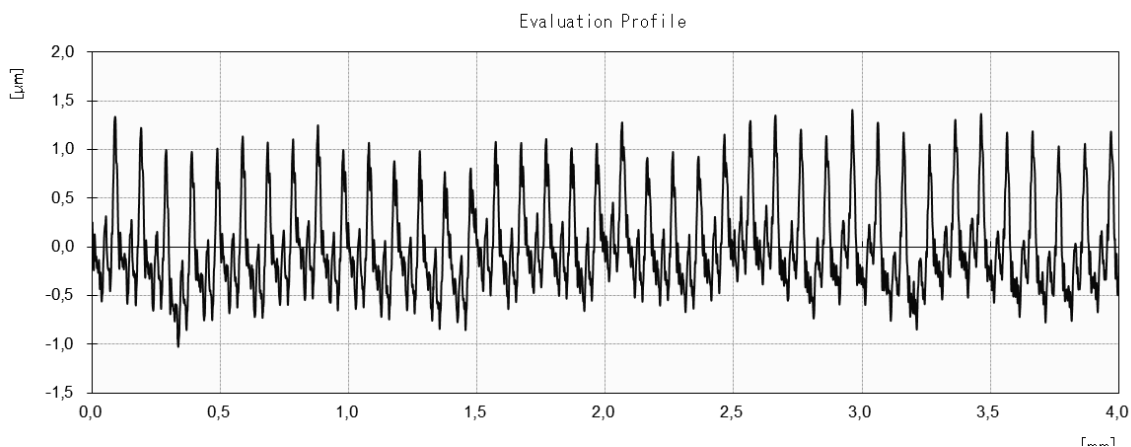


Рисунок 4.6 - Профилограмма образца, обработанного твердым точением (следы вибрации на поверхности образца)

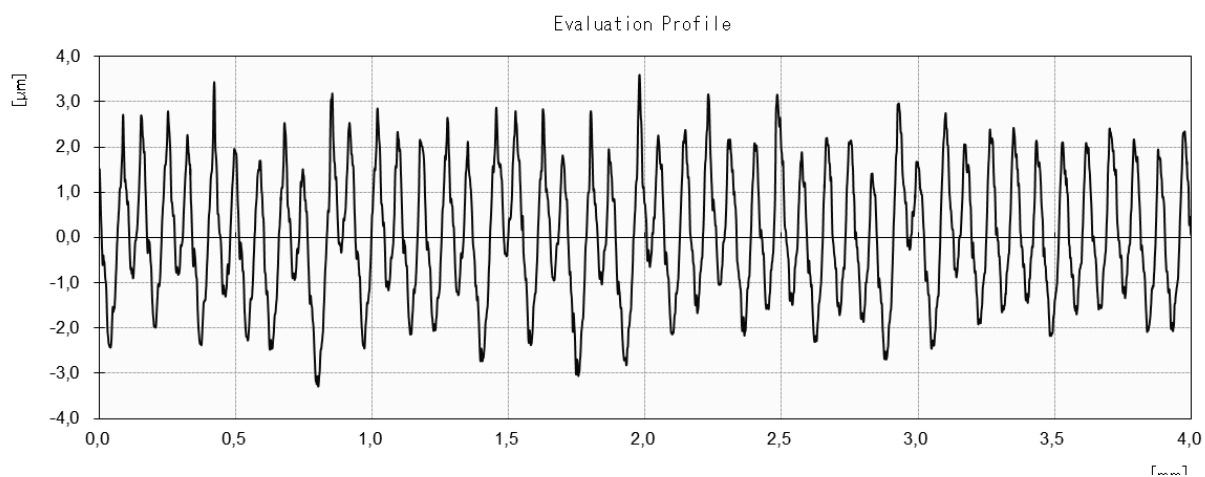
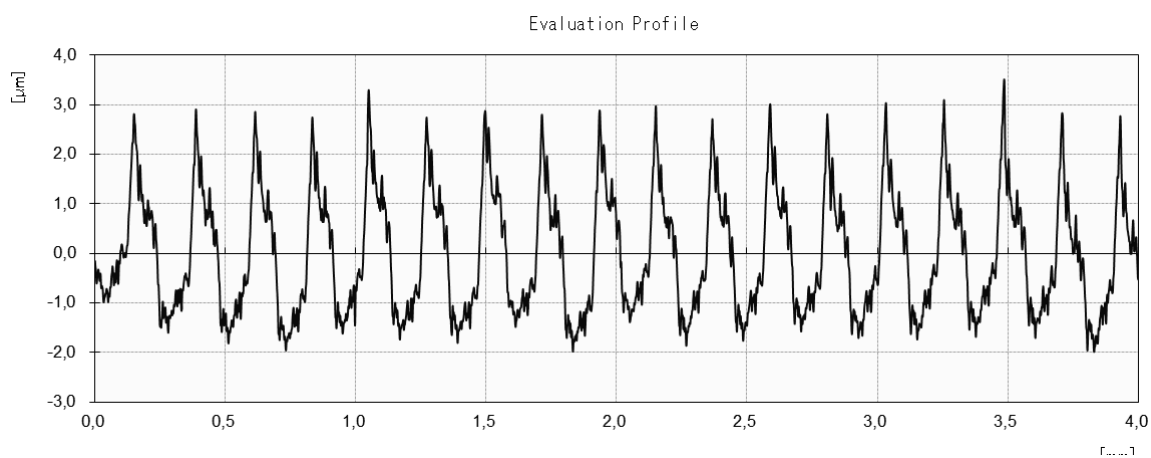
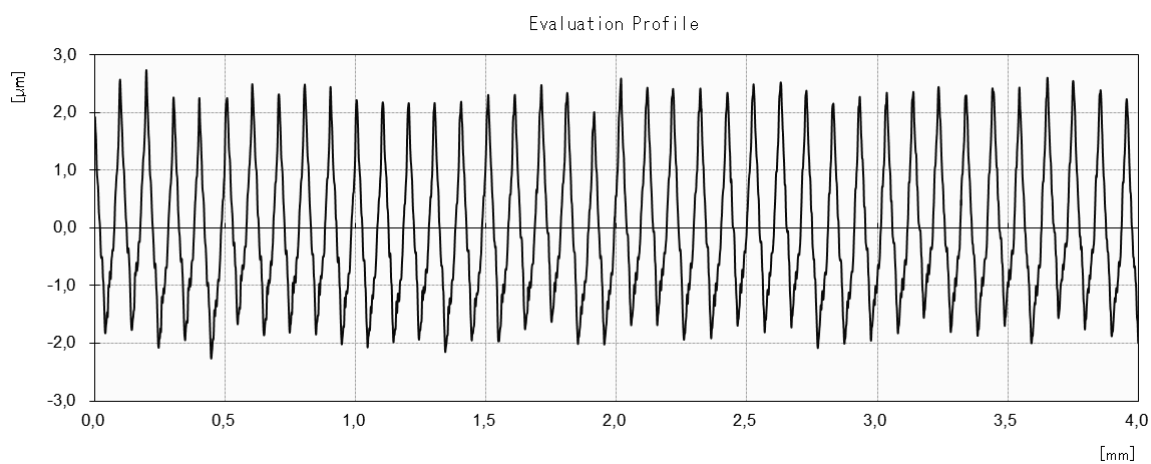


