

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. И. РАЗЗАКОВА**

Кафедра «Технология машиностроения»

УДК 627.09

Инв. №

УТВЕРЖДАЮ

Проректору по НР и ВС

КГТУ им. И. Раззакова

д.ф-м.н., проф. Султаналиева Р.М.

« _____ » _____ 2019г.

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

**«Организационно-технологическое проектирование производственных
систем»**

Заведующий отделом науки

к.ф-м.н., доцент

Аскарбеков Р.Н.

Руководитель по НИР

к.т.н., доцент

Мамбеталиев Т.С.

Бишкек 2019

Список исполнителей

Мамбеталиев Т.С. к.т.н., доцент, зав. кафедрой,	научный руководитель, написание	1 раздела отчета,
Рагрин Н.А. д.т.н., проф.	написание отчета,	2 раздела
Омуралиев У.К. к.т.н. проф.	написание отчета	3 раздела
Сартов Т.Э. к.т.н. проф.	написание отчета	4 раздела
Трегубов А.В. к.т.н., проф.	написание отчета	5 раздела
Жумалиев Ж.М. доцент	написание отчета	6 раздела
Сопоев М.К. ст. преподаватель	написание отчета	7 раздела
Айнабекова А.А. ст. преподаватель	написание отчета	8 раздела
Дыйканбаева У.М. ст. преподаватель	написание отчета	9 раздела
Баялиева Ч.Т. преподаватель	написание отчета	9 раздела
Белекова Ж.Ш. преподаватель	написание отчета	10 раздела
Оморова А. преподаватель	написание отчета	11 раздела
Сопоев М.К. ст. преподаватель	оформление и редактирование отчета	

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕМЕНТЫ ИНДУСТРИИ 4.0	8
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОЙКОСТИ СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ ПРИ ВЫСОКОМ КАЧЕСТВЕ ПРОСВЕРЛЕННЫХ ОТВЕРСТИЙ	18
3. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ СВОБОДНО ПРОГРАММИРУЕМОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА С ЧПУ)	24
4. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ, СЕГМЕНТИРОВАННЫЕ НА СЕКЦИИ С НАКОПИТЕЛЯМИ ОГРАНИЧЕННОЙ ЕМКОСТИ.....	30
5. ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯТОРА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ КАМНЕОБРАБАТЫВАЮЩЕГО СТАНКА.	45
6. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ С ПЛАЗМОТРОНОМ ШАРОВЫМ ЭЛЕКТРОДОМ.....	58
7. ТОПОГРАФИЯ И КОНТАКТ ПОВЕРХНОСТЕЙ	63
8. РАЗРАБОТКА ПУТЕЙ И МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОТВЕРСТИЙ ПРИ СВЕРЛЕНИИ	78
9. УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС НА КАФЕДРЕ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ	79
10. ИСПЫТАНИЯ НА РАСТЯЖЕНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ МАРКИ (6082Т6, 5083Н111)ВЫПОЛНЕННЫХ СВАРКОЙ С МАЛОЙ ТЕПЛОТОЙ.	91
11. A MATHEMATICAL MODEL FOR TOP MOTIONS	96
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	108

Реферат

Отчет содержит текст на **139** стр., **52** иллюстраций, **16** таблиц и **71** использованных источников.

Ключевые слова: сверло, стойкость, скорость резания, подача, диаметр, твердость, геометрические параметры сверл, стойкость инструмента, быстрорежущие спиральные сверла, кривые износа режущих элементов, струйно-абразивная резка, лазерная резка материалов, абразивные частицы, спектры пороговых кривых, конструкционная прочность, сварка трением, электроэрозионная обработка.

Основным объектом исследования является продукция, изготавливаемая на машиностроительных предприятиях Кыргызстана в условиях мелкосерийного и серийного производства.

В отчете рассматриваются вопросы: оптимизации геометрических параметров сверл применительно к конкретным условиям обработки деталей; пути повышения наработки до функционального отказа быстрорежущих спиральных сверл на основе анализа кривых износа их режущих элементов; экспериментальные исследования по построению спектров пороговых кривых (диаграмм) конструкционной прочности при совмещенном осевом и внецентренном растяжении сталей с трещинами разных длин; анализ технологий сопряжения деталей методом сварки трением; пути обеспечения точности и производительности электроэрозионной обработки, повышение прочности коромысла ударного узла с механизмом переменной структуры.

ВВЕДЕНИЕ

В развитии промышленного производства можно выделить две эры: индустриальную и информационную. Первая прошла свой путь развития, начиная с прошлого века, и характеризуется преимущественным развитием отраслей материального производства, которое в значительной степени стало массовым, крупносерийным, ориентированным на рынки большой емкости и на изделия массового спроса. В эпоху индустриализации основным фактором повышения эффективности производства была преимущественно экономия затрат живого труда в самых различных сферах деятельности при снижении затрат ресурсов на единицу конечной продукции за счет повышения удельной мощности технологического оборудования.

Современная технология изготовления машиностроительных изделий отличается огромным разнообразием, что соответственно требует создания большого количества многообразного оборудования и различных методов организации производства.

На смену индустриальной эры пришла информационный период, переход к которому в странах западной Европы начался в 50 - 60-е годы прошлого столетия и завершился в наиболее экономически развитых странах мира к середине 80-х гг. Информационную эру отличает преимущественный рост экономики, сферы услуг, особенно для отраслей, связанных с переработкой информации и осуществлением посреднической деятельности всех видов.

Производство в информационную эру становится в высшей степени гибким, не массовым и ориентируется на индивидуальные запросы потребителей и небольшие по емкости рынки сбыта.

Вступление Республики в рыночную экономику выдвинуло перед машиностроением ряд новых проблем, без решения которых невозможно обеспечить конкурентоспособность выпускаемой продукции: экономия материальных, энергетических и трудовых ресурсов; существенное

повышение качества продукции; ускорение темпов сменяемости ассортимента машин. Главным действующим фактором, определяющим возможность решения указанных проблем, является эффективность используемых технологических процессов (ТП). Наука о ТП формировалась постепенно по мере решения основных задач, связанных с проектированием. Было установлено, что ТП есть часть производственного процесса, сопровождающаяся изменением геометрических форм и размеров, а также физико-механических свойств поверхностного слоя. Затем была изучена структура ТП и его основная составляющая — технологическая операция, которая также характеризуется структурой и содержанием. Структура операции определяется количеством и последовательностью выполняемых переходов, а также содержанием — применяемыми методами обработки. Основными задачами, решаемыми при проектировании ТП, являются обеспечение необходимого качества и производительности обработки. Поэтому на следующем этапе основное внимание было уделено разработке вопросов точности обработки как главного параметра качества. Рассматриваются новые факторы, определяющие эффективность используемых технологических процессов. Учитывая широкие технологические возможности ионно-плазменных методов обработки, а также необходимость повышения эффективности ТП механической обработки, предлагается рассматривать методы поверхностной модификации не как отдельные ТП, а как заключительные операции единого ТП, обуславливающего формирование заданной формы, размеров, параметров качества, заданных физико-механических свойств поверхностного слоя детали. Реализация поставленной задачи потребует разработки: единых требований, предъявляемых к параметрам качества поверхностного слоя с учетом последующей поверхностной модификации; классификации различных методов механической обработки с учетом формируемых свойств поверхностного слоя; классификации различных методов поверхностной модификации с учетом эффективности и экономической целесообразности

применения, экологической безопасности; основополагающих принципов построения интегральных ТП, построенных на базе функционального объединения технологии получения заготовки, механической обработки и поверхностной модификации; методики контроля параметров поверхностного слоя, обуславливающей эффективное применение методов поверхностной модификации. Такой подход является принципиально новым и требует серьезной теоретической проработки и систематизации ранее накопленных знаний для достижения единой цели — создания более прогрессивных ТП, обеспечивающих изготовление новых видов техники.

Технолог в современных условиях должен выполнять в единицу времени не только больший объем работ, но и делать ее на высоком уровне. Решение этой проблемы лежит в автоматизации труда технолога, а это, в свою очередь, требует дальнейшего развития научных основ технологии машиностроения и совершенствования САПР ТП (Система Автоматизированного Проектирования, например, SolidCAM). Все это должно идти в направлении более глубокого изучения закономерностей технологических процессов, повышения уровня обобщений, формализации результатов исследований, применения математических методов, совершенствования методов расчета и разработки технологических процессов, проектирования средств технологического оснащения, методов организации технологической подготовки производства.

1. ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕМЕНТЫ ИНДУСТРИИ 4.0

В отчете рассмотрены элементы Индустрии 4.0. и их применение в производстве, также внедрение интегрированных и гибких производственных систем. Рассмотрены также «умные» заводы, понятия интернет вещей, некоторые возможные социальные вопросы, связанные с реиндустриализацией.

Ключевые слова: кибер-физические системы, роботы, автоматизация, Индустрия 4.0, умные заводы, интегрированные системы, интернет вещей.

Развитие индустрии можно проследить по поэтапным революциям. Так, первая промышленная революция – это переход от ручного труда к машинному, росту числа фабрик, укрупнению мелких производств в мануфактуры. Основной чертой промышленной революций был фактор стремительного роста производственных сил на базе крупной машиной индустрии. Данная революция преподнесла такие инноваций как: текстильная промышленность, паровой двигатель, металлургия и др.

Вторая технологическая революция или так называемая «технологическая революция», является трансформацией в мировой промышленности. Её основополагающим элементами считаются внедрение множества технологических новинок, таких как бессемеровского способа выплавки стали и др. В отличие от первой промышленной революции, основанной на новаторствах, в производстве паровых двигателей и развитии текстильной промышленности, технологическая революция происходила на базе производства высококачественной стали, распространении железных дорог, электричества, химикатов, бумажной и нефтяной промышленности . В эпоху второй промышленной революции развитие экономики было преимущественно основано на научных достижениях, а не просто удачных изобретениях [1].

Третья технологическая революция - «Информационные технологий». Т.е. повсеместный переход от аналоговых технологий к цифровым, начавшийся в 1980-х годах и продолжавшийся в первые десятилетия XXI века. Коренные изменения, связанные с широким распространением информационно-коммуникационных технологий, начавшимся во второй половине XX века, и ставшие предпосылками информационной революции, которая, в свою очередь, предопределила процессы глобализации и возникновения постиндустриальной экономики. Основные движущие силы — широкое распространение вычислительной техники, прежде всего — персональных компьютеров, всеобъемлющее проникновение Интернета, массовое применение персональных портативных коммуникационных устройств.

Четвертая промышленная революция, так называемая «Industry 4.0». Данную революцию предсказали ученые Ведущих развитых стран в 2011 году, основываясь на факторах бурно развивающегося производства в Германии, США, Японии и Китая. Данная революция определена как средство повышения конкурентоспособности обрабатывающей промышленности Германии, США, Японии и Китая через усиленную интеграцию «киберфизических систем», или CPS(Cyber-Physical Systems) в заводские процессы.

CPS- это по сути всеобъемлющий термин, который используется в разговорах об интеграции небольших подключенных к Интернету машин и человеческом труде. Руководители предприятий не просто переосмысливают принцип сборочной линии, но и активно создают сеть машин, которые будут не только производить товары с меньшим количеством ошибок, но и смогут автономно изменять производственные шаблоны в соответствии с необходимостью, оставаясь высоко эффективными [2]. На рис.1 представлены элементы Индустрии 4.0.

Элементы Индустрии 4.0



Рис.1.Элементы индустрий 4.0. [3]

Согласно [3] основными элементами Индустрий 4.0 являются:

- Элементы Интернета вещей.
- Искусственный интеллект, машинное обучение и робототехника.
- Облачные вычисления.
- Big DATA.
- Аддитивное производство.
- Кибербезопасность.
- Интеграционная система.
- Моделирование
- Дополненная реальность.

Интернет вещей является концепцией вычислительных сетей физических вещей, имеющие встроенную технологию для взаимодействия друг с другом, а также с внешней средой. Развитие данного элемента определяют высокоскоростной и широкополосный 5G интернет. Функциями которого являются: высокая скорость передачи данных (десятки Мбит/с для десятков тысяч пользователей одновременно, беспроводное подключение более сотен тысяч беспроводных датчиков, улучшение охвата, повышение

эффективности передачи сигнала, значительное снижение задержки по сравнению с LTE. На рис.2 показаны основные спектры внедрения интернет вещей.

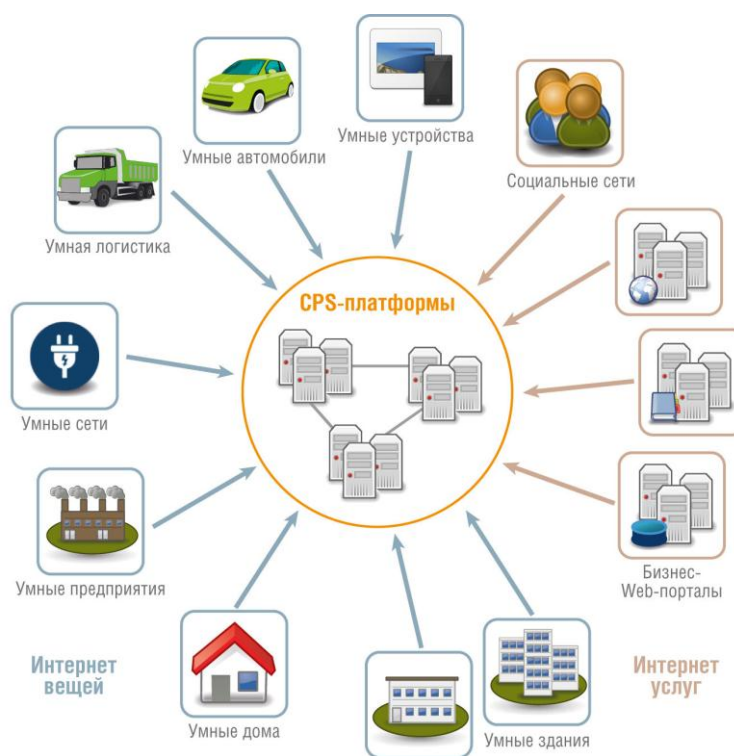


Рис.2. GPSплатформы и взаимные связи между интеллектуальными интернет-объектами [3].

Искусственный интеллект-это свойство интеллектуальных систем выполнять творческие и интеллектуальные функций, которые считаются прерогативой человека, научное и технологичное создание технологичных машин, в особенности интеллектуальных компьютерных программ.

Облачными вычислениями являются модели обеспечения удобного сетевого доступа запрашиваемого по требованию к некоторому общему фонду конфигурируемых вычислительных ресурсов (например, сетям передачи данных, серверам, устройствам хранения данных, приложениям и сервисам — как вместе, так и по отдельности), которые могут быть оперативно предоставлены и освобождены с минимальными эксплуатационными затратами или обращениями к провайдеру. Самыми важными показателями являются: затраты, скорость, глобальный масштаб,

производительность и безопасность.

Big DATA (Операция, обработка большого количества данных), обозначаются структурированные и неструктурированные данные очень большого и широкого спектра многообразия. эффективно обрабатываемыми горизонтально масштабируемыми программными инструментами. Управление таким объемом информации определяется тремя признаками называемыми «восемь V». Которыми являются: объём, скорость, разнообразие, достоверность, жизнеспособность, ценность, переменчивость и визуализация. Для решения проблем, связанных с Big DATA существуют несколько основных задач: преобразование исходных «сырых» данных в форму пригодную для анализа, анализ данных, интерпретация данных, использование данных в практике.

Аддитивные производства- это технологии, позволяющие изготавливать любое изделие при помощи послойного выращивания на основе компьютерной 3D-модели. Если при традиционном производстве в начале имеется заготовка, от которой в последующем отсекается все лишнее, либо деформируется, то в случае с аддитивными технологиями из ничего (а точнее, из аморфного расходного материала) выстраивается новое изделие. В зависимости от технологии, объект может строиться снизу-вверх или наоборот, получать различные свойства. Общая схема аддитивного производства представлена на рис.2.



Рис.2. Поэтапное изготовление Аддитивного производства. [3]

Кибербезопасность или так называемая «компьютерная безопасность», это реализация мер по защите систем, сетей и программных приложений от

цифровых атак. Такие атаки обычно направлены на получение доступа к конфиденциальной информации, ее изменение и уничтожение, на вымогательство у пользователей денег или на нарушение нормальной работы компаний или конкретного индивидуума. Реализация мер эффективной кибербезопасности в данный момент времени является достаточно сложной задачей, так как сегодня существует гораздо больше устройств, чем людей, а злоумышленники становятся все более изобретательными. Основными типами угрозы кибербезопасности являются: программы вымогатели, вредоносное ПО, социальная инженерия и фишинг.

Интеграционная система или корпоративные информационные системы являются механизмом автоматизаций всех функций корпораций и фирм и их охват представляет собой спектр всех работ. Он охватывает все работы, начиная от планирования деятельности до сбыта продукции. Они включают в себя ряд подсистем, работающих в едином информационном пространстве.

Дополненная реальность—это воспринимаемая смешанная реальность, создаваемая с помощью компьютера с использованием «дополненных» элементов воспринимаемой реальности (когда реальные объекты монтируются в поле восприятия). Среди наиболее распространенных примеров дополнения воспринимаемой реальности — параллельная лицевой цветная линия, показывающая нахождение отдельного объекта расположенного в непосредственной близости от него , стрелки с указанием расстояния от выбранного объекта до конечной его точки, «нарисованная» траектория движения автомобиля с заданным маршрутом, смешение реальных и вымышленных объектов в кинофильмах и компьютерных или гаджетных играх и т. п. Существует несколько признаков дополненной реальности:

1. Совмещение виртуального и реального;
2. Взаимодействие в реальном времени;
3. Работа в 3D пространстве;

Основными тенденциями развития Индустрии 4.0 являются [3]:

1. Децентрализация производства продуктов и ресурсов, а также гораздо более гибкое управление масштабом производства с целью снижения издержек.
2. Тотальное придание всем вещам функций искусственного интеллекта, превращение каждой вещи в потребителя и источник информации. Активное участие «умных» вещей в своем собственном конструировании, создании и ремонте.
3. Автоматизация услуг путем массового применения искусственного интеллекта — постепенное превращение всей индустрии услуг в отрасль, управляемую взаимодействием клиентского и сервисного искусственного интеллекта с активным использованием «больших данных» как источника информации для предсказания и планирования.
4. Быстрое сокращение участия человека во взаимодействиях между вещами.
5. Повсеместное создание институтов и инфраструктуры дополненной реальности и протоколов ее общения с «умными» вещами и девайсами.
6. Быстрое расширение «пассивного предпринимательства» населения за счет развития электронных торговых систем и использования тех или иных ресурсов домохозяйств и жителей.
7. Тотальное расширение технологии блокчейна и аналогичных.
8. Развитие альтернативных сетей, подобных интернету, и их интеграция в инфраструктуру дополненной реальности.

Одним из наиболее ощутимых аспектов четвертой промышленной революции является идея «сервис-ориентированного проектирования». Оно может варьироваться от пользователей, использующих заводские настройки для производства собственных продуктов, до компаний, которые поставляют индивидуальные продукты индивидуальным потребителям.

Потенциал такого вида производства огромен. К примеру, связь между умными продуктами «Интернета вещей» и умными машинами, которые их производят, то есть этот «промышленный Интернет», будет означать, что они смогут производить себя самостоятельно и определять целевое производство в зависимости от нужд, определенных ими же.

Можно представить нововведения, которые преподнесет четвертая промышленная революция. На промышленных предприятиях, где внедрены все элементы Индустрии 4.0 уже не будет нужно большое количество высококвалифицированных специалистов. Всю работу будут выполнять роботы, которые взаимосвязаны интегрированы в систему предприятия. А контроль будет вести один специалист, и даже он может это делать дистанционно, не находясь на территории предприятия. К примеру, вы пользуетесь товаром или услугами одного предприятия. Автомобилем и все его узлы связаны и передают работу о сбоях или поломках сразу на предприятие по выпуску запасных частей или станции техобслуживания. То задолго до выхода из строя той или иной детали завод будет оповещен о том, что нужно произвести данную деталь. Так же все эти нововведения предоставят возможность заказать товар той или иной формы, размера, и цвета. Т.е. предприятие будет полностью соответствовать запрашиваемым требованиям заказчика.

Так же нужно учесть еще один не мало важный фактор, такой как энергопотребление. Многие заводы, фабрики используют большое количество энергий во время выходных, перерывов и т.д. Умные заводы и интегрированные в них системы будут оптимизировать потребление энергий в этих случаях сводя их к минимуму.

Исходя из высказываний многих сторонников интегрированного производства, следует что Индустрия 4.0 может изменить само определение человеческого труда. Так как машины смогут выполнять повторяющиеся, рутинные задачи в производстве с большей производительностью, чем люди.

Но и люди, освобожденные от данных задач, будут больше заниматься творческими сферами деятельности.

Между тем есть и некоторые проблемы как с технической, так и социальной стороны в революции Индустрии 4.0. Максимизация плюсов четвертой промышленной революции требует массивных коопераций, не ограничивающихся корпоративными границами, особенно когда дело доходит до того, чтобы все машины говорили на одном языке. Если незаконченный продукт прибудет на машину, которая не сможет считать его RFID-чип, потому что тот запрограммирован на другой частоте, производственный процесс превратится в хаос. Таким образом, определение общих платформ и языков, на которых свободно будут общаться машины разных корпораций, остается одной из основных задач в распространении киберфизических систем.

Существуют ещё и другие элементы Industry 4.0 так как всесторонний возможности бурно развиваются и имеют огромный потенциал их применения на производственных предприятиях, которые в данной статье не рассматриваются.

Для промышленного производства уже в ближайшее время может определиться внедрение элементов индустрии 4.0. Поэтому изучение элементов их распространения на различные отрасли деятельности человечества представляет особую задачу и для создания и подготовки специалистов нового уровня. Это может быть осуществлено и внедрением кибер-физических систем элементов индустрии 4.0 в учебные программы и создание новых специальностей, так же позволит студентам в стремительно прогрессе эффективно развиваться в новых условиях.

Литература:

1. Падун Б.С., Куликов Д.Д. Технологическая подготовка гибких производственных систем. - Л.: Машиностроение. Ленинград-1987г. -275с.

2. Митрофанов С.П. Падун Б.С. Применение ЭВМ в технологической подготовке серийного производства. - М.: Машиностроение 1981г.-298с.