Рисунок 4.7 - Профилограмма образца, обработанного твердым точением (следы вибрации на поверхности образца)

На рис. 4.8 представлены данные о профилограммах стабильного процесса твердого точения



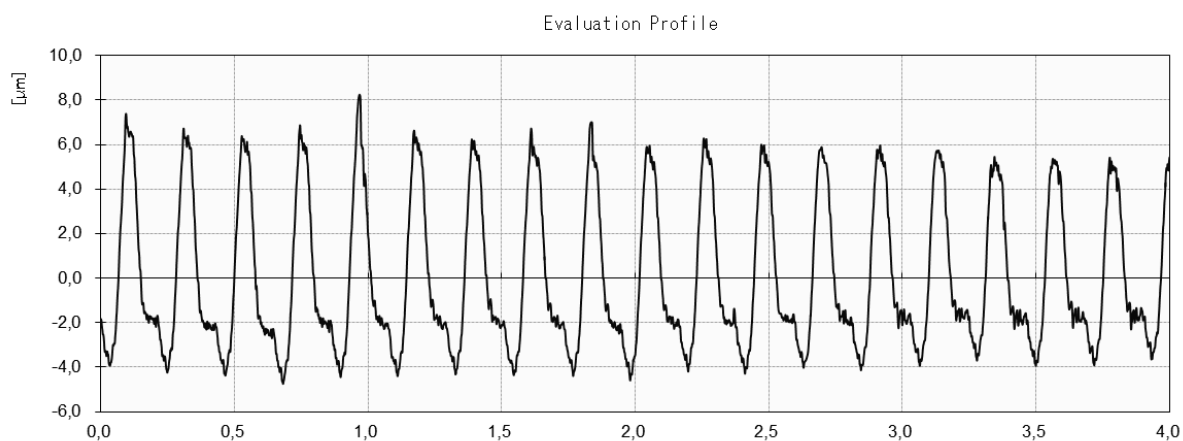


Рисунок 4.8 - Профилограммы образцов после стабильной обработки
твердым точением

Как следует из анализа рисунков режимы резания оказывают существенное влияние на профиль поверхности. При этом наблюдается как хаотический профиль, так и более регулярный.

5. Оптимизация технологии твердого точения

В системе ЧПУ FlexNC имеется возможность оптимизировать процесс обработки по стабилизации моментов в приводах станка. Это в свою очередь позволит стабилизировать силу резания и уменьшить погрешность обработки.

Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований показали диапазон рабочих частот вращения приводов станка при которых наблюдаются стабильные режимы работы. Активация на этих режимах (вблизи их) функции стабилизации момента позволит обеспечить оптимизированные режимы обработки. На рис. 5.1 представлен результат записи скорости резания без стабилизации момента нагрузки. Как следует из анализа рисунка (нижняя кривая) погрешность позиционирования варьируется в диапазоне от 5 до 20 мкм.

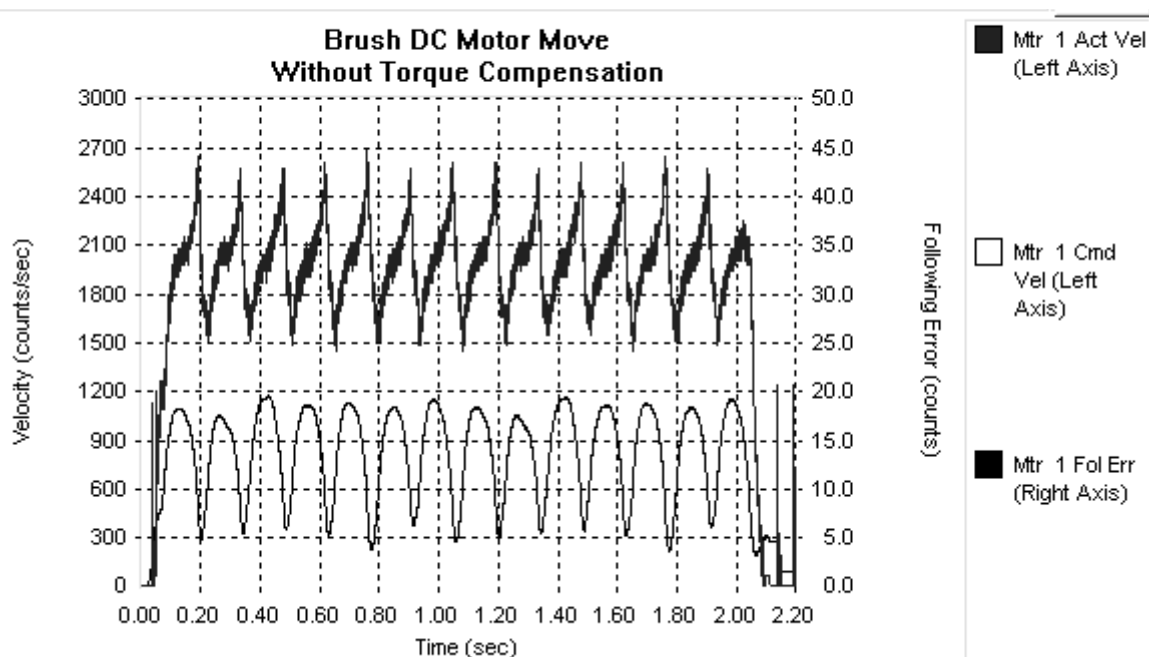


Рисунок 5.1 - Запись параметров электропривода без стабилизации момента нагрузки

На рис. 5.2 представлен результат записи скорости резания с стабилизацией момента нагрузки.