3. <https://hi-news.ru/business-analitics/industriya-4-0>

4. <http://www.tadviser.ru>

5. <https://www.vestifinance.ru>

6. <https://controlengrussia.com/industry-4-0>

7. Хасанов А. А., Мамбеталиев Т. С., Падун Б. С. Индустрия 4.0. Некоторые элементы интеграций в промышленное производство. Материалы №61 международной сетевой научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Научно – инновационные технологии: идеи исследования и разработки», посвященной 65-летию КГТУ им. И. Раззакова Часть 2. Бишкек, Текник, 2019, с.492 -497.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОЙКОСТИ СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ ПРИ ВЫСОКОМ КАЧЕСТВЕ ПРОСВЕРЛЕННЫХ ОТВЕРСТИЙ

Представлены методы определения стойкости спиральных сверл на скоростях резания, обеспечивающих высокое качество просверленных отверстий, используя результаты ранее проведенных исследований, что позволило исключить материальные и физические затраты на проведение дополнительных экспериментов.

Methods for determining the resistance of twist drills at cutting speeds of high quality drilled holes are presented, using the results of previous studies, which eliminated the material and physical costs of conducting additional experiments.

Ключевые слова: сверло, отверстие, аппроксимация, размер, качество, диаметр, скорость.

Key words: drill, hole, approximation, size, quality, diameter, speed

Статистика показывает, что около 20 % станочного парка машиностроительной и других отраслей промышленности составляют сверлильные станки, без учета выполнения операции сверления на станках типа токарных, револьверных, агрегатных и др. Известно, что более 60 % деталей машин и механизмов имеют отверстия. Сверление — единственный способ получения отверстий резанием, поэтому сверла являются одним из наиболее часто применяемых режущих инструментов. На промышленных предприятиях быстрорежущие спиральные сверла составляют от 11,3 до 22,8 % от общего количества используемого инструмента. В общем объеме производства режущего инструмента наибольший удельный вес (около 30 %) занимают быстрорежущие спиральные сверла. Технологический процесс обработки отверстий высокого качества небольших диаметров (до 20 мм), содержит не-

сколько переходов зенкерования и развертывания после сверления и достаточно трудоемким. При этом немаловажным фактором является стоимость металлорежущих инструментов, которая возросла более чем в сто раз, по сравнению с советским периодом. Авторами работы [1] разработаны и обоснованы параметры режима резания, на которых качество просверленных отверстий достаточно высокое, чтобы снизить общую трудоемкость изготовления точных отверстий. Однако для того, чтобы оценить величину снижения трудоемкости необходимо знать величину стойкости сверл на заданных параметрах режима резания, т.е. провести стойкостные исследования, которые сами по себе связаны с большой трудоемкостью и материалоемкостью. Данная работа посвящена решению актуальной проблемы: определение стойкости спиральных сверл на скоростях резания высокого качества

просверленных отверстий, используя результаты ранее проведенных исследований, с целью снижения материальных и физических затрат на проведение дополнительных экспериментов.

На рис. 1 представлена зависимость разбивки отверстий, обработанных сверлением, от скорости резания при подаче 0,23 мм/об, математическое выражение которой имеет вид (1) [1].

$$\Delta = 0,0063 \cdot V^{0,99}. \quad (1)$$

В табл. 1 приведены фактические значения разбивки отверстий, представленные в работе [1] и рассчитанные по зависимости (1).

Как видно в табл. 1 величины фактических и расчетных разбивок отверстий вполне соизмеримы. Условия проведения экспериментов при получении зависимости, представленной на рис. 1 аналогичны условиям проведения экспериментов, результаты которых представлены в работе [1]. В обоих случаях: сверлились отверстия глубиной 3d в заготовках из

стали 45, 190НВ быстрорежущими спиральными сверлами, диаметрами 10,2 и 11,0 мм, по ГОСТ 10903—77 из стали Р6М5 класса точности А1 на высокоточном оборудовании, заготовки предварительно фрезеровались и шлифовались с шести сторон, осевое и радиальное биения режущих кромок сверл, установленных в шпинделе станка, измерялись часовым микрометром с ценой деления 0,01 мм, закрепленном на магнитном штативе. Этим микрометром, установленным на стойке нутромера, измерялся диаметр отверстий. Задние поверхности сверл затачивались по двухплоскостной заточке, с последующей доводкой алмазным инструментом. На основании вы-

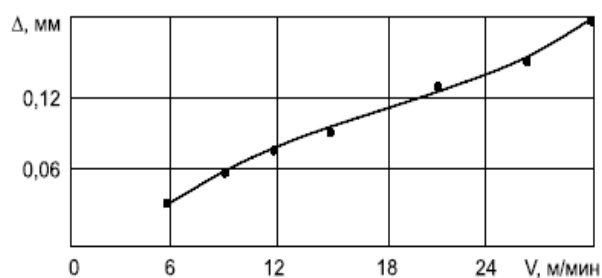


Рис. 1. Зависимость разбивки отверстия Δ от скорости резания V при сверлении

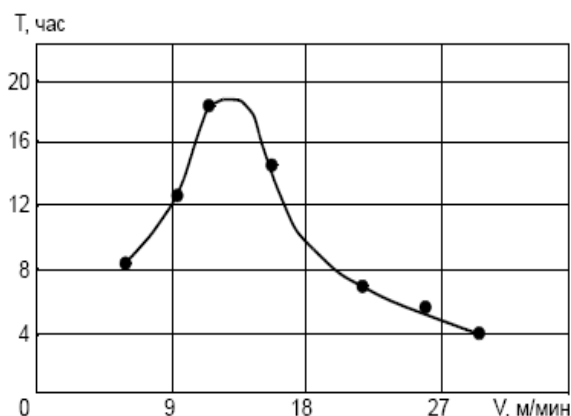


Рис. 2. Зависимость стойкости до функционального отказа быстрорежущих спиральных сверл от скорости резания

шеизложенного представляется возможным использовать результаты данных и аналогичных исследований для разработки нормативов стойкости быстрорежущих спиральных сверл для скоростей резания высокого качества просверленных отверстий.

Зависимость стойкости до функционального отказа сверл от скорости резания (рис. 2) получена при аналогичных экспериментальных условиях [2].

В работе [2] приведены результаты аппроксимации правой ветви графика рис. 2, которые показывают, что различные участки этой кривой аппроксимированы различными видами математических зависимостей, верхняя часть кривой с большей точностью аппроксимируется степенной зависимостью, а нижняя — экспоненциальной. Поэтому при аппроксимации правой ветви графика рис. 2 проведен сравнительный анализ по степени точности трех видов математических выражений: прямой, сте-

Таблица 1

V, м/мин \ S, мм/об	0,25	0,23
	ΔФакт.	ΔРасч.
3,45	0,02	0,021
4,32	0,03	0,027

Таблица 2

№	V, м/мин	T _{факт}	T _{расч} (2)	Погр. %	T _{расч} (3)	Погр. %	T _{расч} (4)	Погр. %
1	6	8,4	8,4	0	8,4	0	8,3988	0,014
2	9	12	13,2	10	13,11	9,2	12,29	2,41
3	12	18	18	0	17,97	0,15	17,99	0,028
				Ср. 3,33		Ср. 3,11		Ср. 0,82

пенной и экспоненциальной зависимостей (2), (3) и (4) соответственно.

$$T = -1,2 + 1,6V; \quad (2)$$

$$T = 1,1799V^{1,096}; \quad (3)$$

$$T = 3,92e^{V^{0,127}}. \quad (4)$$

В табл. 2 приведены фактические и рассчитанные по зависимостям (2)–(4) значения стойкости и погрешности расчетов.

Сравнительный анализ показал, что наименьшая погрешность расчетов получена при аппроксимации левой ветви графики (рис. 2) экспоненциальной зависимостью (4), которую можно использовать для расчета стойкости до функционального отказа сверл на скоростях резания, представленных в табл. 1. Рассчитанная по зависимости (4) стойкость представлена в табл. 3.

В табл. 3 видно, что стойкость до функционального отказа сверл на скоростях резания высокой точности отверстий достаточно высокая. В табл. 3 приведены наработка L , в виде суммарной глубины просверленных отверстий, которая на скорости резания 3,45 м/мин соответствует 277 просверленным отверстиям глубиной $3d$, а на скорости резания 4,32 м/мин — 386 просверленным отверстиям. Однако этот анализ не дает ответа на вопрос качественных показателей всех просверленных отверстий за соответствующий период стойкости.

Таблица 3

V, м/мин	T, ч	L, м
3,45	6,1	9,15
4,32	6,8	12,75

На этот вопрос может дать ответ график зависимости износа уголков сверл от скорости резания [3], полученный в результате анализа исследований, представленных в работе [2], рис. 3.

В работе [4] определено, что для аппроксимации кривых графиков подобных зависимостей применимы математические выражения (5) и (6), степень точности при аппроксимации которыми зависит от характера кривой.

$$\Delta d = aV^b e^{-CV}, \quad (5)$$

$$\Delta d = \Delta d_m \left(V^a e^{-V^b} \right)^n, \quad (6)$$

где Δd_m — максимальное значение Δd на кривой рис. 3, a — константа, a, b, C, n — показатели степени.

Константа и показатели степени зависимости (5) находятся посредством решения системы логарифмических уравнений с координатами Δd_i и V_i произвольно выбранных точек на аппроксимируемой кривой. В результате решения этих уравнений получены формулы для расчета показателей степени в виде:

$$b = \frac{(V_2 - V_1)(\ln \Delta d_3 - \ln \Delta d_1) + (\ln V_2 - \ln V_1)(V_1 - V_3) - (V_1 - V_3)(\ln \Delta d_2 - \ln \Delta d_1)}{-(V_2 - V_1)(\ln V_3 - \ln V_1)},$$

$$c = \frac{b(\ln V_2 - \ln V_1) - (\ln \Delta d_2 - \ln \Delta d_1)}{(V_2 - V_1)}.$$

Константа находится посредством решения логарифмического уравнения

$$\ln a = \ln \Delta d_1 - b \ln V_1 + CV_1.$$

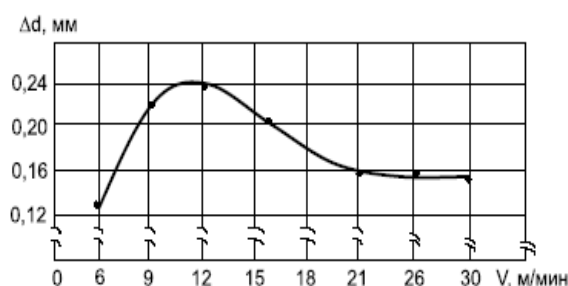


Рис. 3. Зависимость износа уголков сверл Δd от скорости резания

В результате аппроксимации кривой, представленной на рис. 3 в диапазоне скоростей резания $V = 9\text{—}16$ м/мин зависимостью (5) получено следующее математическое выражение

$$\Delta d = 0,002257V^{3,1312}e^{-0,2595V}. \quad (7)$$

В табл. 4 представлены фактические и рассчитанные по зависимости (7) значения стойкости и погрешности расчетов.

В табл. 4 видно, что зависимость (3) дает высокую точность расчетов, средняя погрешность которых составляет 1,18 %.

Показатели степени зависимости (6) находятся следующим образом

$$b = \frac{1}{\ln V_M}, \quad \alpha = \frac{e}{\ln V_M},$$

где V_M — скорость резания максимума графика зависимости рис. 3.

Для определения показателя степени n находятся значения

$$n_i = \frac{\ln \frac{\Delta d_i}{\Delta d_M}}{\ln(V_i^a e^{-V_i^b})},$$

для всех точек кроме Δd_M и V_M , а затем найденные значения усредняются.

После определения показателя степени n значение Δd_M уточняется. Для этого рассчитываются значения Δd_{Mi} по формуле:

$$\Delta d_{\max} = \frac{\Delta d_i}{(V_i^b e^{V_i^c})^n},$$

а затем найденные значения Δd_{Mi} усредняются.

В работе [5] представлены способы определения скорости резания максимума горбообразных зависимостей, а в работе [6] приведена их классификация. Применение представленных в указанных работах способов позволило определить скорость резания максимума V_M графика зависимости, представленного на рис. 3 которая равна 11,1 м/мин. На этой скорости резания величина износа уголков Δd_M равна 0,24 мм.

Практически значения износа уголков на скорости V_M и на скорости 12 м/мин совпадают (рис. 3), что не позволяет получить значение степени n на этой скорости, т.к. логарифм единицы равен нулю, поэтому аппроксимировать график, представленный на рис. 3, зависимостью (6) не представляется возможным.

В табл. 5 показаны значения разбивки отверстий и износа уголков сверл на скоростях резания высокого качества просверленных отверстий.

В табл. 5 видно, что износ уголков при откате сверл значительно превысил фактическую разбивку отверстий Δ . В работе [7] показана

Таблица 4

№	V, м/мин	$\Delta d_{\text{факт}}$	$\Delta d_{\text{расч}} (7)$	Погр. %
1	6	0,13	0,1299	0,077
2	9	0,22	0,2124	3,45
3	12	0,24	0,24003	0,0125
				Ср. 1,18

Таблица 5

V, м/мин	Δ , мм	Δd , мм
3,45	0,02	0,045
4,32	0,03	0,072

Таблица 6

V, м/мин	6	9	12
b	0,0057	0,00482	0,002646
r	0,9975	0,997	0,999

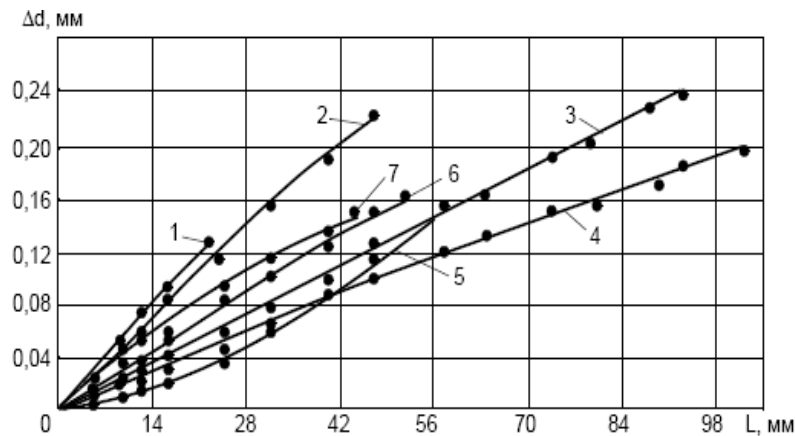


Рис. 4. Зависимости износа уголков от наработки, где 1 — $V = 6$ м/мин, 2 — $V = 9$ м/мин, 3 — $V = 12$ м/мин, 4 — $V = 16$ м/мин, 5 — $V = 21$ м/мин, 6 — $V = 26$ м/мин, 7 — $V = 30$ м/мин

но, что при сверлении со скоростями резания $V = 16$ м/мин и ниже после определенной наработки разбивка отверстий становится отрицательной, то есть диаметр просверленного отверстия становится меньшим первоначального диаметра сверла. В нашем случае износ уголков не должен превышать фактическую разбивку просверленных отверстий.

На рис. 4 представлены зависимости износа уголков сверл диаметром 10,2 мм от наработки [8].

Аппроксимация зависимостей (рис. 4) на скоростях резания 6, 9, 12 м/мин методом наименьших квадратов показала высокое их соответствие уравнению прямой $\Delta d = bV$.

В табл. 6 показаны результаты аппроксимации указанных зависимостей.



Рис. 5. Зависимость интенсивности изнашивания уголков от скорости резания

В табл. 6 видно, что коэффициенты корреляции r для всех указанных скоростей резания близки к единице. b — коэффициент регрессии (угол наклона кривой износа к оси абсцисс) представляет собой интенсивность износа уголков на соответствующей скорости резания. График зависимости интенсивности износа уголков сверл от скорости резания представлен на рис. 5.

Аппроксимация графика, представленного на рис. 5 уравнениями прямой (8), степенной зависимости (9) и экспоненциальной зависимостью (10) не показало достаточной степени адекватности математических зависимостей с графической (табл. 7).

$$b = 0,008754 - 0,000509V; \quad (8)$$

$$b = 0,04118V^{-1,1046}; \quad (9)$$

$$b = 0,012286e^{-0,12795V}. \quad (10)$$

В табл. 7 представлены фактические и рассчитанные по зависимостям (8)–(10) величины интенсивности износа уголков и погрешности расчетов.

Аппроксимация графика, представленного на рис. 5 уравнением (5), зависимость (11) показала высокую степень адекватности фактических и рассчитанных по зависимости (11) значений интенсивности износа уголков (табл. 8).

$$b = e^{-8,425693\sqrt{3,66493}} e^{-0,55133V}. \quad (11)$$

Таблица 7

№	V, м/мин	b _{факт}	b _{расч} (8)	Погр. %	b _{расч} (9)	Погр. %	b _{расч} (10)	Погр. %
1	6	0,0057	0,0057	0	0,00569	0,15	0,0057	0
2	9	0,00482	0,0042	13,4	0,00369	23,4	0,00388	19
3	12	0,002646	0,002646	0	0,0026467	0,007	0,002646	0
				Ср. 4,46		Ср. 7,85		Ср. 6,3

В табл. 8 представлены фактические и рассчитанные по зависимости (11) величины интенсивности износа уголков и погрешности расчетов.

Зависимость (11) позволяет с большой точностью рассчитать наработку и стойкость сверл для величин износа уголков равных величинам разбивки отверстий (табл. 1) по зависимости $L = \Delta/b$ (табл. 9).

В табл. 9 представлены наработки и стойкости сверл на скоростях резания высокого качества просверленных отверстий.

ВЫВОДЫ

1. Определено, что при эксплуатации сверл до функционального отказа на скоростях резания высокого качества просверленных отверстий износ уголков значительно превышает фактическую разбивку отверстий.

Таблица 8

№	V, м/мин	b _{факт}	b _{расч} (13)	Погр. %
1	6	0,0057	0,0057	0
2	9	0,00482	0,004822996	0,06
3	12	0,002646	0,00264616	0,006
				Ср. 0,022

Таблица 9

V, м/мин	Δ	L, м	T, ч
3,45	0,02	6,535	4,35
4,32	0,03	6,946	3,7

2. Определена наработка и стойкость спиральных сверл на скоростях резания высокого качества просверленных отверстий.

3. Для определения наработки и стойкости использовались результаты ранее проведенных исследований, что позволило исключить материальные и физические затраты на проведение дополнительных экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рагрин Н. А., Айнабекова А. А., Озгонбеков А. О. Разработка путей и методов повышения качества отверстий при сверлении // Технология машиностроения. 2018. № 6. С. 10—15.
2. Рагрин Н. А. Методология построения моделей надежности инструментов для типа производства // Технология машиностроения. 2017. № 1. С. 50—56.
3. Рагрин Н. А. Разработка и обоснование критериальной модели для типа производства с применением спиральных сверл // Технология машиностроения. 2016. № 4. С. 57—63.
4. Рагрин Н. А. Математическая модель стойкостной зависимости при сверлении // Технология машиностроения. 2014. № 1. С. 49—54.
5. Рагрин Н. А. Анализ способов определения скорости резания при максимальной стойкости спиральных сверл // Технология машиностроения. 2014. № 7. С. 20—24.
6. Рагрин Н. А. Классификация способов определения скоростей резания при максимумах стойкости и наработки спиральных сверл // Технология машиностроения. 2015. № 2. С. 11—14.
7. Рагрин Н. А. Критерий технологического износа быстрорежущих спиральных сверл // Известия КГТУ им. И. Раззакова. 2010. № 21. С. 43—45.
8. Самсонов В. А., Рагрин Н. А., Стародубов И. И. Особенности износа ленточек и уголков быстрорежущих спиральных сверл // Известия КГТУ им. И. Раззакова. 2013. № 29. С. 160—163.

3. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ СВОБОДНО ПРОГРАММИРУЕМОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА С ЧПУ)

Введение. В наше время автоматизация проектирования технологических процессов невозможно в отсутствии современного оборудования с числовым программным управлением. Вводными данными для проектирования технологического процесса является сама модель, в которой содержится вся информация – это 3D модель детали, материал, оборудования, инструмент.

Автоматизации проектирования ТП для свободно программируемого технологического оборудования (на примере фрезерного станка с ЧПУ)

Автоматизация проектирования предполагает систематическое использование ЭВМ в процессе проектирования при обоснованном распределении функций между человеком и ЭВМ и выборе методов автоматизированного решения технологических задач [1]. В случае использования фрезерного станка с ЧПУ автоматизация проектирования происходит на начальном уровне. Это означает, что при проектировании в системе CAD/CAM задается чертеж детали, ее 3D модель, режимы резания, инструмент. Вначале в программе Solid Works создается 3D модель детали со всеми размерами. В основном проектирование программ для станков с ЧПУ имеет общий формат [2].

В нашем примере взят куб с глухими отверстиями.

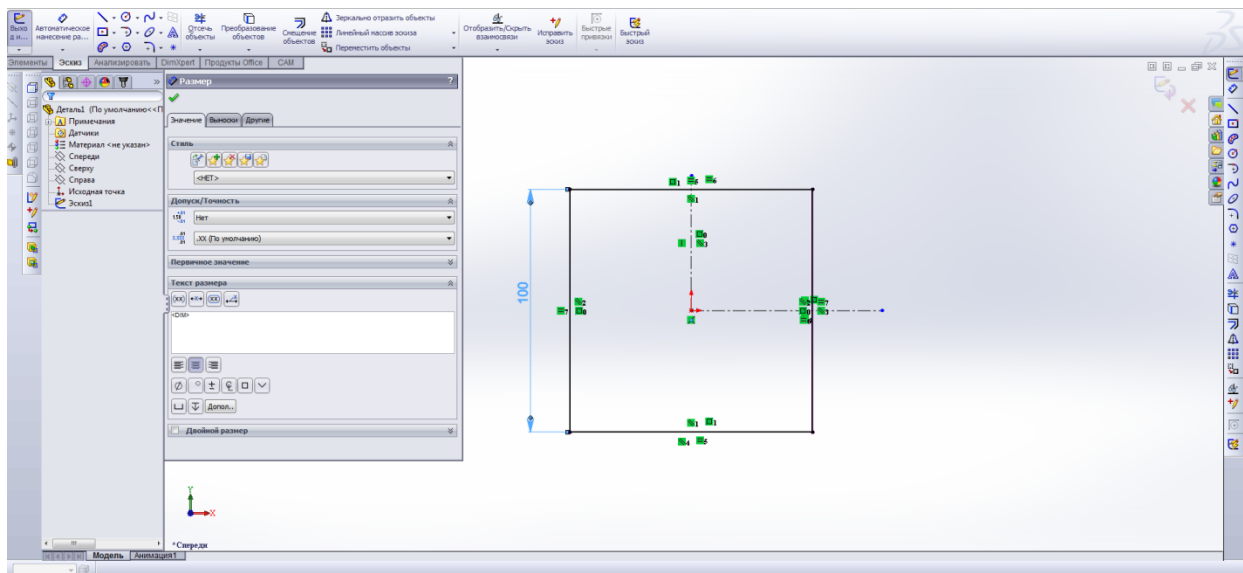


Рис.1 Эскиз куба.