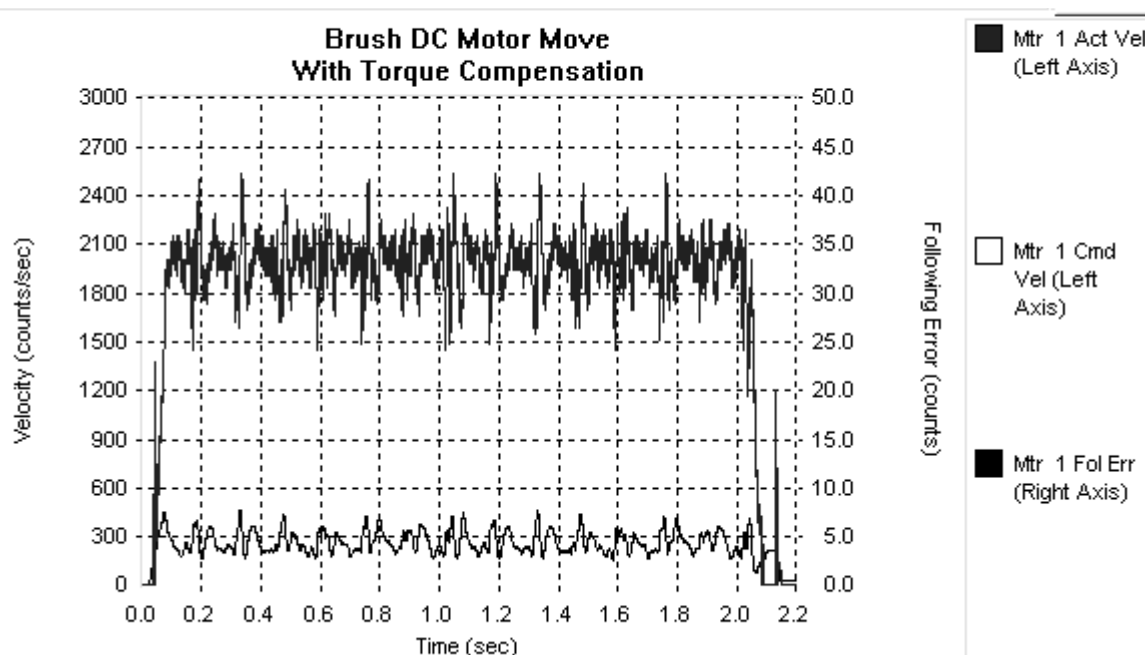


Рисунок 5.2 - Запись параметров электропривода с стабилизацией момента нагрузки

Как следует из анализа рис. 5.2 ошибка позиционирования уменьшилась практически в два раза (см. нижняя кривая).

Таким образом, оптимизация процесса обработки закаленных деталей по принципу стабилизации момента нагрузки на электроприводе способствует улучшению условий обработки с точки зрения обеспечения заданного качества обработки. На рис. 5.3 приведены сравнительные результаты показателей шероховатости поверхности и ее топографии при обработке без стабилизации момента нагрузки и с алгоритмом стабилизации. Как видно из рис. 5.3 оптимизированная технология позволяет обеспечить требуемые показатели качества при большей величине снимаемого припуска.

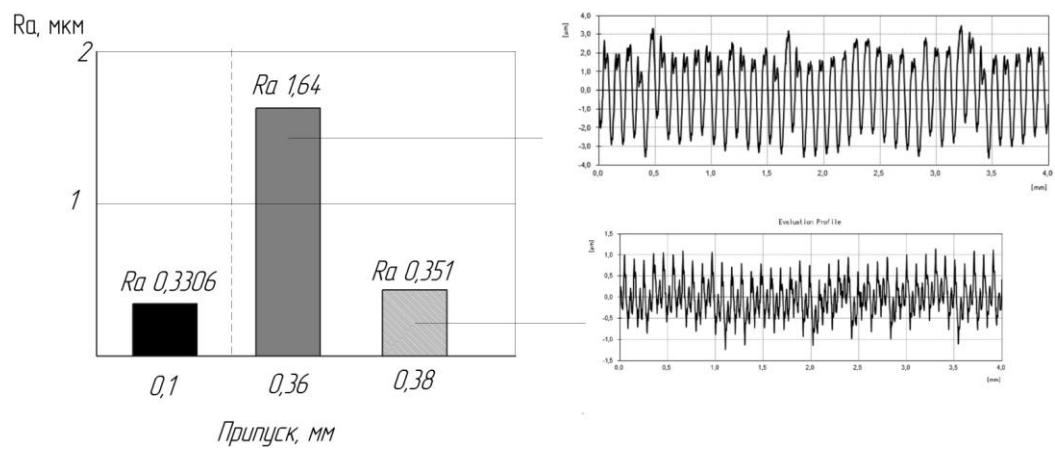


Рисунок 5.3 – Результаты оптимизации процесса твердого точения

6.Безопасность и экологичность технического объекта

6.1. Конструктивно-технологическая характеристика объекта

Наименование технического объекта дипломного проекта. В дипломном проекте выполнен комплекс научно-исследовательских работ в лаборатории систем числового программного управления кафедры «Оборудование и технологии машиностроительного производства». Направление НИР – исследование технологии твердого точения, т.е. рассматривалась обработка закаленных деталей на токарном станке с ЧПУ.

В таблице 6.1 представлен технологический паспорт объекта [20].