Вначале создается эскиз куба, и в нем содержатся размеры нашего куба (см. рис.1). По эскизу создается 3D модель с помощью инструментов Solid Works (см. рис.2).

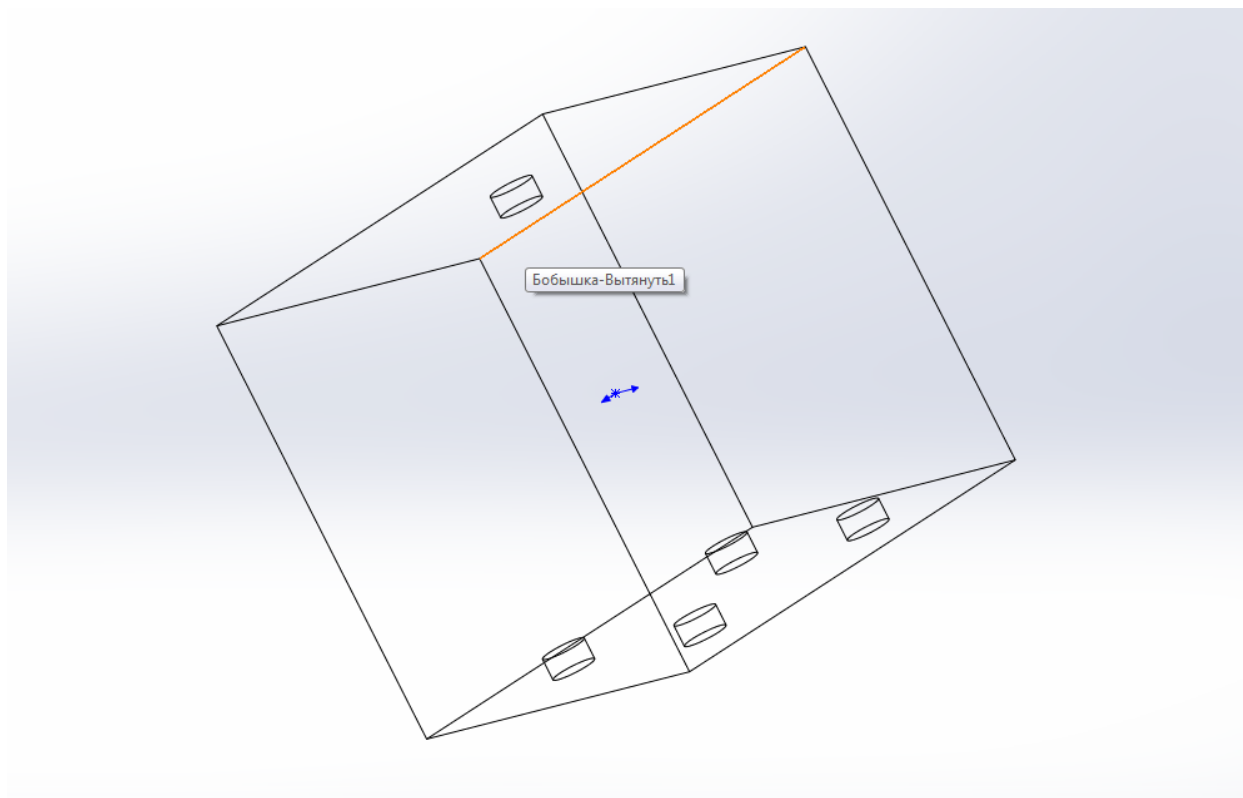


Рис.2 3D модель куба.

Затем после создания 3D модели мы переходим из CAD системы в CAM, где задаем нужные нам операции, в которых указываем станок, режимы резания, инструмент, плоскость обработки, ноль детали. Это необходимо для работы с HSM express. Чтобы начать необходимо выбрать закладку «Работа» и задать нужную операцию (см. рис.3).

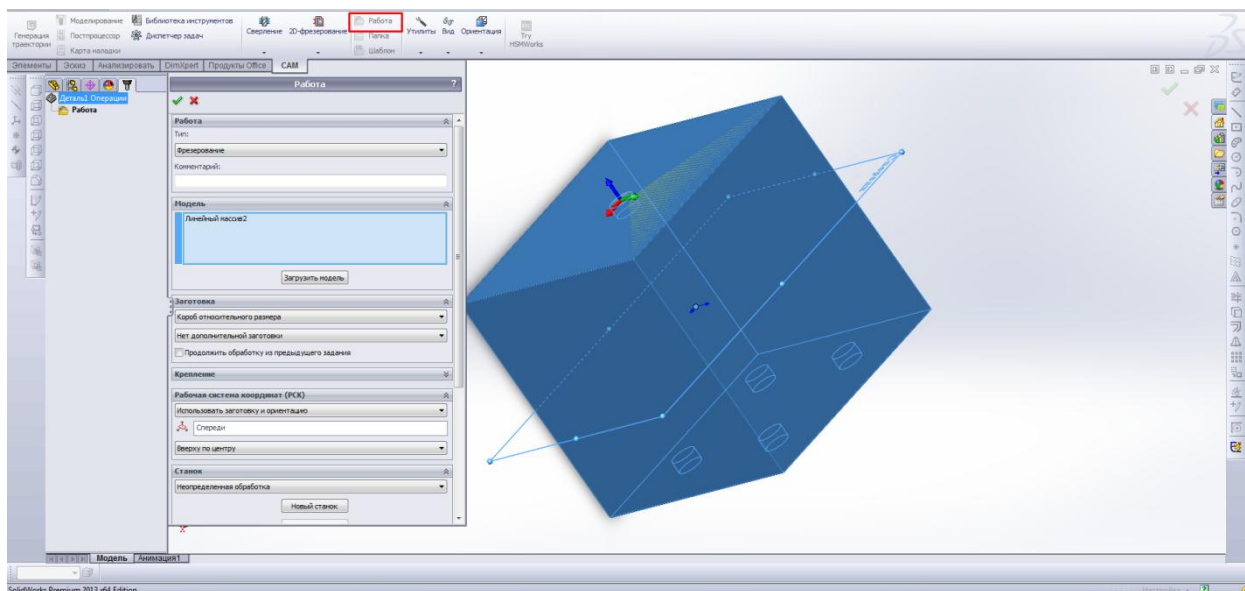


Рис.3 Создание новой работы.

После выбора данной закладки откроется окно, где необходимо задать рабочую систему координат. Для этого выбираем одну из граней, чтобы определить плоскость которую мы хотим обработать (см. рис 4).

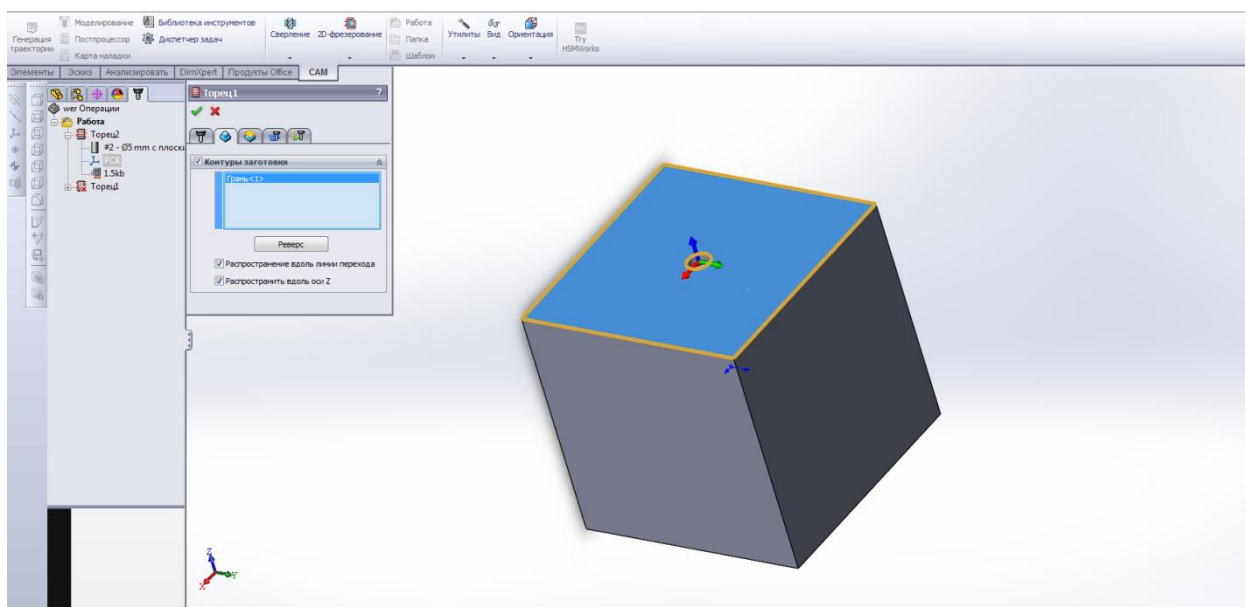


Рис.4 Рабочая система координат.

В соответствии с исходным заданием мы выбираем тип обработки - фрезерование. Далее необходимо задать операцию (см. рис.5). Для этого необходимо выбрать закладку «Новая операция»>2D фрезерование>Торец.

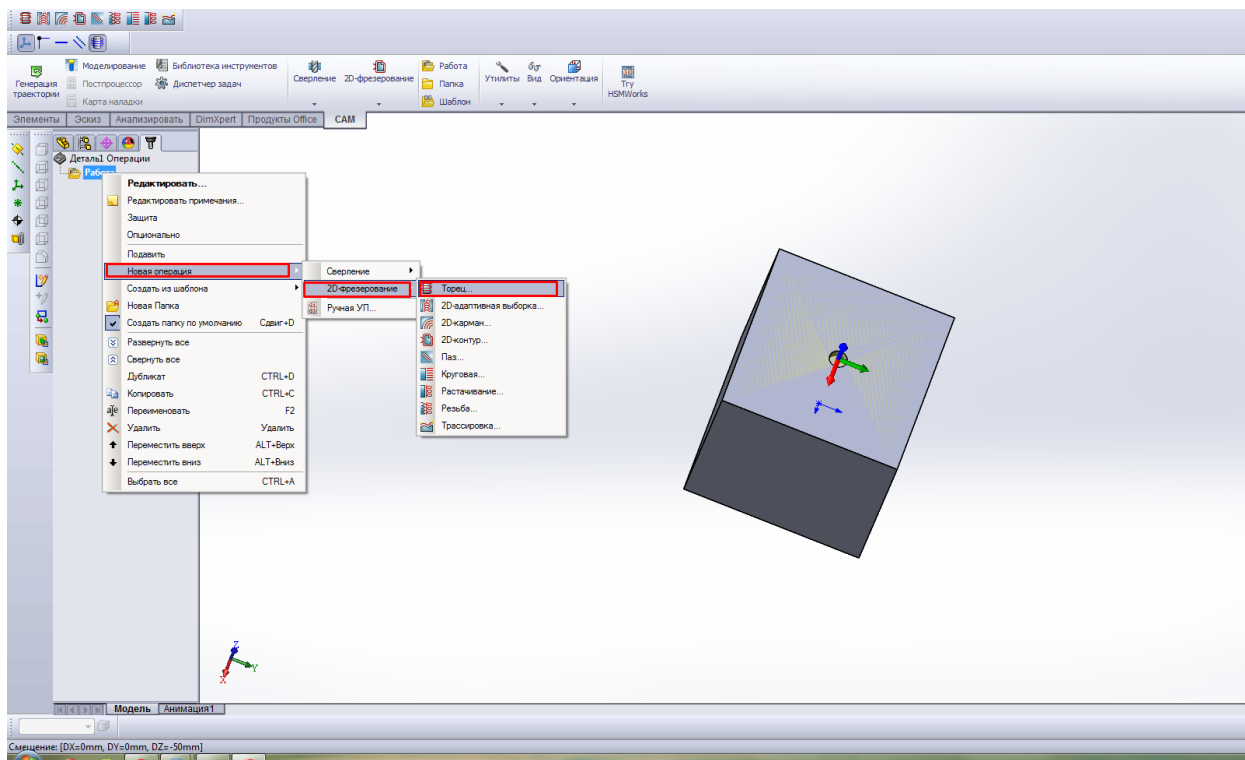


Рис.5 Добавление операции фрезерование

Потом выбрать в окне режимы резания, инструмент.

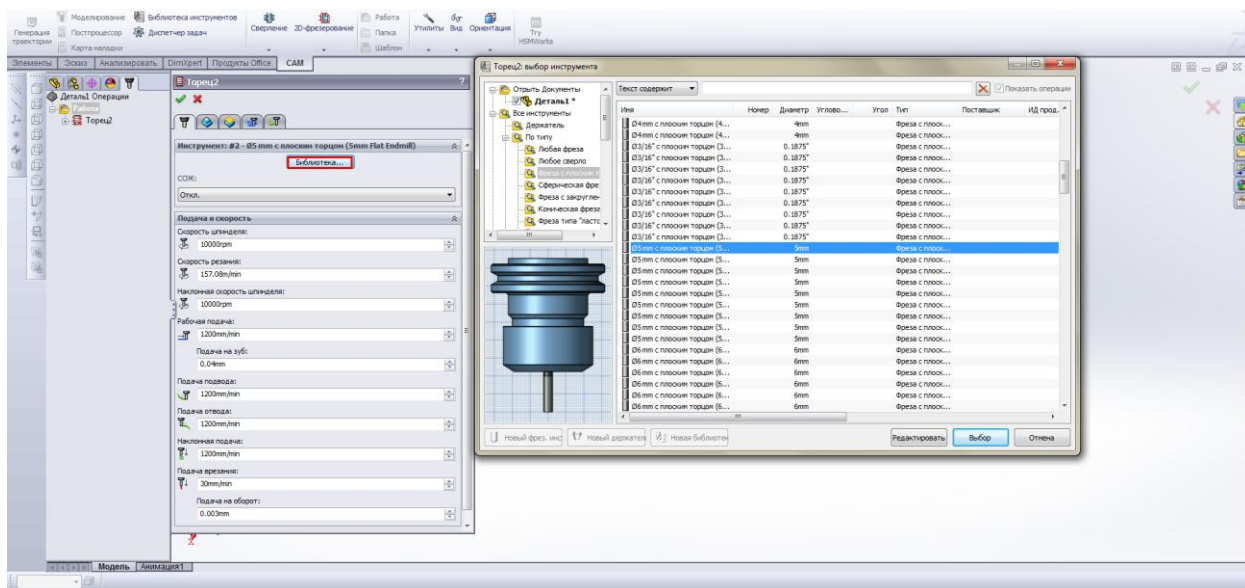


Рис.6 Выбор инструмента.

Чтобы выбрать инструмент нужно перейти в библиотеку инструментов (см. рис.6).

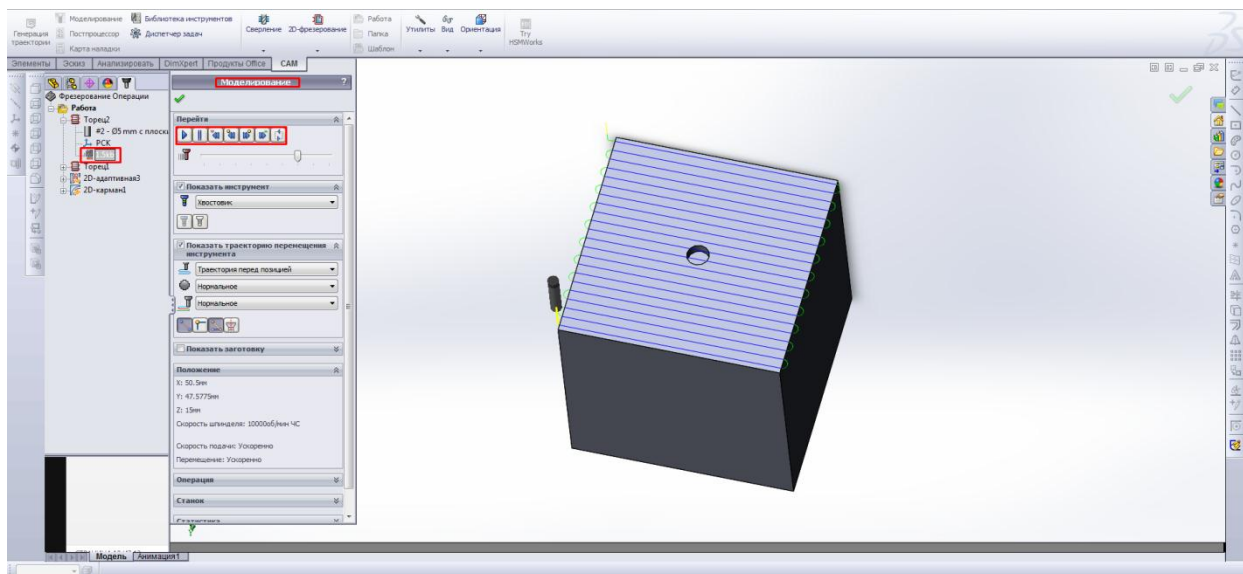


Рис.7 Моделирование процесса резания

После того как выбрали инструмент нам нужно проконтролировать при помощи моделирование процесса резания (см. рис.7).

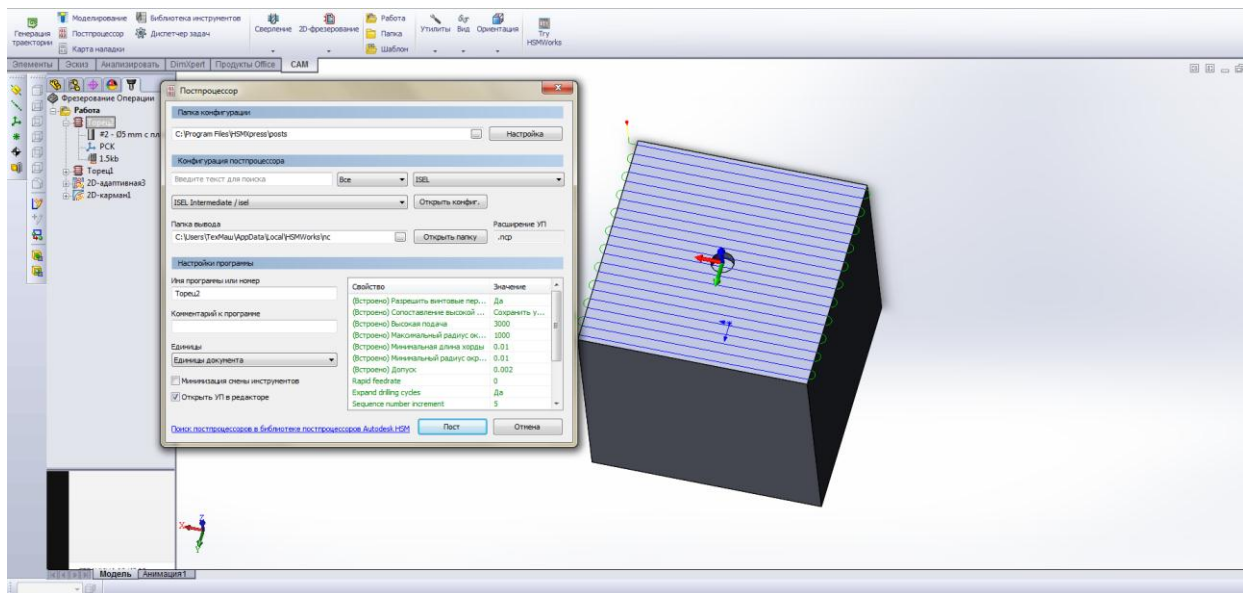
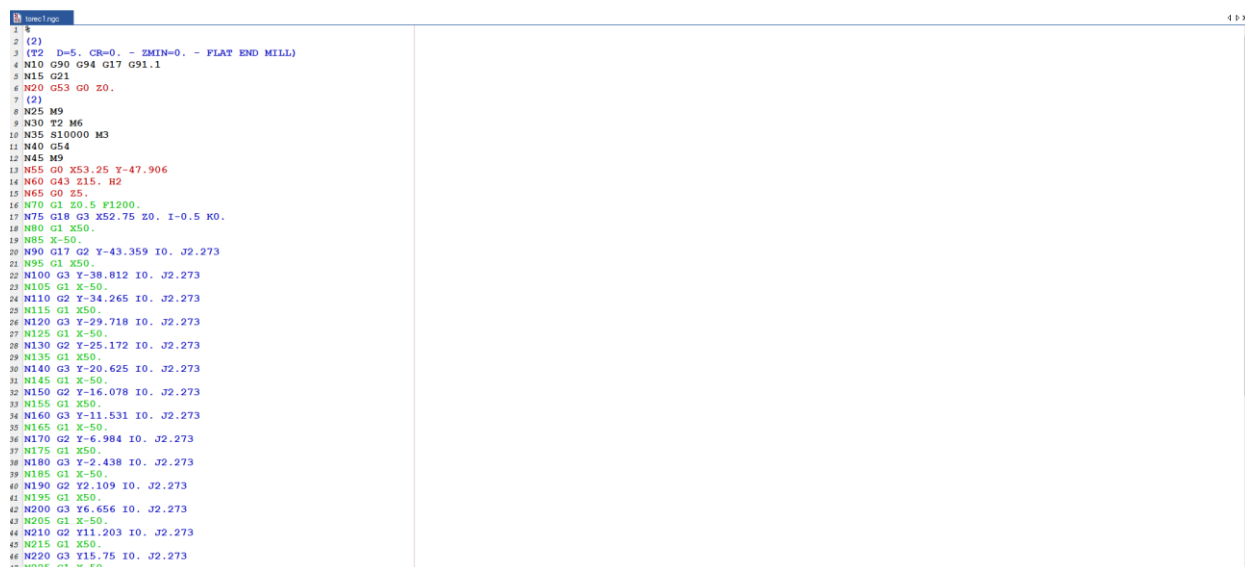


Рис.8 Постобработка данных.

После того как закончили работу необходимо перенести все эти данные в машинный код при помощи HSM express. Это означает, что на все заданные операции нужно создать постпроцессор (см. рис.8). Если все верно,

то нам он выдаст управляющую программу на G коде (см. рис.9) для выбранного фрезерного станка с ЧПУ.



```
1 %
2 (2)
3 (T2 D=5, CR=0, - ZMIN=0, - FLAT END MILL)
4 N10 G90 G94 G17 G91.1
5 N15 G21
6 N20 G53 G0 Z0.
7 (2)
8 N25 M9
9 N30 T2 M6
10 N35 S10000 M3
11 N40 G54
12 N45 M9
13 N55 G0 X53.25 Y-47.906
14 N60 G43 Z15. H2
15 N65 G0 Z5.
16 N70 G1 Z0.5 F1200.
17 N75 G18 G3 X52.75 Z0. I=0.5 K0.
18 N80 G1 X50.
19 N85 X-50.
20 N90 G17 G2 Y-43.359 I0. J2.273
21 N95 G1 X50.
22 N100 G3 Y-38.812 I0. J2.273
23 N105 G1 X-50.
24 N110 G2 Y-34.265 I0. J2.273
25 N115 G1 X50.
26 N120 G3 Y-29.718 I0. J2.273
27 N125 G1 X-50.
28 N130 G2 Y-25.172 I0. J2.273
29 N135 G1 X50.
30 N140 G3 Y-20.625 I0. J2.273
31 N145 G1 X-50.
32 N150 G2 Y-16.078 I0. J2.273
33 N155 G1 X50.
34 N160 G3 Y-11.531 I0. J2.273
35 N165 G1 X-50.
36 N170 G2 Y-6.984 I0. J2.273
37 N175 G1 X50.
38 N180 G3 Y-2.438 I0. J2.273
39 N185 G1 X-50.
40 N190 G2 Y2.109 I0. J2.273
41 N195 G1 X50.
42 N200 G3 Y6.656 I0. J2.273
43 N205 G1 X-50.
44 N210 G2 Y11.203 I0. J2.273
45 N215 G1 X50.
46 N220 G3 Y15.75 I0. J2.273
47 N225 G1 X-50.
```

Рис. 9 G код для фрезерного станка с ЧПУ.

Стоит учесть то, что при передаче данных на фрезерный станок с ЧПУ конкретной модели нужно будет отредактировать номера инструментов, так как возможно в магазине стоит не тот инструмент, который нам нужен. Все эти этапы по использованию ЧПУ станка описанны в инструкции [3].

Используемая литература:

1. Автоматизация проектирования технологических процессов : учеб. пособие для вузов [электронный ресурс] / В.И. Аверченков, Ю.М. Казаков. – 2-е изд., стереотип. – М. : ФЛИНТА, 2011. – 229 с.
2. Инструкции по созданию ЧПУ программы (CNC данные)/bzt-cnc.ru/dannie_cnc.html
3. Assembly Instryction for CNC base machinery(partly completed machinery). Operating Instruction for CNC machinery(complete machinery). Type: EuroMod, Models:Euromod 30,45,65.

4. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ, СЕГМЕНТИРОВАННЫЕ НА СЕКЦИИ С НАКОПИТЕЛЯМИ ОГРАНИЧЕННОЙ ЕМКОСТИ.

Автоматизированные производственные линии с высокой производительностью представляют собой сложные и дорогие системы на основе механических, электрических и электронных частей. Прогнозирование эффективности автоматизированных линий является важной аналитической задачей. Расчет производительности серийной автоматизированной производственной линии (АЛ), сегментированной на секции со встроенными накопителями ограниченной емкости, является сложной и одним из ключевых проблем для производителей.

Производительность АЛ со сбалансированными технологическими процессами зависит от надежности составляющих его механизмов, рабочих машин и агрегатов, транспортных систем и других узлов. Балансировка времени обработки приводит к увеличению числа рабочих машин и производительности АЛ. Но, это также приводит к увеличению частоты отказов и, следовательно, к снижению производительности АЛ.

Решение вопроса повышения производительности представлено с точки зрения сегментирования АЛ на секции со встроенными накопителями. Это исследование представляет аналитическое решение для повышения производительности АЛ, сегментированного на секции со встроенными накопителями ограниченной емкости. Математическая модель производительности АЛ выводится как функция технологических параметров, емкости накопителей и количества рабочих машин и секций с различными частотами отказов и продолжительностью цикла.

Ключевые слова: автоматическая линия, производительность, системный анализ, секция, накопитель

Используемые обозначения

Q - производительность автоматической линии (шт / мин)

T - время цикла (мин / шт)

N - емкость накопителя

$P_i(t)$ - вероятность того, что на рабочей машине произойдет отказ в течение определенного времени работы

$R_i(t)$ - вероятность того, что рабочая машина будет работать в течение определенного времени без отказов

e - основание натурального логарифма

f_m - поправочный коэффициент времени обработки для лимитирующей позиции

f_s - поправочный коэффициент отказов в лимитирующей позиции

m_r - среднее время ремонта и обслуживания машинных агрегатов (мин)

n - количество секций в автоматизированной линии

q - количество рабочих мест в автоматической линии

t - время

t_a - вспомогательное время (мин / шт)

t_{av} - среднее время обработки на рабочей позиции

t_{mo} - общее время обработки (мин / шт)

$t_{m.b}$ - время обработки на лимитирующей позиции (мин / шт)

θ - время простоя секции

$\Delta\lambda$ - добавленный процент отказов в секции

$\Delta\lambda_{f.i}, \Delta\lambda_{b.i}$ - добавленные частоты отказов для секции, расположенной спереди или сзади от соседней из-за ограниченной емкости накопителя

λ_i - частота отказов i -секции

λ_b - частота отказов лимитирующей позиции

$\lambda_{s.i}$ - частота отказов рабочей i -секции

λ_c - частота отказов системы управления

λ_{tr} - частота отказов транспортной системы

Введение

Технологические процессы серийного производства производятся на многопозиционных автоматических линиях. Промышленный опыт показывает, что автоматические линии не всегда работают с максимальной производительностью по ряду причин. Автоматические линии испытывают простои по разным причинам, в то время как фактические показатели производительности часто ниже, чем те, которые рассчитываются по известным математическим моделям и руководствам по эксплуатации. В прошлом использовались различные методы для повышения производительности АЛ. Одним из них является сегментация АЛ на секции со встроенными накопителями, которые должны повысить производительность.

Многочисленные публикации в области технологических процессов показали, что в области проектирования и эксплуатации АЛ все еще есть много нерешенных проблем. Инженерная литература по машиностроению и системам со сложными конструкциями, представляет ряд ключевых публикаций, касающихся математического моделирования производительности и надежности АЛ [1-4]. Эти учебники используют математические модели, которые описывают потенциальную эффективность производственных систем. Есть также учебники и публикации, которые рассматривают проектирование и эксплуатацию, где перечислены составляющие процесса, производительности и сравнительные параметры нескольких типов АЛ. В некоторых публикациях рассматриваются проблемы и решения проектирования, эксплуатации, исследования движения, оптимизации конструкции и логистического планирования АЛ, которые имеют решающее значение для выполнения технологических процессов [5 - 10].

Сбалансированность и последовательность операций являются одними из наиболее важных задач в процессе планирования. Анализ сбалансированности в АЛ с накопителями моделируется и оценивается с

помощью некоторых критериев оптимизации [11]. Ряд исследователей сосредоточили свое внимание на повышении эффективности АЛ за счет повышения производительности и снижения частоты отказов. В этих публикациях рассматривается надежность и обслуживание производственных линий, которые, по-видимому, вызывают значительные производственные потери. В этих исследованиях утверждается, что расчеты надежности и производительности многоступенчатых линий с накопителями представляют собой сложные проблемы и, следовательно, их трудно решить аналитически [12-13]. Тем не менее, существуют ключевые публикации с математическими моделями для производительности и доступности различных автоматизированных линейных структур, которые могут быть полезны для моделирования АЛ, сегментированного на секции с накопителями ограниченной емкости [4, 14, 15 и 16].

Оценка эффективности промышленных объектов производится на основе экономической и физической продуктивности. Некоторые авторы рассматривают разные модели производительности, которые применяются при анализе макро- и микроэкономики [17]. Макроэкономическая производительность - это мера эффективности производственных систем, где производительность - это отношение объема производства к затратам труда. В этих публикациях выполнялись работы по изготовлению машин и систем, основанные на экономических и вероятностных математических моделях и не включающие технические характеристики промышленных машин. Микроэкономика использует термин «физическая производительность», который представляет собой отношение количества продуктов, изготовленных за определенный период, и включает техническую, технологическую и управленческую информацию.

Производители нуждаются в математических моделях производительности производственных систем со сложными конструкциями, таких как автоматические линии, основанные на технологических процессах, надежности механизмов и машин производственных систем, количество

секций с накопителями и т. д. Эти математические модели должны прогнозировать фактическое значение производительности промышленных машин и систем, при этом разница между теоретическими и практическими данными должны быть минимальными. Это важнейшая задача для практиков машиностроения.

Цель исследования - предложить аналитическую модель для определения величины физической производительности АЛ, который сегментирован на секции со встроенными накопителями ограниченной вместимости и с рабочими машинами и участками с различной частотой отказов. Эта модель должна решить проблему, связанную с увеличением производительности, путем расчета оптимального количества рабочих машин для любого заданного числа секций с накопителями, которое обеспечивает максимальную производительность АЛ.

Методология

Сбалансировка технологических процессов и внедрение многопозиционных машин в АЛ не бесконечен и ограничен многими причинами, такими как качество обработки деталей, надежность рабочих механизмов и т. д. Кроме того, практика показывает, что производительность АЛ увеличивается с увеличением количества рабочих позиций до определенного предела. Дальнейшее увеличение их количества приводит к снижению производительности АЛ. Существует оптимальное количество рабочих машин, которое дает максимальную производительность. Надежность рабочих машин и других устройств, входящих в состав автоматизированной линии ограничивает добавление большего их количества и приводит к увеличению времени простоя АЛ. Повысить производительность АЛ можно путем сегментирования линии на участки со встроенными накопителями, которые должны повысить производительность. В этом случае сегментация АЛ на несколько секций приводит к сокращению простоев всей линии. Время простоя любой рабочей машины не приведет к

остановке всего АЛ, но остановит только одну секцию, в то время как другие секции продолжают работать, заполняя и отбирая детали из накопителей. Это техническое решение может повысить производительность АЛ и представляет интересы для промышленности.

На практике накопительная емкость автоматизированных линий может быть ограничена различными причинами, такими как ограничение производственных площадей, проблемы проектирования, стоимость оборудования и т. д. В таком случае межсекционные накопители могут частично компенсировать простои соседних секций из-за частых отказов. Предложенная математическая модель решает проблему, связанную с увеличением производительности, путем расчета оптимального количества рабочих машин для любого заданного числа секций с накопителями, которые обеспечивают максимальную производительность АЛ.

Известные математические модели производительности производственных систем основаны на усредненных данных о времени обработки, параметрах надежности рабочих машин и механизмов автоматической линии. Эти аналитические модели могут дать приблизительные результаты, которые должны быть скорректированы фактическими техническими данными, с учетом технологического процесса, структуры автоматизированной линии и реальной производственной среды. Уравнение для производительности АЛ с жесткой связью рабочих машин и механизмов получены в работе [4]. Это уравнение демонстрирует, что отказ одной рабочей машины приводит к простоям остальных из-за жесткой связи. Сегментация АЛ и размещение накопителей между секциями позволяют сократить время простоя линии, что приводит к увеличению производительности труда. Схематично этот АЛ представлен на рис. 1.

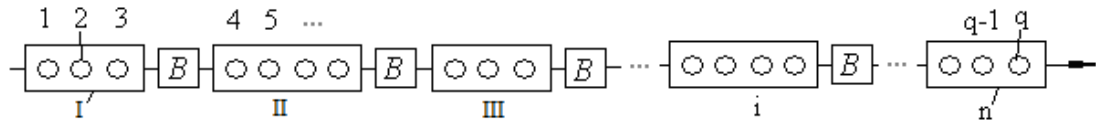


Рисунок 1. Схема АЛ с q рабочими машинами, сегментированная на n секций с накопителями В.

Современное производство машин и систем со сложной конструкцией требует разработки адекватных математических моделей для расчета производительности труда. Балансировка технологического процесса в АЛ приводит к увеличению количества рабочих машин q и уменьшению циклового времени Т. Уравнение производительности АЛ, сегментированное на секции с накопителями, имеет вид представленный следующим модифицированным уравнением [14]:

$$Q = \frac{1}{\frac{t_{mo}}{q} f_m + t_a} \times \frac{1}{1 + m_r \left(f_s \frac{\sum_{i=1}^q \lambda_{s,i}}{n} + \sum_{i=1}^{n-1} \Delta \lambda_i + \lambda_{bf} + \lambda_c + \lambda_{tr} \right)} \quad (1)$$

где, t_{mo} - общее время, затраченное для обработки одной детали; q - количество рабочих машин; $t_{av} = t_{mo}/q$ - среднее время обработки на рабочей позиции; $f_m = t_{mb}/t_{av}$ это поправочный коэффициент времени обработки t_{mb} для рабочей машины на лимитирующей позиции; m_r - среднее время ремонта и обслуживания при отказе механизма и агрегатов; $\lambda_{s,i}$ - частота отказов рабочей станции i; n - количество секций в АЛ,

$$\lambda_m = \left[\left(\sum_{i=1}^q \lambda_{s,i} \right) / n \right] + \lambda_{bf} = \left[\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i \right) / n \right] + \lambda_{bf} - \text{средняя частота отказов одной}$$

секции, $\sum_{i=1}^{n-1} \Delta \lambda_i$ - это частота отказов секций из-за ограниченной емкости накопителей; λ_{bf} - частота отказов накопителя; λ_c и λ_{tr} - частота отказов системы управления и транспортного механизма соответственно.

Практически невозможно иметь одинаковую частоту отказов для каждой секции. Всегда есть лимитирующая секция с высоким уровнем

отказов, который в основном определяет производительность АЛ. Средняя частота отказов λ_m одной секции, как показано выше, корректируется с помощью частота отказов λ_b лимитирующей секции. Следовательно, частота отказов λ_{bt} лимитирующей секции определяется как,

$$\lambda_{bt} = \left[\left(\sum_{i=1}^q \lambda_{s,i} \right) / n \right] f_s + f_{bf} = \left[\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i \right) / n \right] f_s + f_{bf}, \quad \text{где } f_s = \lambda_{bt} / \lambda_m -$$

поправочный коэффициент, который выражает разницу между частотой отказов лимитирующей секции и средней частотой отказов секций.

В реальной производственной среде накопитель с ограниченной емкостью увеличивает время простоя соседних секций. Время простоя каждой секции определяется как сумма времени собственного простоя секции и некомпенсированного времени простоя отказавшей секции из-за ограниченной емкости накопителей, расположенных между секциями. Затем, когда соседние секции выходят из строя, они увеличивают время простоя или частоту отказов других секций и в общем снижают производительность АЛ. Характер частоты отказов в АЛ и рабочих машин в секциях бывают разными и случайными. Количество рабочих станций, которые вышли из строя одновременно, является переменной и случайной величиной. Вероятность совпадения вышедших из строя рабочих машин экспоненциально уменьшается с увеличением количества рабочих машин.

Емкость накопителя определяется возможным временем простоя секции, основанной на вероятностном подходе к отказам рабочих машин. Совпавшие отказы рабочих машин приводят к увеличению времени простоя секции, которое должно быть компенсировано емкостью накопителя и не переноситься на соседние секции. Общее количество отказов в секции представляет собой сумму отказов рабочих машин и других устройств. Тем не менее, отказы рабочих машин могут совпадать и устраняться техническими специалистами одновременно. Это условие приводит к уменьшению общего количества отказов секции. Практически вероятность

совпадения отказов рабочих машин за короткое время обслуживания очень мала и не учитывается при расчете частоты отказов.

Анализ и вычисление производительности АЛ с секциями и с накопителями ограниченной емкости основаны на реальных данных и следующих подходах:

- Частота отказов рабочих машин АЛ различна.
- АЛ сегментируется на секции с различной частотой отказов.
- АЛ всегда имеет лимитирующие позиции с высокой частотой отказов, чем у других.
- Накопители имеют одинаковую конструкцию, одинаковые показатели надежности и одинаковую ограниченную емкость.
- Ограниченная емкость накопителя приводит к дополнительной частоте отказов в соседних секциях, которые представлены добавленной частотой отказов.

Текущая работоспособность АЛ с группой рабочих машин поддерживается командой техников, которые проводят техническое обслуживание механизмов, агрегатов и т. д., а также ремонт случайных неисправностей. Количество рабочих машин АЛ, обслуживаемых одним техническим специалистом, представлено нормативными данными, которые зависят от надежности рабочих машин и другого оборудования, которые отличаются для разных отраслей промышленности. Среднее время ремонта случайных отказов в области механообработки достаточен для своевременного устранения неисправностей рабочих машин и других механизмов. Кроме этого, у техника есть 30% времени для осмотра, контроля и регулярной поддержки работоспособности рабочих машин.

Емкость накопителя определяется исходя из времени технического обслуживания АЛ, циклового времени и минимального времени простоя рабочих машин. Техники обслуживают рабочие места, отказы которых не совпадают. Это условие важно для вычисления некомпенсированных частот отказов. Общее количество отказов АЛ должно быть равномерно

распределено среди числа техников для их устранения. Однако, когда техник обслуживает одну неисправную рабочую машину, в это же время другие рабочие машины могут выйти из строя и вышли из строя, это приводит к увеличению времени простоя секций и АЛ в целом. Продолжительность простоя секции определяется емкостью накопителя, который накапливает или подает детали в секцию. Если время цикла АЛ равно T , то необходимая емкость накопителя, который компенсирует время простоя секции и не добавляет дополнительного времени простоя к другим секциям, выражается следующим уравнением:

$$N = \frac{\theta}{T} = \frac{q_s \times m_r}{T} \quad (2)$$

где N - емкость накопителя или общее количество деталей, которые находятся в накопителе, θ - время простоя секции, T - цикловое время, q_s - количество всех рабочих машин, обслуживаемых одним техническим специалистом, m_r - среднее время устранения неисправностей и обслуживания рабочей машины и других механизмов.

На практике накопитель может иметь ограниченную емкость по конструктивным причинам. Тогда частота отказов секций компенсируется частично. Это условие приводит к дополнительным простоям соседних секций, то есть некомпенсированные частоты отказов переносятся и добавляются к частоте отказов других секций. Эта дополнительная частота отказов определяется следующим уравнением:

$$\Delta\lambda_{i-1} = \lambda_i \left(1 - \frac{N_l}{N} \right) \quad (3)$$

где $\Delta\lambda_{i-1}$ - дополнительные частоты отказов для соседнего секций; λ_i - частота отказов секции АЛ; N_l - ограниченная емкость накопителя.

Емкость накопителя определяется с учетом вероятностных сбоев и работы рабочих машин и секций. Вероятность отказа всех рабочих машин одновременно будет рассчитываться как произведение вероятностей отказов всех рабочих машин. Время простоя для вероятностного рассмотрения

отказов принимается для обслуживания рабочих машин, которые находятся в обслуживании одним техником. В технике вероятность распределения плотностей отказов обычно представлена экспоненциальной функцией. Вероятность того, что рабочая машина i будет работать или будет иметь отказ в течение определенного времени работы, представлена следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} R_i(t) &= e^{-\lambda_i t} \\ P_i(t) &= 1 - R_i(t) = 1 - e^{-\lambda_i t} \end{aligned} \quad (4)$$

где $R_i(t)$ - вероятность того, что рабочая машина, секция или какой-либо механизм i будет работать в течение определенного времени (t) без отказов, $P_i(t)$ - вероятность того, что рабочая машина, секция или какой-либо механизм i выйдет из строя в течение определенного времени (t) работы, λ_i - частота отказов рабочей машины, секции или некоторого механизма i , t - время работы АЛ.

Вероятность совпадающих отказов в одно и то же время $P_q(t)$ q рабочих машин с разными частотами отказов представлена следующим уравнением:

$$P_q(t) = (1 - e^{-\lambda_1 t}) \times (1 - e^{-\lambda_2 t}) \times (1 - e^{-\lambda_3 t}) \times \dots \times (1 - e^{-\lambda_q t}) \quad (5)$$

Для вычисления емкости накопителя считаем, что вероятность одновременного отказа нескольких рабочих машин секции, которая может привести к значимому простою секции, является очень малой величиной. Ограниченная емкость накопителя позволяет заполнять или забирать детали по секциям, до исправления отказавшей секции, но не все детали. Накопитель ограниченной емкости частично компенсирует время простоя неисправной секции. Такая ситуация приводит к вынужденным простоям работоспособных соседних секций, которые имеют “правильную” зависимость от значения частоты отказов секций. Значение добавленных отказов $\Delta\lambda_i$ представляет увеличение времени простоя секции и показывает, какая часть некомпенсированных частот отказов секций добавляется к соседним секциям АЛ.

Увеличение времени простоя секции определяется аналитически по следующей схеме. Все секции АЛ имеют дополнительную частоту отказов из-за переполнения или отсутствия деталей в накопителях ограниченной емкости. Анализ общего времени простоя секции рассматривается для общего случая, при котором лимитирующая секция i находится где-то посередине линии. Частота отказов секций, расположенных спереди и сзади от лимитирующей секции i , увеличивается путем добавления некомпенсированных отказов лимитирующей секции i . Следовательно, общая частота отказов секций рассчитывается по двум способам.

При первом способе добавляется частота отказов секций, расположенных впереди (f_i) лимитирующей секции, из-за переполнения накопителей деталями (рис. 1, детали поступают в АЛ). Для простоты анализа частота отказов лимитирующей секции i выражается как λ_i . Добавленные частоты отказов из-за ограниченной емкости одного накопителя для секций, которые расположены перед лимитирующей секцией, представлены следующим образом:

- $\Delta\lambda_{f(i-1)}$ - это добавленные частоты отказов к первой секции из лимитирующей секции i ;

- $\Delta\lambda_{f(i-2)} + \Delta\lambda_{f(i-1)}$ - это добавленные частоты отказов во второй секции из двух предыдущих секций, где $\Delta\lambda_{f(i-2)}$ - это добавленные частоты отказов от первой секции ко второй секции.

Следовательно, добавленные частоты отказов к последней секции k автоматической линии из секций, расположенных перед лимитирующей позицией из-за ограниченной емкости накопителей, будут иметь следующее выражение:

$$\Delta\lambda_{fk} = \Delta\lambda_{f(i-k)} + \dots + \Delta\lambda_{f(i-2)} + \Delta\lambda_{f(i-1)} \quad (6)$$

Второй подход учитывает добавленную частоту отказов секций, расположенных позади ($b.i$) лимитирующей секции из-за нехватки деталей в накопителях. Добавленные частоты отказов в тех секциях, что расположены за лимитирующим, определяется аналогичным способом, как показано выше.

Следовательно, добавленные частоты отказов к последней секции n из секций, расположенных за лимитирующим из-за ограниченной емкости накопителей, будут иметь следующее выражение:

$$\Delta\lambda_{bn} = \Delta\lambda_{b(i+1)} + \Delta\lambda_{b(i+2)} + \dots + \Delta\lambda_{b(i+n)} \quad (7)$$

Общее количество добавленных отказов для секций, расположенных спереди и сзади лимитирующей секции, получены путем объединения формул. (6) и (7) и преобразование. Следовательно, $\Delta\lambda = \Delta\lambda_{fk} + \Delta\lambda_{bn}$ или

$$\sum_{i=1}^{n-1} \Delta\lambda_i = \Delta\lambda_{f(i-k)} + \dots + \Delta\lambda_{f(i-2)} + \Delta\lambda_{f(i-1)} + \Delta\lambda_{b(i+1)} + \Delta\lambda_{b(i+2)} + \dots + \Delta\lambda_{b(i+n)} \quad (8)$$

где каждый компонент добавленной частоты отказов секций выражается формулой. (3).