Таблица 6.1-Технологический паспорт объекта

№ п/п	Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию ³	Оборудование, устройство, приспособление	Материалы, вещества
1	Комплекс экспериментальных исследований на токарном станке с ЧПУ	Обработка точением наружного диаметра образцов из стали ХВГ, подрезка торца	Оператор станков с ЧПУ	Токарный станок с ЧПУ Мод. 16Б16ПТ1С1, система ЧПУ FlexNC, компрессор	СОЖ, стружка, обрабатываемые образцы

6.2 Идентификация производственно-технологических и эксплуатационных профессиональных рисков

Идентификация профессиональных рисков приведена в таблице 6.2

Таблица 6.2 - Идентификация профессиональных рисков

№ п/п	Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источник опасного и / или вредного производственного фактора
1	Комплекс экспериментальных исследований на токарном станке сЧПУ	повышенный уровень шума на рабочем месте; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы; повышенный уровень вибрации	Токарный станок с ЧПУ Мод. 16Б16ПТ1С1, измерительная и вспомогательная оснастка, динамометры для измерения сил резания, компрессор

6.3. Методы и технические средства снижения профессиональных рисков

Рассмотрим основные методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

Таблица 6.3 - Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

№ п/п	Опасный и / или вредный производственный фактор	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
1	подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы	Соблюдение техники безопасности; Первичный инструктаж перед работой за станком; Оснащение станка защитными устройствами, ограждающими зону обработки	халаты; перчатки; очки защитные

6.4 Обеспечение пожарной и техногенной безопасности рассматриваемого технического объекта (производственно-технологических эксплуатационных и утилизационных процессов)

6.4.1 Идентификация опасных факторов пожара.

Таблица 6.4 - Идентификация классов и опасных факторов пожара

№ п/п	Участок, подраздел ение	Оборудова ние	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
1	Лаборатори я систем ЧПУ	Токарный станок с ЧПУ 16Б16ПТ1С1	А	Высокая температура в зоне резания способствует загоранию стружки; тепловой поток; повышенная температура окружающей среды	опасные факторы взрыва, возникающие вследствие пожара

6.4.2 Разработка технических средств и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности технического объекта

Технические средства по обеспечению пожарной безопасности отображены в таблице 6.5

Таблица 6.5 - Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
Огнетушители ОП	-	системы пожаротушения автоматического срабатывания	извещатели пожарные;	-	-	Немеханизированный ручной инструмент: пожарный лом, топор	Пожарная сигнализация; термоизвещатели

6.4.3. Организационные (организационно-технические) мероприятия по предотвращению пожара.

Таблица 6.6 - Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование технологического процесса	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Комплекс экспериментальных исследований на токарном станке с ЧПУ	-организация обучения рабочих, служащих, правилам пожарной безопасности; -разработка мероприятий и инструкций о соблюдении противопожарного режима и о действиях людей при возникновении пожара; -разработка мероприятий по действиям администрации, рабочих, служащих на случай возникновения пожара и организации эвакуации людей	- ежегодный инструктаж, проверка остаточных знаний в области противопожарной безопасности;

6.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта

6.5.1 Идентификация экологических факторов технического объекта

Таблица 6.7 - Идентификация экологических факторов технического объекта

Наименование технического объекта, технологического процесса	Структурные составляющие технологического процесса, технологические операции, оборудование	Воздействие технического объекта на атмосферу (вредные и опасные выбросы в окружающую среду)	Воздействие технического объекта на гидросферу (образующие сточные воды, забор воды из источников водоснабжения)	Воздействие технического объекта на литосферу (почву, растительный покров, недра) (образование отходов, выемка плодородного слоя почвы, отчуждение земель, нарушение и загрязнение растительного покрова и т.д.)
Комплекс экспериментальных исследований на токарном станке с ЧПУ	Токарные операции на станке с ЧПУ	твердые частицы, стружка	Стружка, остатки масел	Стружка, твердые и жидкие отходы производства

6.5.2 Разработка мероприятий по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду рассматриваемого технического объекта

Таблица 6.8 - Организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду

Наименование технического объекта	Комплекс экспериментальных исследований на токарном станке с ЧПУ
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	-применение герметичных и закрывающихся емкостей для хранения производственных отходов; - соблюдение правил и норм утилизации промышленных отходов (стружки, шлама, отработанных СОЖ, масел) -соблюдение регламента работы станка, предотвращение утечек масла и СОЖ
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	

6.6 Заключение по разделу

В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» составлен технический паспорт научно-исследовательской работы по исследованию технологии твердого точения (таблица 6.1). Проведена идентификация профессиональных рисков по осуществляемым видам производимых работ. Разработаны организационно-технические мероприятия, включающие технические устройства снижения профессиональных рисков. Подобраны средства индивидуальной защиты для работников.

Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности технического объекта. Проведена идентификация класса пожара и опасных

факторов пожара и разработка средств, методов и мер обеспечения пожарной безопасности. Разработаны средства, методы и меры обеспечения пожарной безопасности. Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности на техническом объекте.

Идентифицированы экологические факторы и разработаны мероприятия по обеспечению экологической безопасности на техническом объекте.

7 Экономическая эффективность проекта

Цель раздела – рассчитать затраты на проведение научно-исследовательских работ по комплексному исследованию технологии твердого течения, а также определение содержания последовательности выполнения НИР. В таблице 7.1 приведен ориентировочный перечень основных этапов НИР.

Таблица 7.1 - Примерный перечень основных работ в рамках НИР

Стадии проекта	Этапы проекта	Содержание работ
1	2	3
Подготовительная стадия	Этап 1. Подготовительные работы	1. Составление задания на проведение НИР 2. Сбор информации по теме исследования 3. Составления обзора состояния вопроса по теме исследования 4. Предварительное технико-экономическое обоснование целесообразности выполнения проекта
Теоретическая разработка	Этап 2. Теоретическая часть исследования	5. Изучение и анализ существующих конструкций, способов, материалов, исследуемых параметров и т.д. 6. Составление и согласование частных методик по проведению исследования 7. Разработка и проектирование инструментов, приспособления, теоретическое обоснование выбора вариантов исследования, проведение расчетов 8. Проведение экспериментов. 9. Оформление результатов 10. Внесение изменений в теоретическую часть работы по результатам испытаний

Макетирование и экспериментальные работы	Этап 3. Экспериментальные исследования	11. Обобщение результатов 12. Оформление отчета о НИР 13. Расчет показателей экономического эффекта от внедрения результатов НИР в производство
Заключительная стадия	Этап 4. Обобщение, выводы и предложения	

Определение трудоемкости выполнения каждой работы базируется на системе экспертных оценок и на методе оценок (T_{min} , T_{max} , $T_{ож}$).

Ожидаемую трудоемкость выполнения каждой работы определим по формуле:

$$T_{ож} = (3 \cdot T_{min} + 2 \cdot T_{max}) / 5, \quad (7.1)$$

где T_{min} – оптимистическая оценка трудоемкости; T_{max} – пессимистическая оценка трудоемкости.