Подстановка уравнения (8) в уравнение (1) дает следующее уравнение:

$$Q = \frac{1}{\frac{t_{mo}}{q} f_m + t_a} \times \frac{1}{1 + m_r \left[\frac{f_s \sum_{i=1}^q \lambda_{s,i}}{n} + \Delta\lambda_{f(i-k)} + \dots + \Delta\lambda_{f(i-2)} + \Delta\lambda_{f(i-1)} + \Delta\lambda_{b(i+1)} + \Delta\lambda_{b(i+2)} + \dots + \Delta\lambda_{b(i+n)} + \lambda_{bf} + \lambda_c + \lambda_{tr} \right]} \quad (9)$$

где i – лимитирующая секция, а другие параметры такие же, как указано выше.

Уравнение (9) может быть решено вручную или с помощью программного обеспечения для точной оценки производительности Q для рассматриваемой структуры АЛ. Производительность для АЛ с накопителями после каждой рабочей машины ($n = q$) также представлен формулой (9).

Литература

1. Chryssolouris G. Manufacturing systems: Theory and practice. 2nd edn, Springer, New York, 2006.
2. Groover M. P. Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems, 4th ed., (Lehigh University), Wiley. 2010.

3. Grewal S. Manufacturing Process Design and Costing: An Integrated Approach, SpringerVerlag, London, 2011.
4. Волчкевич Л.И. Автоматизация производственных процессов: Учеб, пособие. -2-е изд., стер. - М.: Машиностроение, 2007. - 380 с.: ил.
5. Gershwin S. B. Design and Operation of Manufacturing Systems. The Control-Point Policy”, IIE Transactions, Vol. 32, No. 2, October, 2000, pp. 891-906.
6. Colledany M and Tolio T. Integrated quality production logistics and maintenance analysis of multi-stage asynchronous manufacturing systems with degrading machines. CIRP Annals 61(1), 2012, pp. 455–458.
7. Mourani I, Hennequin S. and Xie X. Failure models and throughput rate of transfer lines. International Journal of Production Research, Vol. 45, No 8, 2007, pp. 1835 – 1859.
8. Freiheity T., Shpitalny M., Huiz S. and Korenyz Y. Productivity of synchronized serial production lines with flexible reserve capacity. International Journal of Production Research, 15, Vol. 42, No. 10, 2004, pp. 2009 - 2027.
9. Tempelmeier H. Practical considerations in the optimization of flow production systems”. International Journal of Production Research, Taylor & Francis, Vol. 41, No. 1, 2003, pp. 149-170.
10. Han M.-S. and Park D.-J. Performance analysis and optimization of cyclic production lines. IIE Transactions, Vol. 34, No. 4, 2002, pp. 411 – 422.
11. Sabuncuoglu I., E. Erel E. and Gocgun Y. Analysis of serial production lines: characterization study and a new heuristic procedure for optimal buffer allocation. International Journal of Production Research, Vol. 44, No. 13, 2006, pp. 2499 – 2523.
12. Savsar M. Modeling of Multi-Stage Production Lines with Maintenance Operations, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 21, No.4, 2008, pp. 396-406
13. Savsar. M. Production Line Simulator Evaluates Performance of System Design Alternatives, Industrial Engineering, Vol.15, No.5, 1989, pp. 60-63.

14. Usubamatov R., Always A.M.A. and Zain. Z.M. Productivity and optimization of sectionbased automated lines of parallel-serial structure with embedded buffers, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2012, DOI 10.1007/s00170-012-4204-2.
15. Usubamatov R., Ismail K.A. and Sah J.M. Mathematical models for productivity and availability of automated lines. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2012, DOI: 10.1007/s00170-012-4305-y.
16. Usubamatov R, Alsalameh A. A, Ahmad R., Abdul A.R. , Analysis of buffered assembly line productivity, Assembly Automation, Vol. 34 Iss: 1, 2014, pp.34 – 40.
17. Saari S. Productivity. Theory and Measurement in Business. European Productivity Conference. Espoo, Finland, 2006, pp. 1/10-10/10.

5. ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯТОРА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ КАМНЕОБРАБАТЫВАЮЩЕГО СТАНКА.

На камнеобрабатывающих предприятиях республики в процессе изготовления сложно-профильных деталей из гранита, мрамора, ракушечника из-за их различных физико-механических свойств, а также неравномерности припусков обрабатываемого материала на алмазном инструменте в зоне резания возникают радиальные и осевые нагрузки значительно превышающие допустимые. Это приводит к возникновению вибраций, повышенному износу и поломкам инструмента, ухудшению качества обрабатываемой поверхности деталей и увеличению трудоемкости обработки на станке /1,2/.

На камнеобрабатывающих станках процесс настройки, регулирования и контроля процесса обработки деталей осуществляется станочником вручную, что существенно сдерживает рост производительности и повышение качества изделий. В связи с этим разработка гидравлических устройств автоматического регулирования режимами обработки изделий из природного камня и композитов является актуальной задачей.

На рис.1 приведена функциональная схема адаптивного устройства регулирования режимами обработки деталей на станке, которая состоит из источника питания, регулятора, податчика, шпинделя и инструмента.

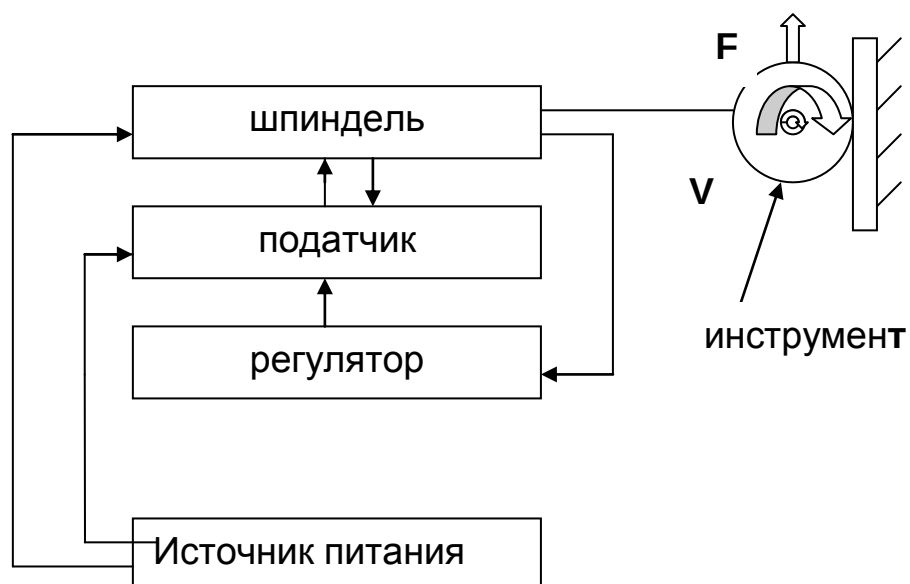


Рис. 1 Структурная схема адаптивного устройства регулирования режимами обработки детали на станке.

При возникновении на дисковом инструменте крутящего момента, равного максимальному значению, установленного в соответствии со значениями рациональных режимов резания для данной категории горной породы, происходит постепенное уменьшение скорости подачи до нуля. При этом крутящий момент на инструменте достигает какого-то определенного значения. Дальнейшее увеличение крутящего момента приводит к реверсу подачи инструмента с возрастающей скоростью. Реверс подачи дает возможность дисковому инструменту выйти из зоны контакта инструмента с породой (т.е. из зоны резания) и тем самым ведет к снижению величины крутящего момента на нем.

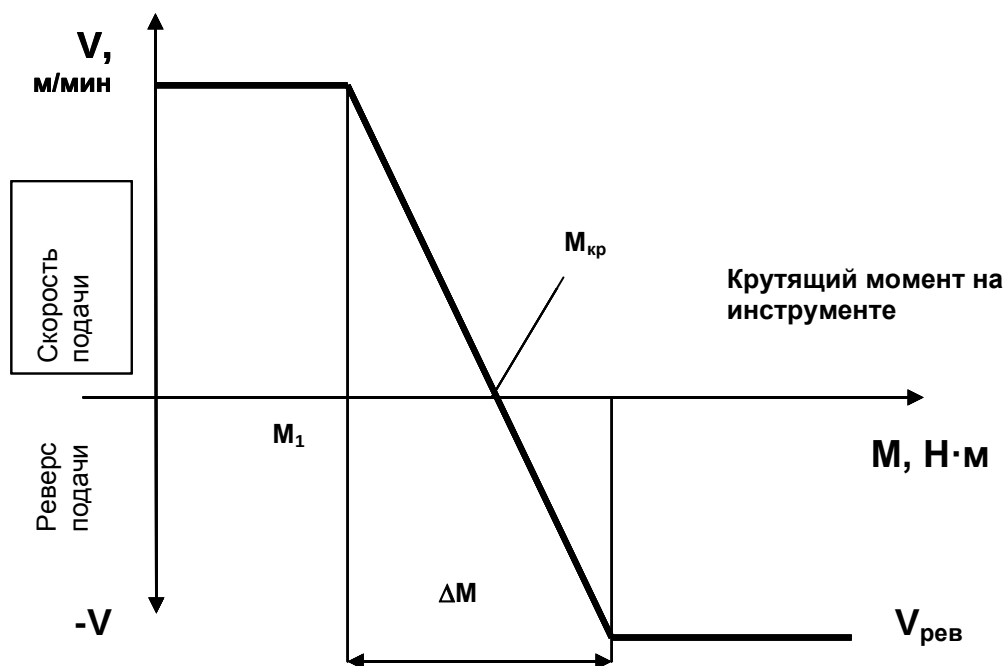


Рис. 2 Принятый закон изменения скорости подачи в зависимости от момента на инструменте.

От крутизны, изображенной на рис.2 характеристики будет зависеть величина разности крутящих моментов ΔM , начала срабатывания системы и максимальной его величины, т.е. будет зависеть точность стабилизации крутящего момента на инструменте. Крутизна характеристики будет определяться свойствами адаптивной системы - инерционностью, быстродействием и устойчивостью. В связи с тем, что наша задача заключалась в разработке адаптивной системы регулирования режимами работы станка было принято использовать в перспективных конструкциях камнеобрабатывающего оборудования гидравлические элементы автоматики. Такой вариант решения поставленной задачи объясняется большими достоинствами гидропривода, который превосходит по удельной мощности на единицу веса пневматические и электрические приводы, обладая при этом большим диапазоном регулирования, достаточным быстродействием, простотой обслуживания и безопасной эксплуатации. Применение гидравлических элементов в автоматике позволяет получить простую по

конструкции, надежную и не требующую высокой квалификации обслуживающего персонала, адаптивную систему станка.

При определённой степени идеализации различных устройств удаётся получить достаточно простые передаточные функции, отражающие общие динамические свойства устройств независимо от особенностей протекающих в них физических процессов.

В системе стабилизации зазора использован регулятор золотникового типа, имеющий пропускную щель с острыми краями, поскольку в нём зависимость расхода масла от величины открытия пропускной щели практический линейна, что удобно для использования в системах автоматики. Для регулятора такого типа справедливо:

$$Q = \mu \pi d_1 m_z \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}},$$

где $\mu = 0,62 \dots 0,65$ – коэффициент расхода регулятора;

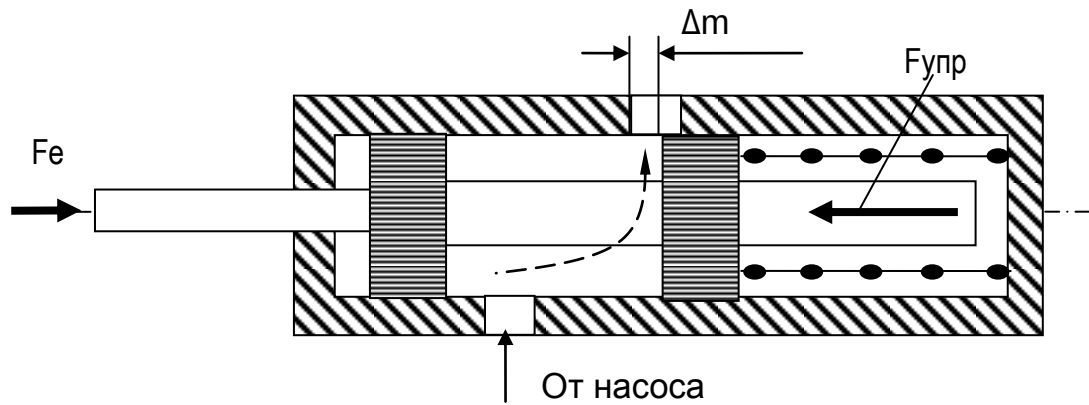
d_1 – диаметр плунжера золотника;

$\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ – плотность масла;

$\Delta p = p_o - p_1$ – перепад давления на регуляторе.

Проектирование регулятора расхода в общем случае ведётся с учётом рекомендации [3,4]. Очевидно, экономически оправдано применение стандартных регуляторов расхода жидкости (золотниковые регуляторы (Г – 54, Г – 57 и др.), если с их помощью обеспечивается изменение Q в широком диапазоне с достаточной точностью.

Давление при котором происходит реверс регулятора $P = 80 \text{ атм}$



Уравнение динамического равновесия золотника регулятора расхода, имеет вид:

$$M \frac{dh_p^2}{dt^2} + F_v + F_{уп} + F_{гид} = F_e,$$

где M – масса якоря и золотника;

F_v – сила вязкого трения между золотником и корпусом регулятора.

$$F_v = 6\pi \eta R V,$$

где R – радиус золотника;

V – скорость движения золотника, в данном случае,

$$V = 0,1 \dots 0,5 \text{ м/с}$$

$\eta = 0,01 \text{ Па}\cdot\text{с}$ – динамическая вязкость масла;

$F_{уп}$ – сила упругости пружины регулятора,

$$F_{уп} = c \cdot h_p$$

$F_{гид}$ – гидравлическая сила потока масла, проходящего через регулятор,

$$F_{гид} = 2\mu \cdot x \cdot h_p \cdot \Delta p \cdot \cos 69^\circ,$$

где $\mu = 0,65$ – коэффициент расхода;

x – периметр пропускной щели, в данном случае:

$$x = \pi \cdot d_1,$$

d – диаметр пропускной щели.

Подставляя выше указанные формулы в уравнение равновесия, получим:

$$M \frac{dh_p^2}{dt^2} + 6\pi\eta \cdot R \cdot V + ch_p + 2\mu \cdot x h_p \cdot \Delta p \cos 69^\circ = F_e,$$

или поделив на $c + 2\mu \cdot x \cdot \Delta p \cos 69^0$, получим:

$$(T_z^2 p^2 + 2\xi T_z p + 1) \cdot h_p = k_z F_e,$$

где T_0 – постоянная времени золотника,

$$T_z = \sqrt{\frac{M}{c + 2\mu x \Delta p \cos 69^0}},$$

ξ – коэффициент демпфирования,

$$\xi = \frac{3\mu \eta R}{T_0 (c + 2\mu x \Delta p \cos 69^0)},$$

k_z – коэффициент усиления,

$$k_z = \frac{1}{c + 2\mu x \Delta p \cos 69^0},$$

Золотник является одним из сложных динамических звеньев. Ввиду того что в процессе её работы на неё влияют различные силовые факторы, то матмодель данного звена имеет сложный вид, в данной работе она носит характер колебательного звена /5/.

Так как вид переходного процесса сильно зависит от параметра ξ (динамическая вязкость), то для сравнения можно рассмотреть эти случаи, их три:

Данные регулятора расхода масла

масса оси регулятора

$$M := 0.568 \text{ kg}$$

сила, действующая на ось

$$F_e := 85.84 \text{ N}$$

постоянная времени регулятора

$$T_z := 0.005 \text{ s}$$

коэффициент усиления

$$K_z := 0.000003056 \text{ s}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Уравнение или матмодель

$$(T_z^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \xi \cdot T_z \cdot p + 1) \cdot m = K_z \cdot F_e$$

Передаточное отношение

$$W(p) = \frac{K_z}{T_z^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \xi \cdot T_z \cdot p + 1}$$

Динамическая вязкость $\xi := 0.3$

Обозначим $q := \frac{1}{T_z}$ $q = 200s^{-1}$

Декремент затухания $\gamma := \xi \cdot q$ $\gamma = 60s^{-1}$

Собственная частота колебания

$$\lambda := q \cdot \sqrt{1 - \xi^2} \quad \lambda = 190.788s^{-1}$$

Уравнение движения оси регулятора

$$m_1(t) := K_z \cdot F_e \cdot \left[1 - e^{-\gamma t} \cdot \left(\cos(\lambda \cdot t) + \frac{\gamma}{\lambda} \cdot \sin(\lambda \cdot t) \right) \right]$$

Установившееся значение

$$m_1(1s) = 2.623 \times 10^{-4} m$$

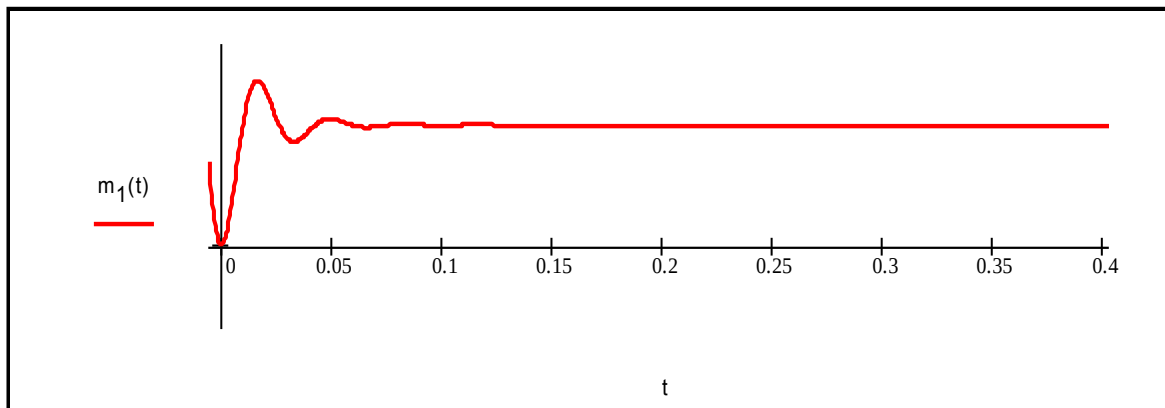


Рис.3 График движения золотника регулятора

Из графика, приведенного на рис.3 видно, что стабилизация работы адаптивной системы наступает через 0,1 сек., что способствует повышению точности и качества обрабатываемой поверхности и стойкости инструмента.

В работе [6] нами была обоснована модель системы автоматического регулирования режимами подачи дискового алмазного инструмента в зависимости от нагрузки на его привод вращения. Модель включила в себя

общую расчетную схему системы и закон изменения (регулирования) режима подачи станка. Для реализации этого закона необходимо иметь систему с определенными параметрами. Обоснование этих параметров системы регулирования является одной из основных задач наших исследований. Отличительной особенностью этой системы от ранее рассмотренных систем камнераспиловочных станков является возможность регулирования осевой и радиальной сил резания камня в зависимости от крутящего момента на дисковом алмазном инструменте [2]. Это достигается за счет введения в гидросистему токарного камнеобрабатывающего станка золотникового регулятора (рис.4), который осуществляет дросселирование потока рабочей жидкости, поступающей к гидродвигателю подающего механизма в зависимости от давления в напорной магистрали гидродвигателя вращения инструмента (т.е. от нагрузки на инструменте).

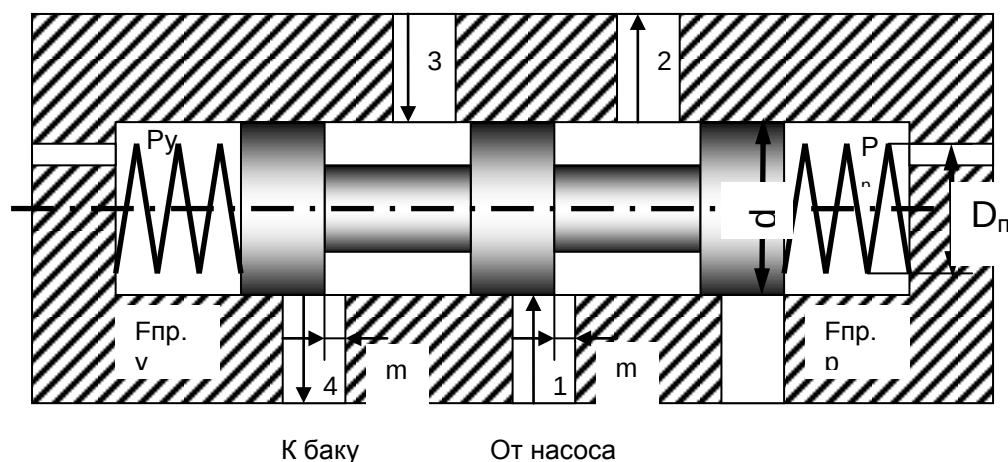


Рис. 4 Расчетная схема золотника регулятора: 1- напорный канал; 2 – канал идущий к двигателю подачи; 3- канал идущий от двигателя подачи; 4- сливной канал; P_y - канал управления от гидроцилиндра; P_n - канал управления от гидромотора дискового инструмента.

Для формирования методики выбора параметров регулятора следует рассмотреть основные зависимости, характеризующие процесс обработки камня, воспользовавшись расчетными формулами [3,4,5].

Основным показателем эффективности процесса обработки камня можно считать скорость резания:

$$V_p = \varphi(F_n; f; n_b; D; n_k; A),$$

где F_n – усилие подачи; f – крепость камня; n_b – частота вращения инструмента; D – диаметр инструмента; n_k – число алмазных сегментов; A – абразивность камня.

Как видно, скорость резания зависит от большого числа факторов, многие из которых постоянно меняются в процессе обработки ($F_n; D; n_k \dots$), причем для f имеет практически случайный характер, т.к. он зависит от структуры абразивности, наличия микротрещин и т.п.. В связи с этим нам придется сделать допущения, что крепость камня меняется в известном диапазоне ($f = 8 \div 18$) от ракушечника до гранита.

Скорость резания должна обеспечиваться мощностью привода подачи станка. Основной характеристикой этого привода является, как известно, механическая характеристика гидромотора подающего механизма.

Другой характеристикой процесса резания является момент сопротивления вращению дискового алмазного инструмента. Он также зависит от большого числа факторов, в том числе от усилия подачи F_n и давления охлаждающей жидкости, от которого зависит интенсивность износа алмазоносных сегментов дискового инструмента.