Ожидаемую трудоемкость выполнения каждого этапа определим как сумму трудоемкости выполнения входящих в данный этап работ.

Зная ожидаемую трудоемкость работ и этапов, определяем длительность цикла их выполнения:

$$T_{ц} = T_{ож} / P, \quad (7.2)$$

где P – численность исполнителей.

Результаты расчетов сведем в таблицу 7.2

Таблица 7.2 - Расчет трудоемкости и длительности цикла выполнения НИР

№ этапов	№ работ	Трудоемкость выполнения работ, дней			Численность работников				Длительность выполнения работ и этапов с учетом численности работников, дней
		T _{min}	T _{max}	T _{ож}	Руков. проекта	Вед. инженер	Студент	Итого	
1	1	5	6	5,4	1	-	2	3	1,8
	2	10	15	12	1	-	2	3	4,0
	3	20	25	22	1	-	2	3	7,3
	4	7	10	8,2	1	-	2	3	2,7
Итого		42	56	47,6					15,9
2	5	15	20	17	1	-	2	3	5,7
	6	20	25	22	1	1	2	4	5,5
	7	25	30	27	1	1	2	4	6,75
	8	35	40	37	1	1	2	4	9,25
Итого		95	115	103					27,2
3	9	40	43	41,2	1	-	2	3	13,7
	10	30	35	32	1	-	2	3	10,7
	11	38	42	39,6	1	-	2	3	13,2
	12	35	40	37	-	-	2	2	18,5
Итого		143	160	149,8					56,1
4	13	35	40	37	1	-	2	3	12,3
	14	15	20	17	1	1	2	4	4,25
	15	40	45	42	1	1	2	4	10,5
	16	30	35	32	1	-	2	3	10,7
	17	2	4	2,8	1	1	2	4	0,7
	18	35	40	37	1	-	2	3	12,33
	19	1	1	1	-	-	2	2	0,5
Итого		158	185	168,8					51,3
Всего		438	516	469,2					150,4

В нашем случае ожидаемая трудоемкость выполнения всего комплекса научно-исследовательских работ составляет 469,2 чел.-дней.

Для определения продолжительности цикла выполнения проекта следует составить календарный ленточный и сетевой графики. Для разработки графиков составим таблицу событий (таблица 7.3)

Таблица 7.3 - Перечень событий и работ по выполнению проекта

№ событий	Наименование работ и событий	Шифр работ	Продолжит-ть работ, дней
0	Решение о выполнении проекта		0
1	Составление задания на дипломное проектирование	0-1	1,8
2	Сбор информационных материалов по теме исследования	1-2	4,0
3	Составление обзора состояния вопросов по теме	1-3	7,3
4	Технико – экономическое обоснование проведения исследования	3-4	2,7
5	Изучение и анализ существующих конструкций, технологического процесса	4-5	5,7
6	Составление и согласование методики исследования	5-6	5,5
7	Теоретические исследования	5-7	6,75
8	Разработка схем и конструкций, теоретическое обоснование вариантов исследования		
10	Конструирование лабораторных стендов	7-8	9,25
11	Изготовление макетов	8-9	13,7
12	Проведение экспериментальных работ и испытаний	9-10	10,7
13	Оформление результатов проведения экспериментальных исследований	9-11	13,2
14	Обобщение результатов работы	11-12	18,5
15	Оформление конструкторской и технологической документации	12-13	12,3
16	Определение возможности использования результатов исследований в дальнейших работах	13-14	4,25
17	Определение возможности использования результатов исследований в дальнейших работах	13-15	10,5
18	Определение возможности использования результатов исследований в дальнейших работах	15-16	16,0
19	Расчет экономической эффективности от внедрения результатов проекта в производство	16-17	10,7
20	Рассмотрение результатов НИР	17-19	0,7
	Написание отчета	16-18	12,33
	Защита проекта	18-19	0,5

По данным таблицы 7.3, разработаем сетевой график НИР (рис. 6.1).

Из графика рис. 7.1 следует, что весь цикл работ может быть выполнен за 130,6 дней. С целью оптимизации сетевого графика выполним следующую процедуру.

Обратим внимание, что из начального события в конечное ведут два пути, путь $T_1 = 130,6$ дней (критический) и $T_2 = 69,3$ дня.

$$T_1 = 0-1-3-4-5-7-8-9-11-12-13-15-16-18-19 = 1,8 + 7,3 + 2,7 + 5,7 + 6,8 + 9,3 + 13,7 + 13,2 + 18,5 + 12,3 + 10,5 + 16,0 + 12,3 + 0,5 = 130,6 \text{ дней}$$

$$T_2 = 0-1-2-4-5-6-8-9-10-12-13-14-16-17-19 = 1,8 + 4,0 + 5,7 + 5,5 + 13,7 + 10,7 + 12,3 + 4,3 + 10,7 + 0,7 = 69,3 \text{ дней}$$

Теоретический возможный срок свершение конечного события

$$T_{ож} = (130,6 + 69,3) / 2 = 99,98 \text{ дней}$$

Для приближения к этому сроку перебросим силы с работ 1-3 (3 дн.), 5-7 (3 дн.), 7-8 (5 дн.), 9-11 (6 дн), 11-12 (8,1 дн.), 15-16 (5,5 дн.) на работы 1-2 (3 дн.), 5-6 (2,6 дн.), 9-10 (6,9 дн.), 13-14 (16,6 дн.), 16-17 (1,5 дн.) в количестве равном 30,6 дням. По этим соображениям сделаем оптимизированный график (рис. 7. 2).

Тогда продолжительность пути T_1 составит:

$$T_1 = 130,6 - 30,8 = 99,98 \text{ дней};$$

$$T_2 = 69,3 + 30,8 = 100,1 \text{ дней}$$

$$T_1 = 0-1-3-4-5-7-8-9-11-12-13-15-16-18-19 = 1,8 + 4,3 + 2,7 + 5,7 + 3,8 + 4,3 + 13,7 + 7,2 + 10,4 + 12,3 + 10,5 + 10,5 + 12,3 + 0,5 = 99,98 \text{ дней}$$

$$T_2 = 0-1-2-4-5-6-8-9-10-12-13-14-16-17-19 = 1,8 + 7,0 + 5,7 + 8,0 + 13,7 + 17,6 + 12,3 + 20,9 + 12,1 + 0,7 = 100,1 \text{ дней}$$

Таким образом, в результате оптимизации графика и работ длительность цикла выполнения научно-исследовательского проекта составляет отпущенное на дипломное проектирование время – 99,98 дней.

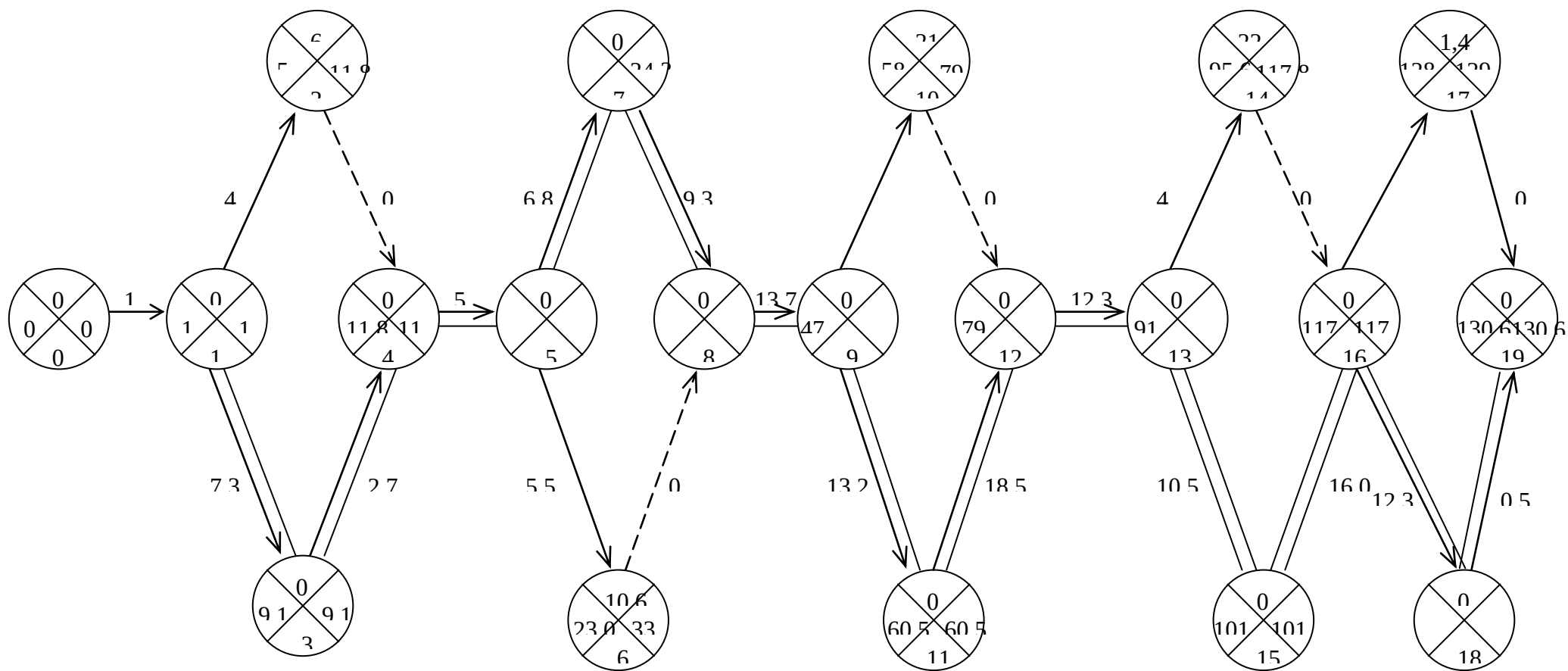


Рисунок 7.1 – Сетевой график выполнения дипломного научно-исследовательского проекта