Частота вращения инструмента n_b определяется механической характеристикой привода вращения

$$n_b = \varphi(M_c)$$

Усилие подачи F_n зависит от скорости резания, перепада давления рабочей жидкости на гидромоторе привода подачи

$$F_n = \varphi(V_p; \Delta P_n),$$

где ΔP_n – перепад давления рабочей жидкости в гидромоторе подачи, зависящий от давления в системе до двигателя и давления слива. Т.е.

$$\Delta P_n = \varphi(P_n; l_{1n}; l_{2n}; d_{1n}; d_{2n}; \Delta P_{ок}),$$

где P_n – давление рабочей жидкости, которое может обеспечить настройка предохранительного устройства системы подачи инструмента; l и d – длина и диаметр шлангов напора и слива системы подачи; $\Delta P_{ок}$ – перепад

давлений на окнах регулятора режима работы привода подачи. В свою очередь:

$$\Delta P_{ок} = \varphi(P_{н}; S_{ок}; \Delta; \delta),$$

где $S_{ок}$ – площадь рабочих окон регулятора; Δ – величина перекрытия окон регулятора; δ – радиальный зазор в золотниковой паре регулятора.

Площадь рабочих окон регулятора также зависит от многих параметров как самого регулятора, так и системы:

$$S_{ок} = \varphi(X; d_3; \psi; F'_{np}; u^*),$$

где X – величина перемещения плунжера регулятора; d_3 – диаметр золотника регулятора; ψ – центральный угол окон втулки золотника; F'_{np} – усилие предварительного поджатия пружин регулятора; u^* – допустимая скорость движения рабочей жидкости в окнах золотника регулятора.

Площадь рабочих окон регулятора во время работы системы регулирования зависит от величины перемещения плунжера золотника под действием давления управления P_y и упругой системы регулятора:

$$X = \varphi(P_y; C_{np}),$$

где P_y – давление управления или давление в приводе вращения инструмента $P_в$; C_{np} – жесткость пружин регулятора.

На основе описанной выше методики обоснования параметров системы регулирования с учетом того, что нами решалась частная задача обоснования параметров регулятора режима работы привода подачи станка, был составлен алгоритм (рис.5). Это позволило, на основании известных параметров элементов камнеобрабатывающего станка для которого создавалась система регулирования, получить параметры регулятора этой системы.

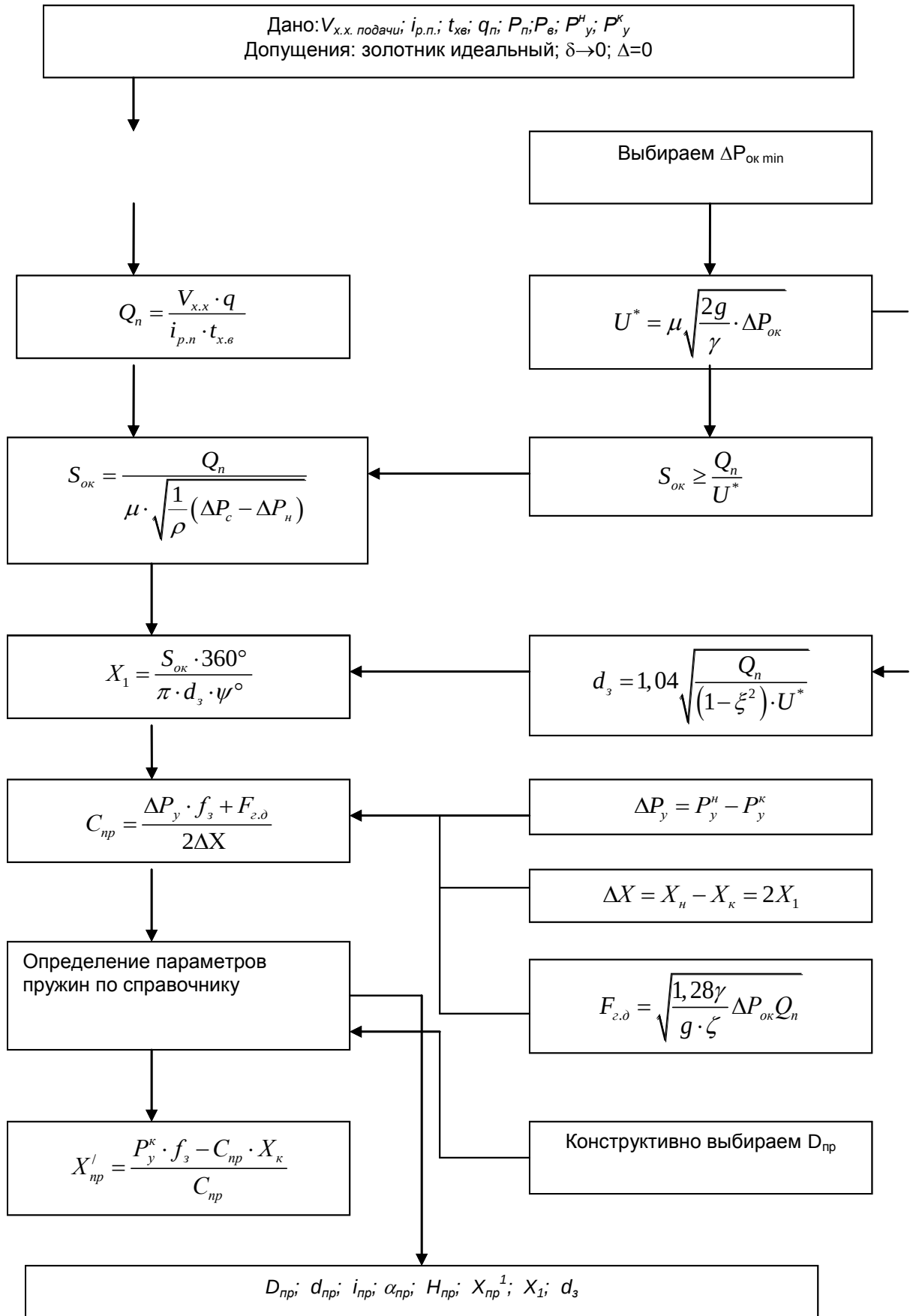


Рис. 5 Алгоритм обоснования параметров регулятора режима работы привода подачи дискового алмазного инструмента.

В итоге можно сделать вывод, что предлагаемая нами методика обоснования параметров регулятора режима работы привода подачи позволяет решить поставленную перед нами задачу.

На основании проведенных расчетов выбрана конструкция золотникового регулятора для гидравлической системы токарного камнеобрабатывающего станка (рис.6.).

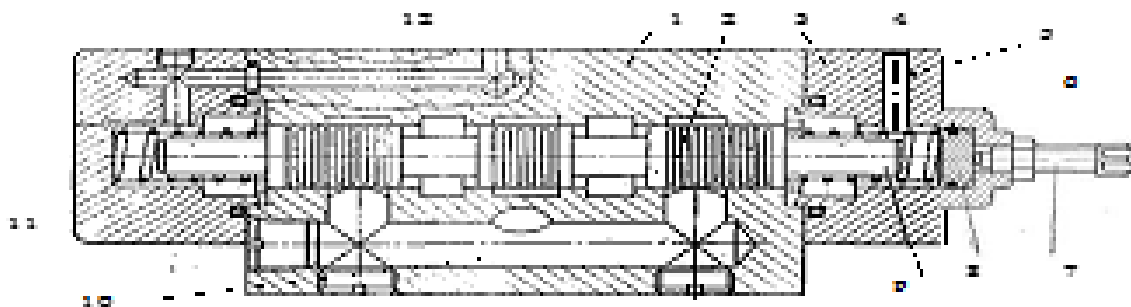


Рис. 6 Конструктивная схема регулятора: 1-корпус; 2-плунжер ; 3-крышка; 4-упор; 5,10,12- каналы; 6,11 -пружины; 7-винт регулировки поджатия пружин 8- поршень ; 9-шток.

Регулятор состоит из корпуса 1, плунжера 2, двух крышек 3, которые крепятся к торцам корпуса, винта 7 с поршнем 8 для регулирования настройки пружин 6, 10. В корпусе 1 имеются коммутационные каналы для подвода рабочей жидкости к гидродвигателю подающего механизма. Конструкция регулятора достаточно компактна и технологична в плане изготовления в промышленных условиях и может быть рекомендована для установки на гидрокопировальных станках.

Литература

1. Александров В.А. Обработка природного камня алмазным дисковым инструментом. Киев: Наукова думка, 1979, 239с.

2. Картавый Н.Г., Сычев Ю.И. и др. Оборудование для производства облицовочных материалов из природного камня. М.: Машиностроение, 1988, 319с.

3.Богданович Л.Б. Гидравлические приводы в машиностроении. М.: Машгиз., 1984.-495с.

4.Башта Т.М. Гидравлические следящие приводы.- М.: Машгиз. 1986.-351с.

5. Бессекерский В А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования.-М.: Машгиз. 1975.-768с.

6. Выбор основных параметров адаптивной системы камнеобрабатывающего станка. Трегубов А.В., Карпушевич З.Г., Юнусов Ф. Известия К Г Т У им. И. Раззакова №14, Бишкек, 2008, стр 61-65

6. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ С ПЛАЗМОТРОНОМ ШАРОВЫМ ЭЛЕКТРОДОМ

Введение

Разработка технологии плазменной резки заключается в установлении технологических параметров резания: ток и напряжение дуги; диаметр сопла; скорость резки в зависимости от толщины металла; расход плазмообразующего газа; установление длины дуги; скорость вращения электрода и т.д.

Определение связи между технологическими параметрами путем моделирования процесса плазменной резки

Одним из параметров, определяющих производительность плазменной резки, является её скорость.

В работе [1] предложено уравнение для расчётной оценки скорости плазменной резки, основанное на учете составляющих энергетического баланса и на допущении, что жидкий металл, находящийся при температуре плавления, сдувается потоком плазмы с кромок разрезаемого металла.

В предложенном уравнении определена зависимость скорости плазменной резки от мощности дуги, толщины и плотности разрезаемого металла с учётом потерь теплоты в металле.

В самом деле, режущая дуга представляет собой высокотемпературный плазменный поток, истекающий из сопла плазмотрона с высокой скоростью, следовательно, кроме определенного теплового воздействия, она оказывает и механическое воздействие на разрезаемый металл, от величины которого зависит способность дуги удалять с кромки реза жидкий металл.

Поскольку скорость резки зависит от технологических параметров, определяющих скорость истечения плазмообразующего газа из сопла плазмотрона, расхода газа и диаметра сопла плазмотрона с учетом мощности, затрачиваемой на удаление жидкого расплава с кромки реза, установим такую зависимость.

Схема распределения энергии при плазменной резке с использованием

вращающегося шарового электрода показана на рис.1

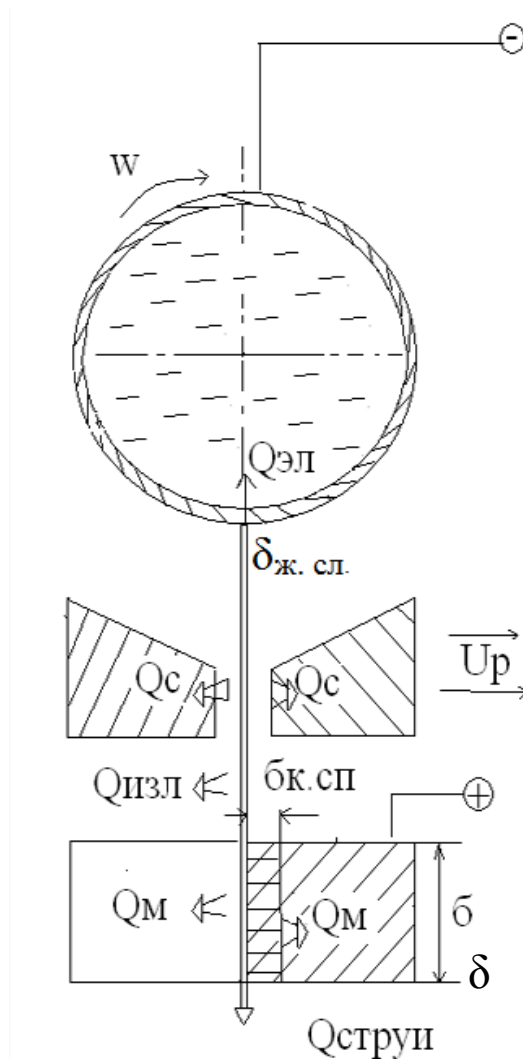


Рисунок 1 – Распределение энергии дуги в процессе плазменной резки

Уравнение энергетического баланса для процесса плазменной резки записывается следующим образом (рис 1.):

$$Q_d = Q_{пл} + Q_k + Q_m + Q_{и} + Q_{э} + Q_c + Q_y,$$

где Q_d – мощность плазменной дуги; $Q_{пл}$ – количество теплоты, необходимое для нагрева металла до температуры плавления ($T_{пл}$) в единицу времени; Q_k – теплота кипения, т.е. часть мощности дуги, уходящая на нагрев металла выше $T_{пл}$; Q_m – тепловые потери в металл при образовании зоны реза; $Q_{э} = U_k I_d$ – часть мощности дуги, затрачиваемая на нагрев электрода (U_k – катодное падение напряжения); $Q_{и}$ – количество теплоты, отводимой в окружающую среду за счет излучения и конвенции; Q_c – часть мощности дуги, уходящая на нагрев сопла плазматрона; Q_y – мощность, затрачиваемая

для удаления жидкого металла с кромок реза.

Мощность плазменной дуги определим, как сумму тепловой и механической энергии

$$Q_d = Q_T + Q_{\text{мех}},$$

где $Q_T = U_d I_d$; $Q_{\text{мех}} = \int_0^R \frac{\rho_r v_r^2}{2} 2\pi r v_r dr$ – кинетическая энергия струи, ежесекундно переносимая потоком через поперечное сечение радиуса сопла плазмотрона (ρ_r и v_r – плотность и скорость потока соответственно); интегрируя данное уравнение и выражая v_r через расход плазмообразующего газа $G = \pi d_c^2 v_r / 4$ (d_c – диаметр сопла плазмотрона), получим:

$$Q_{\text{мех}} = 8\rho_r G^3 / (\pi^2 d_c^4),$$

Таким образом получаем

$$Q_d = U_d I_d = 8\rho_r G^3 / (\pi^2 d_c^4),$$

Для определения количества теплоты, затрачиваемой на нагрев металла до $T_{\text{пл}}$ используется выражение

$$Q_{\text{пл}} = g(C_{\text{пл}} T_{\text{пл}} - C_0 T_0 + q)$$

где $g = b_{\text{ср}} \delta v_p \rho_m$, причем $b_{\text{ср}} = \frac{b_{\text{в}} + b_{\text{н}}}{2}$, $b_{\text{в}}$, $b_{\text{н}}$ – характеризуют ширину реза верхней и нижней части соответственно; δ – толщина разрезаемого металла; v_p – скорость резки; ρ_m , C_m – плотность и теплоемкость разрезаемого металла соответственно при $T_{\text{пл}}$; C_0 – теплоемкость металла при T_0 ; T_0 – исходная температура разрезаемого металла; q – скрытая теплота плавления.

Для определения потерь тепла в металл используется уравнение из [2]:

$$Q_m = \frac{2\varepsilon T_{\text{пл}} \delta \sqrt{x v_p b_{\text{в}}^2 / b_{\text{ср}}}}{\sqrt{\pi}},$$

где $\varepsilon = \sqrt{\rho_m C_m \lambda_m}$ – коэффициент тепловой активности металла (где C_m – теплоемкость, ρ_m – плотность, λ_m – коэффициент теплопроводности металла при $T_{\text{пл}}$); $x = 1 \div 1,4$ – величина, характеризующая радиус эффективно работающей части дуги.

Мощность, необходимую для удаления расплава из полости реза определяем следующим образом:

$$Q_y = F_{\text{тр}} \vartheta_r,$$

где $F_{\text{тр}} = \frac{\eta \vartheta_m S}{h_{\text{ж}}}$ характеризует силу, необходимую для преодоления сил вязкости жидкого металла и «смыывания» плазменным потоком расплава, при допущении плоскопараллельности течения расплава с кромки реза (η - коэффициент динамической вязкости расплава, ϑ_r - скорость течения плазменного потока, $h_{\text{ж}}$ - толщина расплавленного слоя металла, $S = \frac{\pi \vartheta_{\text{ср}} \delta}{2}$ - площадь лобовой поверхности реза)

Таким образом

$$Q_r = \frac{8\eta\delta G^2}{\pi h_{\text{ж}} d_c^4},$$

Подставляя отдельные составляющие энергетического баланса в исходное уравнение и пренебрегая слагаемыми Q_c , Q_i , Q_k ввиду их малости относительно остальных составляющих энергетического баланса получаем

$$\begin{aligned} I_d U_d + \frac{8\rho_m G^3}{\pi^2 d_c^4} = \\ = b\delta\rho_p(C_{\text{пл}}T_{\text{пл}} - C_0T_0 + q) + \frac{2\varepsilon T_{\text{пл}}\delta\sqrt{\frac{x\vartheta_p b_B^2}{b_{\text{ср}}}}}{\sqrt{\pi}} + \frac{8\eta G^2 b_{\text{ср}}\delta}{\pi h_{\text{ж}} d_c^4} + U_k I_d \end{aligned}$$

Решаем это уравнение относительно скорости резки ϑ_p . Для удобства записи введем обозначения

$$A = b\delta\rho_m(C_{\text{пл}}T_{\text{пл}} - C_0T_0 + q);$$

$$B = \frac{2\varepsilon T_{\text{пл}}\delta\sqrt{\frac{x b_B^2}{b_{\text{ср}}}}}{\sqrt{\pi}};$$

$$C = \frac{8\eta G^2 b_{\text{ср}}\delta}{\pi h_{\text{ж}} d_c^4} - \left(I_d U_d + \frac{8\rho_r G^3}{\pi^2 d_c^4}\right) + I_d U_k,$$

и запишем баланс в виде

$$A\vartheta_p + B\sqrt{\vartheta_p} + C = 0.$$

Решая последнее уравнение, получим

$$\vartheta_{1,2} = [(-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC})/2A]^2,$$

$$\text{При } \vartheta_p = [(-B + \sqrt{B^2 - 4AC})/2A]^2$$

Результаты вычислений лучше согласуются с экспериментальными данными (рис. 2)

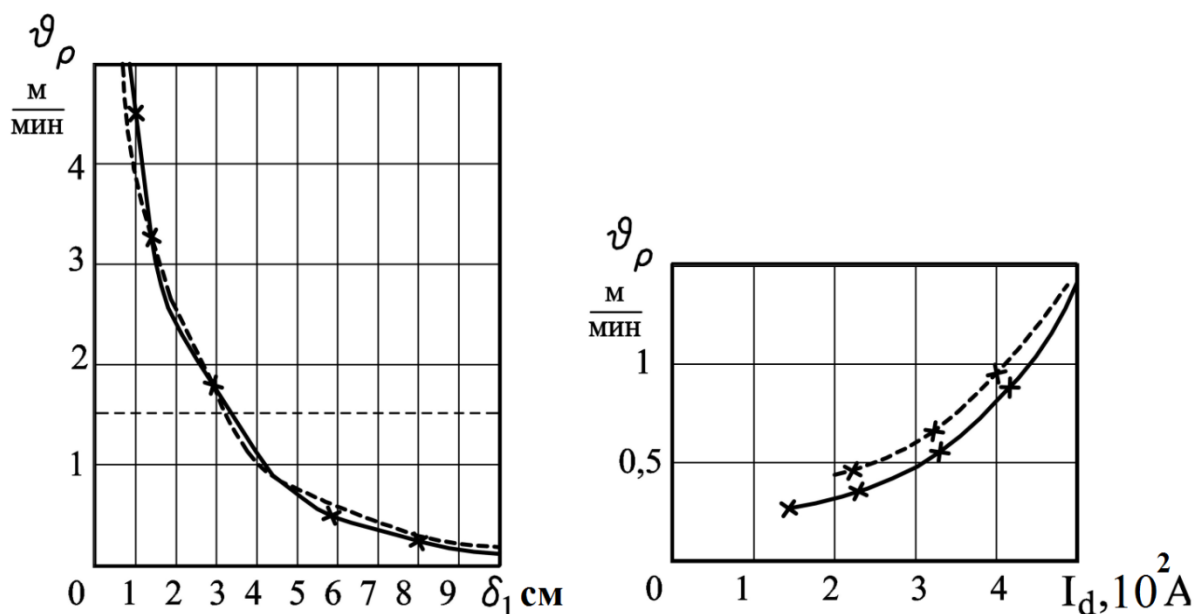


Рисунок 2 – Зависимость скорости резки: а) от толщины металла, б) от силы тока дуги эксперимент, расчет.

Вычисления проводили для стали марки Ст3. Были использованы следующие теплофизические характеристики: $T_{пл}=1793$ К; $T_0=298$ К; $C_{пл}=0,64$ кДж/кг·К; $C_0=0,44$ кДж/кг·К; $q=0,272$ Дж/кг; $\rho_m=7,2$ м²/м³; $\rho_r=0,239$ кг/м³ (воздух). Толщину расплавленного слоя металла определяли экспериментально: $h_{ж}=0,06\div 0,18$ мм в зависимости от толщины разрезаемого металла ($\delta=2\div 100$ мм) и мощности дуги.

Список использованной литературы:

1. **Жумалиев Ж. М.** К расчету технологических параметров процесса плазменной резки металлов [Текст] / С. К. Кыдыралиев, Ж. М. Жумалиев. // Известия ВУЗов М: Машиностроение. № 7-9.1991- с.103-106
2. **Васильев К. В.** Воздушно-плазменная резка [Текст] / К. В. Васильев. – М.: Машиностроение, 1976. – 31 с.

7. ТОПОГРАФИЯ И КОНТАКТ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Отклонение реальной поверхности от идеальной могут иметь макроскопический, микроскопический (шероховатость) и субмикроскопический уровень. Макрогеометрия – это отклонения от геометрической формы в виде конусности, некруглости, бочкообразности, седлообразности, неплоскости (выпуклость, вогнутость) и др. Особым видом погрешностей является волнистость, представляющая совокупность периодически повторяющихся возвышений и впадин с шагом меньшим, чем у макронеровностей, но большим, чем при микронеровностях.

Помимо этого, есть макропогрешность поверхности вращения, называемая огранкой, которая имеет нечетное число равномерно расположенных «граней» довольно большого, ввиду чего их нельзя обнаружить измерением диаметра, так как размер в любом диаметрально направлении примерно постоянный. Этот вид погрешности легко обнаруживается индикатором при проверке поверхности на биении.

Субмикрогеометрия является видом неровностей, отражающих структуру поверхностных слоев металла с учетом его зернистости, точечных и линейных дефектов кристаллической решетки. Субмикрорельеф измеряется на участке в несколько микрометров.