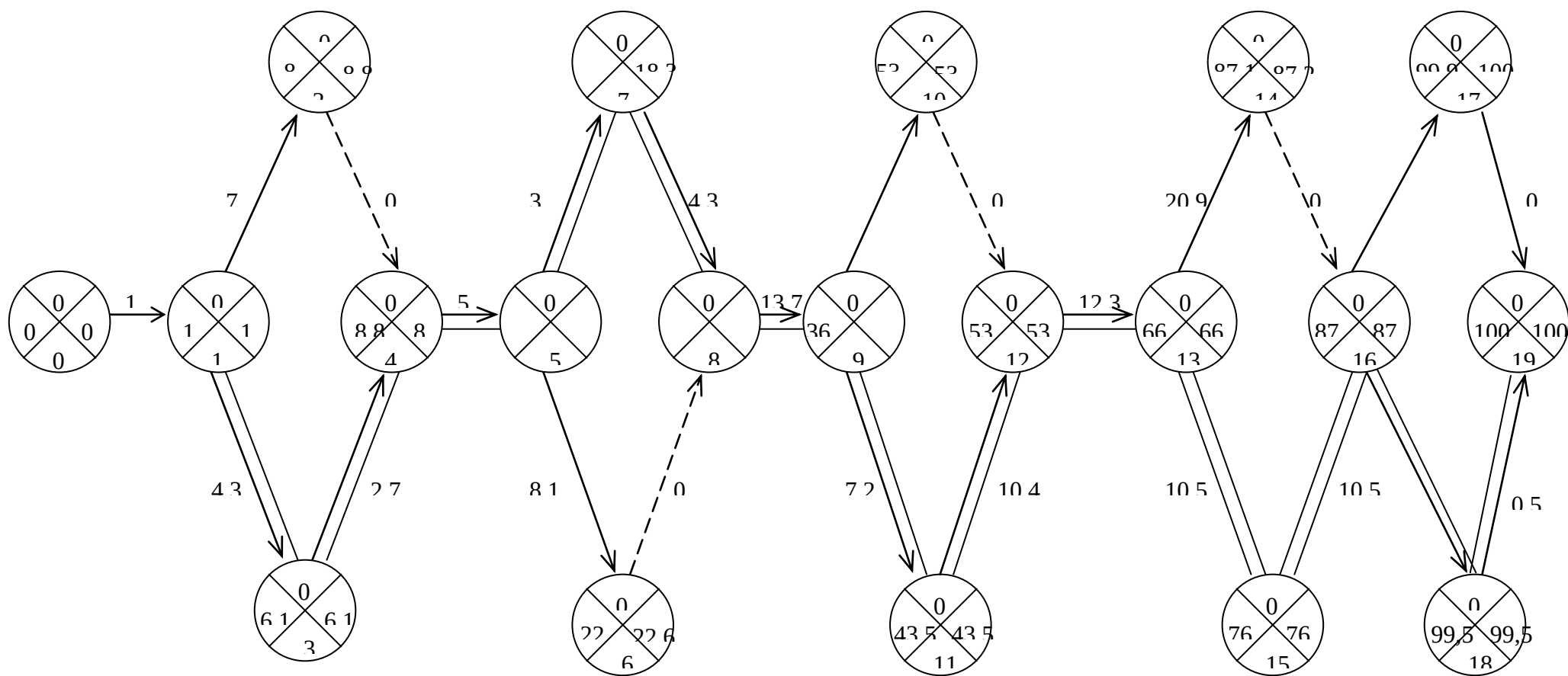


Рисунок 7.2 - Оптимизированный сетевой график

Экономическое обоснование и расчет затрат на проведение научно-исследовательского проекта

Подготовка исходных данных для технико-экономического обоснования
Материалы для организационно-экономического обоснования проекта получены: у руководителя проекта, из расчетов, произведенных в теоретической, исследовательской и расчетной частях проекта, из справочников.

Таблица 7.4 - Перечень исходных данных для экономического обоснования НИР

Наименование показателей	Индекс	Единица измерения	Значение показателей
1. Количество деталей, используемых при эксперименте	П	шт	100
2. Норма штучного времени	T _{шт}	мин	9

Состав исполнителей по каждой теме проекта определяется штатным расписанием, в котором одновременно рассматривается и фонд заработной платы исполнителей (табл. 7.5).

Таблица 7.5 - Штатное расписание исполнителей и расчет фонда заработной

Науч. Рук-ль	1	18000	193,8	40	7752
Вед. Инженер	1	14000	155	35	5426
Студент	2	5000	77,5	200	15504
Итого	4				28682

платы

Сумма заработной платы каждого исполнителя

$$З_{пл} = (M_o / D_p) \cdot D_{\phi}, \quad (7.3)$$

где M_o – месячный должностной оклад; D_p – среднее расчетное количество дней в месяце (принимается равным 25,8); D_{ϕ} – фактически отработанное количество дней по сетевому графику.

$$З_{пл.p} = (30000 / 25,8) \cdot 135 = 10320 \text{ руб.}$$

$$З_{пл.и.} = (18000 / 25,8) \cdot 35 = 7752 \text{ руб.}$$

$$З_{пл.с.} = (5000 / 25,8) \cdot 100 = 7752 \text{ руб.}$$

Определение затрат на НИР (предпроизводственных затрат)

Предпроизводственные затраты на НИР состоят из текущих затрат на проведение исследования $C_{нир}$ и капитальных вложений для проведения НИР ($K_{нир}$).

Текущие затраты носят характер издержек производства. К ним относятся:

- затраты на заработную плату ($З_{пл}$);
- стоимость материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий для проведения исследования (M);
- стоимость потребляемых энергетических ресурсов (Ξ);
- прочие прямые расходы, связанные со спецификой ($P_{пр}$);
- общие накладные расходы (H_p);
- отчисления в фонд экономического стимулирования ($O_{фэс}$).

1. Начисления на заработную плату (26,2% к зарплате):

$$H_{зпл} = (26,2\% \cdot З_{пл}) / 100\% \quad (7.4)$$

$$H_{зпл} = 0,262 \cdot 28682 = 7514,7 \text{ руб.}$$

Капитальные вложения для проведения НИР включают в себя стоимость: оборудования, приборов, аппаратов, машин, инструментов $K_{нир} = 50000$ руб.

2. Затраты на основные и вспомогательные материалы для проведения экспериментов:

$$M = H_p \cdot C_m \cdot K_{mз} - B_{отх} \cdot C_{отх} \quad (7.5)$$

$H_p = 40$ кг – норма расхода материала на проведение исследования; $C_m = 7,5$ руб – цена единицы веса материала; $K_{мэ} = 1,2$ – коэффициент учитывающий транспортно-заготовительные расходы; $B_{отх} = 5$ кг – вес реализуемых отходов; $C_{отх} = 0,5$ руб – цена отходов;

$$M = 40 \cdot 7,5 \cdot 1,2 - 5 \cdot 0,5 = 357,5 \text{ руб.}$$

3. Затраты на электрорезергию при проведении экспериментов (эксперименты проводились на токарном станке 16K20):

$$P_э = [(M_y \cdot K_m \cdot T_m \cdot n) / (\eta \cdot 60)] \cdot C_э \quad (7.6)$$

где n – число экспериментов $n = 10$; M_y – установленная мощность кВт $M_y = 11,25$ кВт; K_m – коэффициент использования токоприемников по мощности $K_m = 0,7$; T_m – машинное время на один эксперимент $T_m = 9$ мин; η – КПД электродвигателей; $C_э$ – цена за 1 кВт электроэнергии $C_э = 0,72$ руб.

$$P_э = [(11,25 \cdot 0,7 \cdot 9 \cdot 10) / (0,9 \cdot 60)] \cdot 0,72 = 0,8 \text{ руб.}$$

4. Затраты на инструмент, необходимый для проведения эксперимента

$$Z_i = C_{и} \cdot N_{ин}, \quad (7.7)$$

где $C_{и}$ – цена изготовления одного инструмента, $C_{и} = 600$ руб; $N_{ин}$ – необходимое количество инструментов для проведения экспериментов, $N_{ин} = 10$.

$$Z_i = 600 \cdot 10 = 6000 \text{ руб.}$$

5. Затраты на амортизацию станка, используемого для экспериментов:

$$P_a = C_c \cdot K_{монт} \cdot N_a \cdot T_{раб} / (\Phi_э \cdot 100), \quad (7.8)$$

где C_c – цена станка, $C_c = 75\,000$ руб;

$K_{монт}$ – коэффициент, учитывающий затраты на доставку и монтаж, $K_{монт} = 1,2$;

N_a – годовая норма амортизации, $N_a = 8\%$;

$T_{раб}$ – общее время работы станка для проведения экспериментов, 100

ч;

$\Phi\text{э}$ – годовой эффективный фонд времени работы оборудования, при работе в одну смену $\Phi\text{э} = 2070$ ч.

$$P_a = 75000 \cdot 1,2 \cdot 0,08 \cdot 100 / (2070 \cdot 100) = 3,5 \text{ руб.}$$

6. Расходы на создание программного обеспечения: $Z_{\text{прог}} = 5\,000$ руб.

7. Суммарные расходы на НИР:

$$R_{\text{нир}} = Z_{\text{пл}} + N_{\text{зпл}} + M + P_{\text{э}} + Z_{\text{и}} + Z_{\text{пр}} + P_a + Z_{\text{прог}} + R_{\text{команд}} = 28682 + 9766,5 + 357,5 + 0,8 + 1500 + 7500 + 3,50 + 5000 + 20000 = 72810,3 \text{ руб.}$$

Общие накладные расходы определяются в размере 15% от общего объема затрат на НИР:

$$N_p = (72810,3 \cdot 15) / 100 = 10921,5 \text{ руб.}$$

Размер отчислений в фонд экономического стимулирования определяется следующим образом.

Прибыль 5% от общего объема затрат на НИР:

$$P_r = (5\% \cdot R_{\text{нир}}) / 100\% \quad (7.9)$$

$$P_r = 0,05 \cdot 72810,3 = 3640,5 \text{ руб.}$$

Таблица 7.6 - Смета затрат на проведение НИР

Наименование статей затрат	Сумма, руб.
1. Основная производственная заработная плата	28682
2. Начисления социальному страхованию 36,2%	1038,2
3. Затраты на основные и вспомогательные материалы	357,5
4. Затраты на инструмент	1500
5. Затраты на приспособление	7500
6. Затраты на электроэнергию	0,8
7. Амортизация оборудования	3,50
8. Затраты на создание программы	5000
9. Общий объем затрат на НИР	72810,3
10. Общие накладные расходы	10921,5
Итоговые затраты на НИР	83660,1

Заключение

Технология твердого точения является одним из перспективных технологическим методом обработки закаленных деталей, с твердость выше 45 единиц по шкале Роквелла. Технология такой лезвийной обработки в некоторой степени выступает альтернативой абразивной обработки.

На основе выполненного анализа отечественных и зарубежных работ в области твердого точения выявлены технологические возможности данного метода обработки. По результатам теоретического моделирования получены оптимальные режимы при которых обеспечиваются наименьшие значения величины упруго отжатия и более установившийся процесс обработки.

В ходе выполнения экспериментальных исследований с использованием диагностических возможностей системы ЧПУ установлено при каких режимах процесс резания более устойчивый, а при каких в системе возникают нежелательные вибрации, что выражается в увеличении разброса величины момента привода главного движения.

В целом проведенный комплекс теоретических и экспериментальных исследований позволяет сделать вывод о принципиальной возможности применения технологии твердого точения на отечественном оборудовании с ЧПУ.

Список литературы

1. Резницкий Л.М. Механическая обработка закаленных сталей. – Изд.-во: Машгиз. – 1958 г., 393 с.
2. Day R. Machining Technology Developments / PRIME Faraday Partnership, May 2001, p 20
3. J. Кораћ. High precision machining on high speed machines / Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. – V/24, - ISSUE 1, 2007, p. 405 – 412.
4. Tönshoff, H. K., Arendt, C., Ben Amor, R., 2000, Cutting of Hardened Steel, Annals of the CIRP, 49/2:547-566.
5. Byrne, G., Dornfeld, D., and Denkena, B. (2003), “Advancing Cutting Technology”, STC “C” Keynote, CIRP Annals, 52, 2, pp. 483-507.
6. Poulachon, A., Moisan, A., Jawahir, I.S., 2001, On modelling the influence of thermomechanical behaviour in chip formation during hard turning of 100Cr6 bearing steel, Annals of the CIRP, 50/1: 31-36.
7. Легкоосуществляемая обработка резанием и шлифование закаленных и незакаленных шестерен // Металлообработка и станкостроение, 2010, № 4. – С. 38.
8. Лобанов, А. Н. Обработка закаленной стали / А. Н. Лобанов // Журнал по металлообработке «Стружка». 2007. № 3. С. 31–33.
9. Точение материалов высокой твердости пластинами из CBN. - C-2940:137 RUS/01 © AB Sandvik Coromant 2012.11
10. Интеграция технологических методов в обработке закаленных материалов // Металлообработка и станкостроение, № 9, 2008, С. 30 – 33
11. Davim J.P. Machining of Hard Materials. Springer, 2011. 538 p.
12. <http://www.ecoroll.com>
13. Костюк Г.И. Эффективность токарной обработки закаленной стали 40Х РИ с покрытием [Текст] / Г.И. Костюк, К.П. Исяк, И.С. Татаркина,

А.А.Бреус // Вестник ХПИ: сб. науч. тр. нац. техн. ун-та «ХПИ». – Вып. 3. - X., 2011. – С. 9-12.

14. Hard Turning vs. Grinding Which one is more economic? A literature survey Bertrand Hasser Ralph Hohenleitner The George W. Woodruff School of Mechanical Engineering Georgia Institute of Technology Atlanta, Georgia, 13 March, 2006

15. Altintas, Y. Manufacturing automation: metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design / Yusuf Altintas. – 2nd ed.: Cambridge University Press, 2012. XII, 366 p.

16. Разработка имитационных моделей в среде MATLAB: Методические указания для студентов специальностей 01719, 351400 /Сост. А. М. Наместников. – Ульяновск, УлГТУ, 2004. – 72с.

17. Руководство Turbo PMAC/ Delta TAU Data System. – 2008. – 440 с.

18. Рыбалко А.П., Рыбалко С.А. Адаптивные, диагностические и программные возможности системы ЧПУ FlexNC // Автоматизация в промышленности. – 2010. – С.21-26.

19. Дорф Р. Современные системы управления /Р. Дорф, Р. Бишоп. пер. с англ. Б.И. Копылова. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.

20. Горина, Л.Н. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта»/Л.Н. Горина, М.И. Фесина, – учебн. метод пособие, изд-во ТГУ – 2016 г.