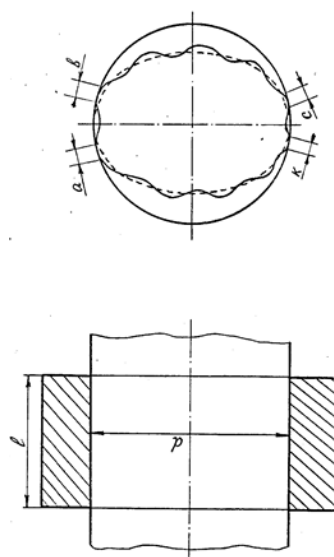


Рис.1. Номинальная (а) и контурная (б) площадь контакта цилиндрических поверхностей.

Износостойкость, контактная жесткость и многие другие эксплуатационные качества сопряженных поверхностей, например, вала подшипниками, в значительной степени определяется площадью их фактического контакта, которая значительно меньше их номинальной площади сопряжения. Различают номинальную, контурную и фактическую площадь контакта двух поверхностей [1].

Номинальной называется площадь контакта F_H , характеризующаяся размерами поверхностей согласно чертежа, т.е. без учета всех геометрических видов погрешностей, волнистости и шероховатости. Для вала с подшипником она равна (рис. I, а).

$$F_H = \Pi d \ell \quad (1)$$

Контурной называется площадь контакта поверхностей F_K с учетом наличия погрешностей геометрической формы и волнистости, но без учета шероховатости поверхностей (т.е. как будто бы их нет - рис. I, б)

$$F_K = (a + b + c + k) \ell \quad (2)$$

Контурная площадь контакта меньше номинальной $F_K < F_H$. Относительная величина контурной площади равна

Фактической называется площадь контакта F_ϕ с учетом всех погрешностей и шероховатостей поверхностей (рис. 2).

$$F_k = \frac{F_k}{F_n} \quad (3)$$

$$F_\phi < F_K < F_H$$

Величина фактической площади контакта, отнесенная к контурной, равна

$$\phi = \frac{F_\phi}{F_K} \quad (4)$$

Величина фактической площади контакта, уровня Р (рис. 3). отнесенная к номинальной, равна:

$$p = \frac{F_k}{F_n} = \eta_k \eta_\phi \quad (5)$$



Рис.2. Овальность, волнистость и шероховатость (микронеровностей первого и второго рода) цилиндрической поверхности.

Фактическая площадь контакта зависит также от давления между сопрягаемыми поверхностями и физико-механических свойств материалов поверхностного слоя. С увеличением указанного давления и пластичности материалов фактическая площадь контакта возрастает.

В соответствии с ГОСТ 2789-73 под шероховатостью поверхности подразумевается совокупность неровностей ее с относительно малыми шагами. Стандарт устанавливает следующую номенклатуру параметров шероховатости (см. рис.3).

1) Среднее арифметическое отклонение профиля

$$R_a = \frac{1}{\ell} \int_u^\ell |y(x)| dx \quad \text{или} \quad R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (6)$$

Регламентируется оно в пределах $R_a = 100-0,08$ мкм (табл.1).

Значения R_a в скобках являются предпочтительными, они представляют геометрическую прогрессию со знаменателем 0,5 и примерно соответствуют максимальным значениям R_a четырнадцати классов по ранее действовавшему ГОСТ 2789-59.

Таблица 1

Установленные стандартом значения R_a мкм				
(100)	10,0	1,00	(0,100)	0,010
80	8,0	(0,80)	0,080	0,008
63	(6,3)	0,63	0,063	-

(50)	5,0	0,50	(0,050)	-
40	4,0	(0,40)	0,040	-
32	(3,2)	0,32	0,032	-
(25)	2,5	0,25	(0,025)	-
20	2,0	(0,20)	0,020	-
16,0	(1,60)	0,160	0,016	-
(12,5)	1,25	0,125	(0,012)	-

Регламентируется оно от 100 до 0,08 мкм. Ряд 42-х значений его (чисел) представляет геометрическую прогрессию со знаменателем 0,8. Предпочтительным является 14 значений (начиная со 100 мкм), которые представляют геометрическую прогрессию со знаменателем 0,5. Поскольку современные средства контроля надежно определяют параметр R_a лишь от 3,2 до 0,032 мкм (щуповые – профилометры, профилографы), то лишь 7 предпочтительных значений среднеарифметического отклонения профиля, входящих в этот интервал, рекомендуется использовать, т.е. 3,2-1,6-0,8-0,4-0,2-0,1-0,05 мкм.

2) Средняя высота неровностей профиля по десяти точкам (т.е. по пяти выступам и пяти впадам)

$$R_z = \frac{1}{5} (\sum_1^5 |H_{i \max}| + \sum_1^5 |H_{i \min}|) \quad (7)$$

или

$$R_z = \frac{1}{5} (\sum_1^5 h_{i \max} - \sum_1^5 h_{i \min}) \quad (7, a)$$

3) Наибольшая высота неровностей профиля $R_{\max}$ - расстояние между линией выступов и линией впадин в пределах базовой длины. Регламентируется она от 1600 до 0,025 мкм (табл.2)

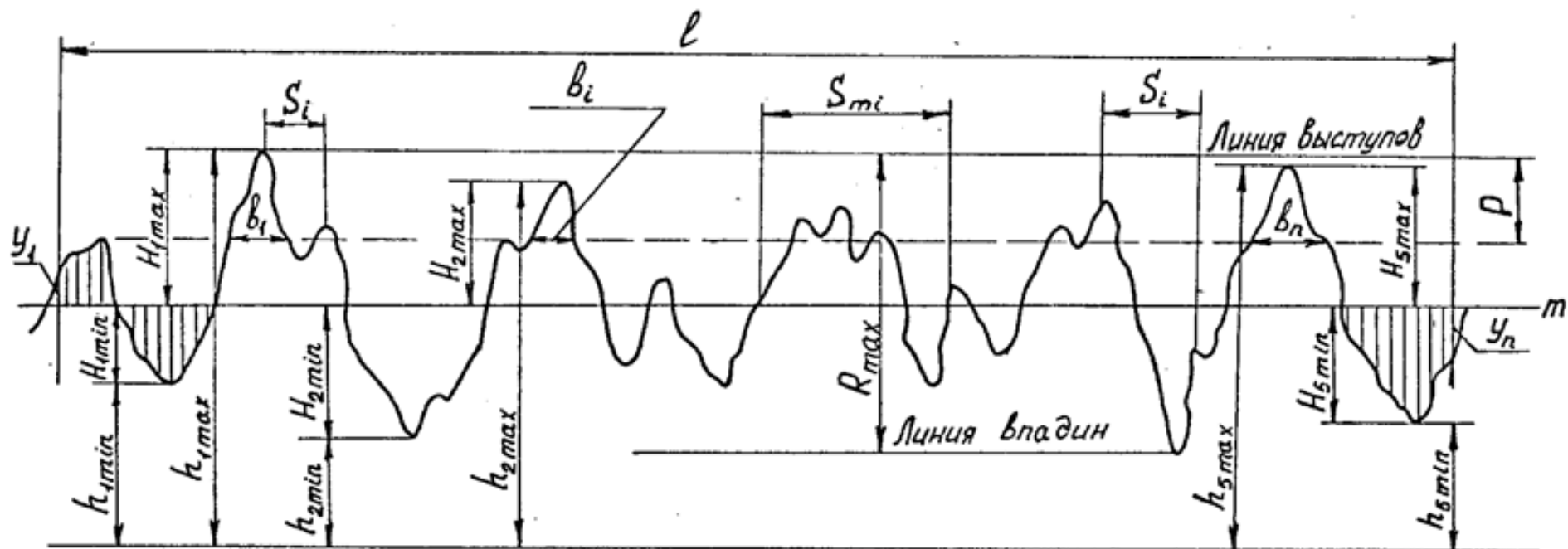


Рис.3. Профилограмма шероховатой поверхности.

Таблица 2

Установленные стандартом значения R_z и R_{max} , мкм					
-	1000	(100)	10,0	1,00	(0,100)
-	800	80	8,0	(0,80)	0,008
-	630	63	(6,3)	0,63	0,063
-	500	(50)	5,0	0,50	(0,050)
--	(400)	40	4,0	(0,40)	0,040
-	320	32	(3,2)	0,32	0,032
-	250	(25,0)	2,5	0,25	0,025
-	(200)	20,0	2,0	(0,20)	-
1600	160	16,0	(1,60)	0,160	-
1250	125	12,5	1,25	0,25	-

Ряд 49-значений их также представляют геометрическую прогрессию со знаменателем 0,08. Предпочтительные являются также 14 значений R_z и R_{max} . Они соответствуют 14-ти предпочтительным значениям R_a соотношением $R_z = R_{max} \approx 4R_a$ и представляют тоже геометрическую прогрессию со знаменателем 0,5. Из них рекомендуется использовать 7 значений (соответствующих тем рекомендуемым R_a , которые не поддаются контролю щуповым приборами) т.е. 400-200-100-50-25 мкм, контролируемые с помощью двойного микроскопа Линника или же сравнением образцами шероховатости, а также 0,1 и 0,05 мкм, контролируемые интерференционными методами.

Предпочтительные значения R_z и R_{max} заключены в скобки. Они также составляют геометрическую прогрессию со знаменателем 0,5 и также примерно соответствуют максимальным значениям четырнадцати классов по ГОСТ 2789-59.

4) Средний шаг неровностей (по средней линии профиля)

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_m i \quad (8)$$

5) Средний шаг неровностей по вершинам

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i \quad (9)$$

Регламентируется они от 12,5 до 0,002 мм (табл.3).

Таблица 3

Установленные стандартом значения S_m и S , мм				
-	10,0	1,0	0,100	0,010
-	8,0	0,80	0,080	0,008
-	6,3	0,63	0,063	0,006
-	5,0	0,50	0,050	0,005
-	4,0	0,40	0,040	0,004
-	3,2	0,32	0,032	0,003
-	2,5	0,25	0,025	0,002
-	2,0	0,20	0,020	-
-	1,60	0,160	0,0160	-
12,5	1,25	0,125	0,0125	-

6) Относительная опорная длина профиля, равная отношению опорной длины (на необходимом уровне P от линии выступов) базовой длине

$$t_p = \frac{1}{\ell} \sum_{i=1}^n b_i \quad (10)$$

Относительная опорная длина T_p уровень p регламентируются в процентах рядом чисел 10-15-20-25-30-40-50-60-70-80-90.

Средняя линия профиля m имеет форму номинальной поверхности и проводится так, что в пределах базовой длины ℓ среднее квадратическое отклонение профиля до этой линии минимально

$$y_{c.k.} = \sqrt{\frac{y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2}{n}} = \min \quad (11)$$

Это примерно соответствует такому положению средней линии, когда сумма площадей выступов над ней равна сумме площадей впадин под ней. При этом точки

профиля берутся так, что отклонения y_i профиля отсекают лишь на m равные отрезки.

Относительно достоверное представление о шероховатости поверхности можно получить, если регламентировать (задать и контролировать) один высотный параметр (R_a или R_z), один шаговый (обычно шаг со средней линии S_m) и относительную опорную длину Tr .

Таблица 4

Классы шероховатости поверхности	Параметры шероховатости мкм		Базовая длина, мм
	R_a	R_z	
1	80	320	8,0
2	40	160	
3	20	80	
4	10	40	2,5
5	5,0	20	
6	2,5	10	0,8
7	1,25	5	
8	0,63	2,5	
9	0,32	1,25	0,25
10	0,16	0,63	
11	0,08	0,32	
12	0,04	0,16	
13	0,02	0,10	0,08
14	0,01	0,05	

В табл. 4 даны высотные параметры шероховатости R_a и R_z соответствующие 14 классам шероховатости (для численного сравнения, из которого видно, что $R_z \approx 4R_a$). Рекомендуется регламентация параметром R_a от 6-го по 12-й класс и параметром R_z от 5-й и от 13-го по 14-й класс (обведены прямоугольной рамкой). Это связано с наличием средств контроля по этим параметрам в указанных диапазонах.

Из сравнения численных значений параметров шероховатости в табл. 4 с таковыми по табл.1 и 2 видно, что в табл.4 лишь два последних значения R_z является предпочтительным (они также заключены в скобки). Поэтому при назначении шероховатости следует пользоваться табл.1 и 2, где параметры R_a и R_z , на которые разработаны и изготавливаются средства контроля, заключены в рамки.

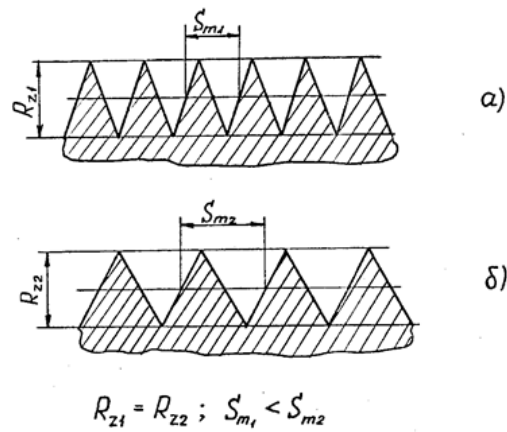


Рис.4. Отличие шероховатости по шагу микронеровностей.

На рис.4 даны два профиля шероховатых поверхностей с одинаковой высотой, но различным шагом неровностей. Эксплуатационные характеристики их различны, ввиду чего помимо высотных параметров следует также регламентировать шаговый, т.е. расстояние между соседними неровностями.

Относительная опорная длина профиля является одним из наиболее важных параметров шероховатости поверхности. На рис.5 показаны два вида шероховатостей с одинаковой высотой и шагом неровностей, но с различными профилями. Опорная длина их на одном и том же уровне P существенно отличается. Первый профиль имеет гораздо большую несущую способность, контактную жесткость и износостойкость, чем второй. Поэтому относительную опорную длину в ответственных случаях необходимо обязательно регламентировать.

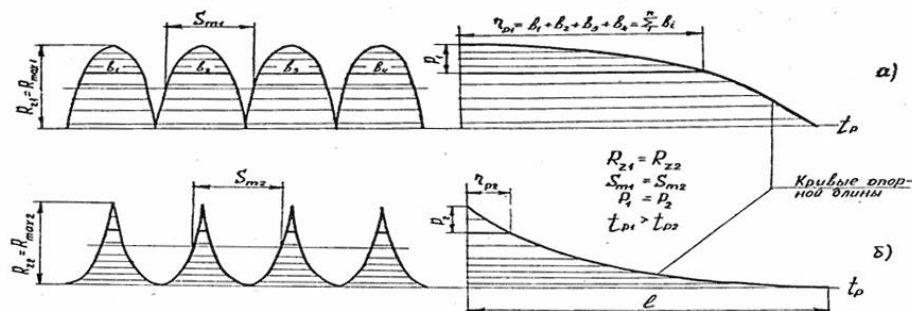


Рис.5. Отличие профилей микронеровностей и кривых опорной длины при одинаковой высоте и шаге их

Для возможности сравнения опорных длин шероховатостей поверхностей, имеющих различные не только профили, но и высотные и другие параметры, принято уровень P , на котором измеряется относительная опорная длина, выражать также в относительных единицах, т.е. в долях $R_{\max}$. При таком ее выражении отличие горизонтального и вертикального масштабов снятия профилограммы не сказывается на результате вычисления относительной опорной длины. Уровень P и относительная опорная длина выражаются в процентах.

$$t_p = \frac{100}{\ell} \sum_1^n b_i, \% \quad (12)$$

В обозначении на чертеже; $t_{p40}=60$ число 40 означает, что опорная длина измеряется на уровне 40% от $R_{\max}$, а величина ее должна равняться 60%.

В большинстве случаев, как уже было отмечено, фактическая площадь контакта составляет небольшую долю от номинальной. Поэтому наибольший интерес представляет начальная часть кривой относительной опорной длины. Этот участок ее (рис.6) можно выражать уравнением параболы, предложенным И.В. Крагельским и Н.Б.Демкиным.

$$t_p = \epsilon(1-E)^V. \quad (13)$$

где, ϵ - относительное сближение (то же, что и относительный уровень P);

ϵ , V - параметры аппроксимации начальной части кривой опорной длины.

Если по вертикальной оси откладывать просто ϵ (а не $1-\epsilon$), то график выглядит в более удобном виде (рис. 7) и выражается уравнением [14, 49]

$$t_p = \epsilon E^V \quad (14)$$

На рис.8 показаны начальные участки кривых опорной длины поверхностей с различной шероховатостью. При этом зависимая переменная отложена по оси ординат, как обычно изображаются графики. Увеличение ℓ и уменьшение V соответствуют увеличению относительной опорной длины. Как показали исследования Рыжова Э.В.[2], при уменьшении шероховатости поверхности, т.е. повышении ее чистоты, параметр V уменьшается, а параметр ϵ -увеличивается.

Однако величины этих параметров различны для поверхностей одного класса шероховатости (с одинаковой высотой неровностей), обработанных различными методами (табл.5), ввиду чего регламентация шероховатости одним лишь высотным параметром не достаточна. В таблице даны величины V и ϵ для поверхностей, обработанных различными методами, но имеющих одинаковую высоту неровностей $Ra=1,25$ мкм, т.е. по седьмому классу [2].

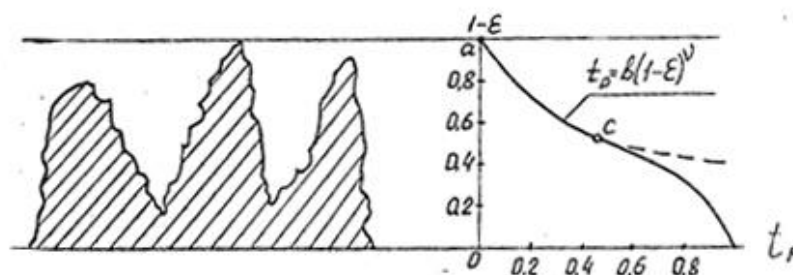


Рис.6.Кривая опорной длины шероховатой поверхности

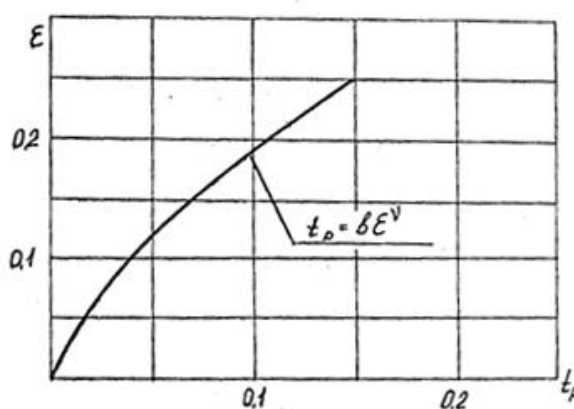


Рис.7. Начальный участок кривой опорной длины и ее уравнение

Таблица 5

Способ обработки	v		ϵ
Строгание	0,8		0,85
Точение	0,9		0,75
Шлифование	1,2		0,70

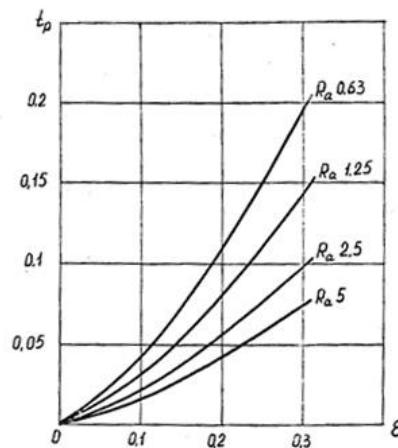


Рис.8. Начальные участки кривых опорной длины поверхностей с различной шероховатостью

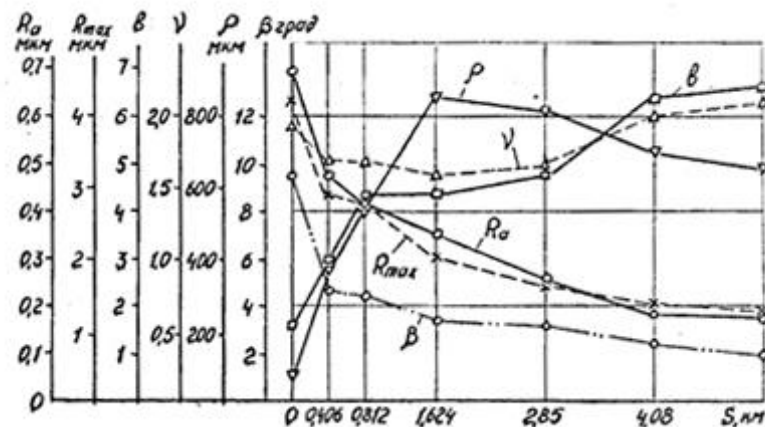


Рис.9. Графики изменения различных параметров шероховатых поверхностей в процессе их приработки

На рис.9 показаны изменения выше рассмотренных параметров шероховатости с увеличением пути трения в процессе приработки роликов из стали 12ХНЗА. При этом высотные характеристики R_{max} и R_a , а также угол наклона боковой поверхности неровностей β уменьшаются, радиус округления вершины ρ переходит через максимум, а параметры γ и β - через минимум [3]. Экстремальное изменение ρ , γ и β , а также идентичное изменение двух последних из них (они, как было сказано выше, при уменьшении неровностей должны изменяться противоположно) говорит о сложности и неоднозначности изменения параметров шероховатости в процессе приработки поверхностей. Это еще раз подтверждает, что по какому либо одному параметру, например высотному, нельзя судить о

шероховатости поверхности. Крагельским И.В. введен комплексный безразмерный параметр шероховатости поверхности, составляющие которого, взаимно дополняют друг друга.

$$\Delta = \frac{R_{max}}{P_B 1:V} \quad (15)$$

На рис.10 показано изменение этого комплексного параметра шероховатости прирабатываемых поверхностей образцов закаленной стали I2XН3А с увеличением пути трения [3]. Как видно, с увеличением пути трения этот параметр все время уменьшается. Он характеризует приближение шероховатости трущихся поверхностей к оптимальной по комплексу ее параметров. Это говорит о том, что отклонение какой-либо одной характеристики шероховатости от общей закономерности их изменения (например ρ , σ или V на (рис.9)) компенсируется соответствующим изменением другой характеристики.

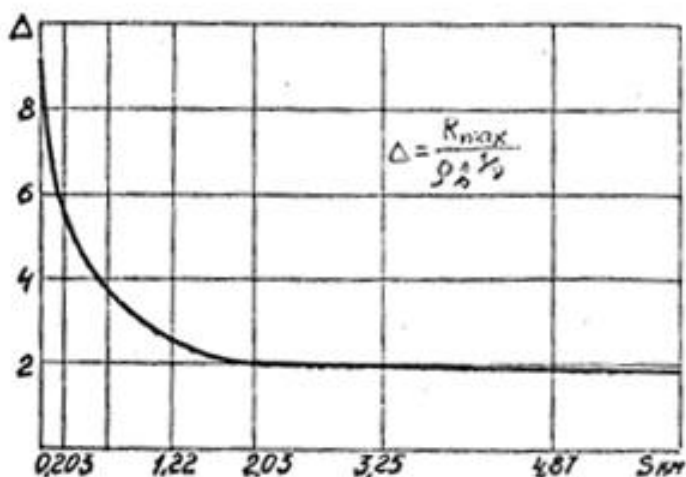


Рис.10. Изменение комплексного параметра шероховатости в процессе приработки поверхностей с увеличением пути измерения S

ГОСТом также предусматривается возможность регламентации направления обработочных (остаточных) гребешков, а также метода обработки поверхности. В соответствии с ГОСТом 2.309-73 "Обозначения шероховатости поверхностей" параметры шероховатости обозначаются к одному из четырех знаков (рис.11). Знак на рис.11,а говорит о том, что указанные к нему параметры шероховатости ($Ra=0,2\text{мкм}$, относительная опорная длина на уровне 30% от R_{max} должна

составлять 50%) могут достигаться любым путем, в том числе и без снятия стружки. Знак шероховатости на рис.11,б показывает, что путем снятия стружки любым способом в направлении, параллельном *линии cd*, должна быть высота неровностей $R_a=0,1\text{мкм}$, шаг по средней линии $S_m=0,63\text{мм}$, опорная длина на уровне 50% от R_{max} должна составлять 80%.

Знак шероховатости на рис.11,в обозначает, что поверхность должна быть обработана точением с вращением вокруг оси *ОО* (направление остаточных гребешков, должно быть перпендикулярно к образующейся *cd*), высота неровностей $R_z=25\text{мкм}$, шаг по средней линии $S_m=0,4\text{мм}$, опорная длина на уровне 40% должна быть равна 60%.

Знак шероховатости на рис.11,г, гласит, что поверхность не должна обрабатываться (стружка не должна сниматься, т.е. поверхность должна сохраняться такой, какой она получена при изготовлении заготовки), но высота неровностей должна быть не более $R_z=50\text{мкм}$.

Если шероховатость поверхности чертежом не обуславливается, то на ней не ставится никакого знака и на чертеже об этом нигде ничего другого не пишется.

Если все поверхности детали (или остальные, кроме тех, шероховатость которых указана выше указанными обозначениями) должны иметь одинаковую шероховатость, то это можно обозначить в правом верхнем углу чертежа "птичкой" в скобках (рис.11,д) и левее от него соответствующий знак (*a, б, в* или *г*) с указанием к нему параметров шероховатости. Обозначение на рис.11,д говорит о том, что остальные поверхности должны быть обработаны с неровностями, не превышающими 100мкм .

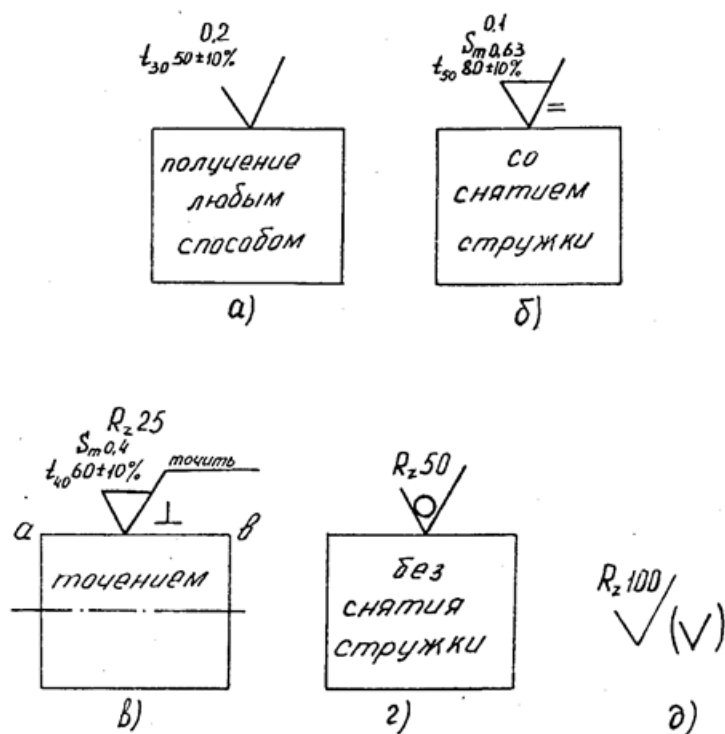


Рис.11. Обозначение шероховатости поверхности на чертежах

Литература:

1. Крагельский И.В., Добычин Н.М., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977.
2. Рыжов Э.В. Контактная жесткость деталей машин. М.: Машиностроение, 1966.
3. Ящерицин П.И., Рыжов Э.В., Аверчиков В.И. Технологическая наследственность в машиностроении. Минск.: Наука и техника, 1977.

8. РАЗРАБОТКА ПУТЕЙ И МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОТВЕРСТИЙ ПРИ СВЕРЛЕНИИ

Представлены методы и результаты лабораторных исследований повышения качества отверстий, обработанных быстрорежущими спиральными сверлами. Разработана математическая модель для расчета параметров качества отверстий, после сверления.

9. УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС НА КАФЕДРЕ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ

Аннотация. Бакалавры и магистры машиностроения и технологии конструкционных материалов, которых готовит кафедра, ориентируются на решение, прежде всего, промышленных задач Республики. Это связано как с концепцией подготовки специалистов по заказам предприятий и организаций, так и с тем, что кафедра Технологии машиностроения КГТУ им. И. Раззакова является единственной в Республике, готовящей специалистов данных направлений. При этом кафедра интегрирована в международные проекты, студенты и преподаватели активно участвуют в программах мобильности, активно обновляется учебно-исследовательская база, что позволяет ей разрабатывать и предлагать новые тренды в развитии индустрии и технического образования в Республике.

Ключевые слова: машиностроение, обработка резанием, литейное производство, обработка давлением, сварка, порошковая металлургия, рециклинг, материаловедение, технологии быстрого прототипирования, CAD/CAE/CAM.

Введение

С 2019-20 учебного года кафедра приступает к реализации новых рабочих учебных планов бакалавриата по направлениям:

650300 «Машиностроение» по профилям:

- Технология и менеджмент в машиностроении;
- Производственная инженерия.

650100 «Материаловедение и технологии материалов по профилям:

- Технологии конструкционных материалов;
- Рециклинг конструкционных материалов.

При подготовке специалистов по нашим направлениям мы исходим из приоритетного развития в Республике, среди других производств,

энергетики, в том числе «зеленой» энергетики (в плане ремонта оборудования, производства отдельных деталей и узлов, проверки качества сварных швов, разработки технических проектов и др.), горно - добывающих и перерабатывающих предприятий (в плане ремонта оборудования, производства сменных инструментов и др.), строительства (в плане разработки конструкций и материалов, «легкого» строительства, контроля качества применяемых металлических изделий и др.). Все области возможной активной работы выпускников (бакалавров и магистров) нашей кафедры представлены ниже, это:

- Организация и руководство производствами различных уровней предприятий: машиностроения, приборостроения, энергетики, геологоразведки и горных машин, оборудования и машин дорожно-строительной и коммунальной техники, сельхозмашин, машин и оборудования легкой и пищевой индустрии.
- Конструирование, разработка технологии и промышленного производства и ремонта деталей и изделий из металлов, пластмасс, стекла, керамики, базальта и камня.
- Исследования и испытания конструкционных материалов.
- Разработка новой техники, технологии и материалов в НИИ, конструкторско-технологических бюро, фирмах, а также преподавательская деятельность в вузах, колледжах и технических школах.

Учебный процесс

В настоящее время реализация учебных программ - классическая: лекции, лабораторные и практические, выполнение курсовых работ и проектов, а также выпускные квалификационные работы и диссертации (для выпускников магистратуры). Развитие цифровых технологий и изменение индустриальных технологий, проведение ряда базовых курсов профессионального цикла на иностранном языке (сейчас на немецком для студентов Кыргызско-Германского технического института, в перспективе и

на английском), организация занятий и консультаций на кыргызском языке и другие современные тренды в образовании определяют:

- Снижение количества аудиторных лекционных часов и увеличение аудиторных лабораторно-практических занятий в компактных группах.

- Разбиение курса на большее количество тем, которые должны быть он-лайн обсуждены с преподавателем, выполнены все необходимые учебные процедуры со сдачей темы как промежуточного модуля.

- Изучение дисциплин наших специальностей предполагает организацию дня лабораторных работ, позволяющий подготовиться теоретически, выполнить практические части, обработать результаты опытов и экспериментов, сделать выводы и сдать отчет по работе.

- Создание возможностей для эффективного самостоятельного усвоения тем, путем размещения основных положений тем и разделов изучаемых курсов на сайте института/кафедры/учебной группы и создания заблаговременного расписания отработок и консультаций.

Особое значение выше указанные пункты приобретают для магистрантов, которым разрешено совмещать работу с учебой.

- Реализация проекта получения одной/нескольких рабочих профессий по специальности выпускниками:

- ✓ Оператора станков с программным управлением;
- ✓ Станочника широкого профиля;
- ✓ Сварщика (электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах);
- ✓ Слесаря механосборочных работ;
- ✓ Наладчика контрольно-измерительных приборов.

Одним из общепризнанных трендов в образовании является получение дополнительного второго, третьего образования различных уровней, причем часто не одного направления. Например, базовое образование в области машиностроения плюс компьютерные науки (программирование) плюс

специалиста по ремонту бытовой техники, приборов, техника-электрика и т.п. Поэтому в самое ближайшее время в лабораториях механической обработки студенты наших направлений проведут часть учебной практики, осваивая профессию станочника. Это первая проба и пока она будет без выдачи сертификатов и выполнения квалификационных работ. В будущем предполагаем обучение на практике по определенным программам и разным направлениям не только студентам наших специальностей, но всех желающих студентов и сотрудников других специальностей. Пока также ставим задачу обучить и всех желающих сотрудников нашей кафедры по вышеуказанным специальностям.

- В перспективе рассматривается возможность подготовки кафедрой на своей базе из числа студентов по программе бакалавриата техников (как дополнительной или второй) специальности, как это реализуется, например, в Германии [1]. Это может осуществляться как по заказу предприятий, так и по госбюджету, т. к. техников по нижеперечисленным специальностям уже не готовят в Кыргызской Республике. Это следующие специальности:

- ✓ Металловедение и термическая обработка металлов;
- ✓ Сварочное производство;
- ✓ Технология машиностроения.

Выполнение курсовых работ и проектов должно стать еще обучением по темам, не входящим в программу, но важным для будущего специалиста, как например, обзор литературных источников, выполнение расчетов по смежным дисциплинам (например, электро-теплотехнических, физико-химических и др.). В связи с этим кафедра будет предлагать темы курсовых работ, проектов, выпускных квалификационных работ комплексного характера. Это будет предполагать решение задач не только из дисциплин наших специальностей, так и дисциплин других кафедр, возможно и из других вузов и организаций. Для примера можно назвать разработку проекта модернизации электрических сетей следующих лабораторий: механической

обработки, литейной, сварки и обработки металлов давлением. Очевидно, что для решения этой задачи, кроме студентов наших специальностей, которые представят мощности, пиковые нагрузки и другие характеристики технологического оборудования, должны быть привлечены и студенты электротехнических направлений. Также мы предлагаем всем заинтересованным партнерам разработку системы снабжения наших лабораторий, которые по сути являются малыми производствами, сжатым воздухом, без которого невозможна работа, например, современных CNC машин, работа пневмоинструмента и другого технологического оборудования, а также реализация таких технологических процессов как: нанесение покрытий, пескоструйная очистка деталей, организация «кипящего» слоя песка для обсыпания восковых моделей при литье по выплавляемым моделям и др.

Учебные лаборатории кафедры

На кафедре Технологии машиностроения в учебном процессе задействованы следующие лаборатории:

Лаборатория металлографического анализа



Рис.1. Лаборатория металлографического анализа, общий вид микроскопа Axio Imager A1m/M1m.

На рис.1 представлены микроскоп Axio Imager A1m/M1m, который является серией прямых микроскопов, созданных с учетом последних разработок в области микроскопии и подходящий для решения самых различных задач и микроструктуры сплава, наблюдаемые на экране монитора.

Новые методы контрастирования (дифференциально-интерференционный контраст с простой и круговой поляризацией) позволяют найти особенности структур конструкционных материалов, а также определять микротрещины или другие тончайшие дефекты поверхности микрошлифа.

Шлифовка осуществляется с помощью шлифовально-полировальной машины Minitech 233 (рис.2.), позволяющей достичь высокое качество исследований.



Рис.2. Minitech 233— ручная ододисковая шлифовально-полировальная машина с варьируемой скоростью вращения.

Лаборатория обработки металлов давлением

Лаборатория предназначена для изучения методов обработки металлов давлением, их особенностей, различных видов деформации металлов в процессе штамповки,ковки, листовой штамповки, прессования, проката и т.д. (рис.3).



Рис.3. Пресса лаборатории обработки металлов давлением.

Лаборатория сварки

Лаборатория представлена, как традиционным промышленным оборудованием, таким как сварочные посты ручной дуговой сварки, контактной и шовной сварок, сварки оплавлением, сварки под флюсом и среде углекислого газа, так и специальным промышленным оборудованием, реализующим такие способы как сварка плавящимся и неплавящимся электродами в среде защитных газов для прецизионной сварки и резки алюминиевых сплавов. Опытно-промышленная установка плазменной сварки будет также задействована в учебно-исследовательских целях. Лаборатория имеет потенциал не только для обучения студентов, но и выполнения заказов производства. Особое значение будет придано дооснащению лаборатории сварки приборами контроля качества сварных швов и конструкций, что открывает новые направления учебной, научной и производственной деятельности.



Рис.4. Оснащение лаборатории сварки

Лаборатории механической обработки

Лаборатории механической обработки оснащены всеми станками для проведения учебного процесса, это: токарными, фрезерными, шлифовальными, строгальными, долбежными, сверлильными и станками специальных методов обработки (рис.5).



Рис.5. Лаборатории механической обработки.

Модернизация лабораторий механической обработки предполагает: организацию слесарного и заготовительного участков (оборудование имеется, нужно оптимизировать занимаемые площади), дооснащение инструментальной лаборатории и организацию мини участков сборки и монтажа оборудования, создание сети снабжения всех лабораторий сжатым воздухом минимальным давлением 10 атм, как того требует современное производство.

Лаборатории кафедры Технологии машиностроения являются также и местом внедрения результатов опытно-конструкторских разработок и исследований в учебный процесс. Так разработанные студентами лабораторные установки центробежного литья, литья в кокиль [3] и измерения числа оборотов технологического оборудования успешно используются на кафедре в течение уже нескольких лет. В ближайшее время будут внедрены в учебный процесс, выполненные студентами и магистрантами лабораторные работы по литью по газифицируемым моделям, литью по выплавляемым моделям, плазменной резке металлов, химико-термической обработке металлов и другие.

CAD/CAE/CAM

К настоящему времени на кафедре можно сказать о полной компьютеризации выполнения учебной проектно-конструкторской документации. Следующим этапом является реализация цифровой системы «От идеи к продукту», предложенной проф. Р. Ферстером из Университета Бойдта г. Берлин, которая представлена на рис. 6.



Рис. 6. Схема цифровой системы «От идеи к продукту» [2].

В настоящее время благодаря активной поддержке коллег из Университета Бойдта г. Берлин и немецкой службы академических обменов (DAAD) на кафедре организованы новые лаборатории аддитивных технологий (рис. 7) и CNC-машин (рис.8).



Рис. 7. Лаборатория аддитивных технологий.



Рис.8. Лаборатория CNC машин.

Все имеющееся новое оборудование этих лабораторий прошло отладку и готово к учебной и исследовательской работе. Лаборатория аддитивных технологий предполагает изготовление изделия по данным CAD-модели методом послойного добавления материала. Для быстрого прототипирования используются два 3D-принтера MakerBot, 3D Сканер EinScan-SE, а для

проверки параметров шероховатости поверхностей деталей измерительная станция MarSurf M 400. Лаборатория CNC машин лаборатория оснащена современным фрезерным станком с ЧПУ от ISEL серии Euromod и лабораторным CNC фрезерным станком собственной сборки.

В перспективе кафедрой планируется создание единой цифровой сети, соединяющей все лаборатории с целью создания единой учебно-производственной системы, обеспечивающей качество и эффективность учебного процесса и научных исследований.

Литература

1. Prof. Dr.-Ing. Ralf Förster. Education system in Germany. Ways to success.IRSTC 2015.
2. Prof. Dr.-Ing. Ralf Förster. Gutachterliche Stellungnahme zum Teilprojekt Rauheitsmesstechnik. Beuth Hochschule für Technik Berlin, 2015.
3. Мамбеталиев Т. С., Дыйканбаева У. М. Литейная лаборатория кафедры «Технологии машиностроения»: настоящее и будущее. Известия КГТУ им. И. Раззакова №2(46), Бишкек, «Текник», 2018, с.58-66.

10. ИСПЫТАНИЯ НА РАСТЯЖЕНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ МАРКИ (6082Т6, 5083Н111)ВЫПОЛНЕННЫХ СВАРКОЙ С МАЛОЙ ТЕПЛОТОЙ.

В данной работе предложена методика испытания на растяжение соединений сделанных из сварки с малой теплотой. Проведенное по предложенной методике испытание соединений сплава AlSi1MgMn 6082Т6, AlMg4,5Mn0,7 5083 со сплавом AlMg4,5Mn0,7 5183, сваренных с различными режимами сварки, показало, что при малых значениях осадки разрушение происходит хрупко. Увеличение осадки при сварке приводит к изменению вида излома, места разрушения и диаграммы растяжения. Предел прочности сварного соединения при этом увеличивается незначительно, в то время как работа, затраченная на пластическое деформирование образцов до разрушения, увеличивается на порядок.

Ключевые слова: сварка с малой теплотой; алюминиевые сплавы; прочность сварных соединений; испытания на растяжение; качество сварных соединений

Введение

Испытания на статическое растяжение являются важнейшим видом механических испытаний, они применяются для оценки прочности сварных соединений, полученных практически всеми способами сварки. Механические испытания в зависимости от характера действия нагрузки во времени могут быть: статические, при которых нагружение производится медленно и нагрузка возрастает плавно от нуля до некоторой максимальной величины или остается постоянной длительное время при малой скорости деформации; динамические, при которых нагрузка на образец возрастает мгновенно при большой скорости деформации; повторно-переменные (или циклические), усталостные, при которых изменяются величина и направление действия нагрузки. По результатам испытаний

определяют число циклов до разрушения при разных значениях напряжений или то предельное напряжение, которое образец выдерживает без разрушения в течение определенного числа циклов нагружения. При статических, динамических и усталостных испытаниях, а также при испытаниях на твердость и жаропрочность определяют стандартные механические свойства металлов и сплавов: прочностные характеристики - предел пропорциональности, предел упругости, предел текучести, временное сопротивление, пластические характеристики - относительное удлинение и относительное сужение, а также твердость, ударную вязкость, предел выносливости, предел ползучести или предел длительной прочности.



Рис. 1. Образцы сварных листов
рабочего участка, вырезанный из сварного
соединения для испытания на растяжение

Если прочность металла сварного шва выше прочности основного металла, то даже при наличии некоторого количества дефектов в плоскости стыка разрушение более вероятно по основному металлу или зоне термомеханического влияния. Поскольку разрушение не по шву всегда трактуется как признак высокого качества сварки, можно говорить о снижении чувствительности испытаний к наличию дефектов в этом случае. В связи с изложенным возникает необходимость в отработке методики испытаний на растяжение соединений алюминиевых сплавов,

полученных сваркой с малой теплотой.

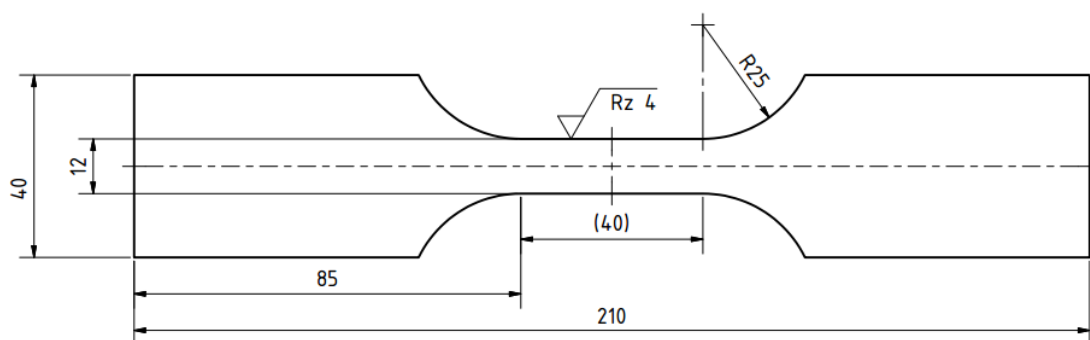


Рис. 2. Эскиз образца для проведения испытаний сварных соединений на растяжение

Методика проведения эксперимента

Для отработки методики испытаний были использованы соединения алюминиевых листов марки 6082 и 5083 присадочной проволокой 5183. Для испытаний на растяжение изготовлены образцы. Эскиз образца для проведения представлен на рис. 2. Толщина образцов принята равной 2 мм, радиус скругления-25 мм минимальная ширина– 12 мм. Испытания проводились на установке Института сварки и технологии металлов (*ISAF TU Clausthal, Germany*) с использованием сварочной установки *Fronius*, на универсальной разрывной машине рис.3.

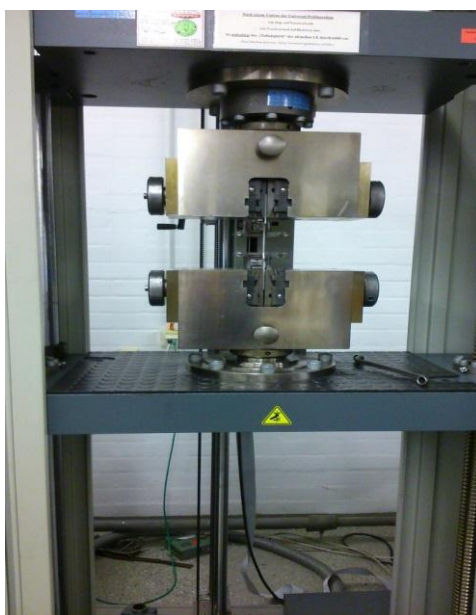


Рис. 3. Эскиз образца для проведения испытаний сварных соединений на растяжении

После испытаний на растяжения была составлена таблица для анализа данных табл.1.

Таблица 1

Сплав 6082	Rm-Предел прочности Мпа		Rp-Предел текучести Мпа		А-Относительное удлинение %	
	типич	мин	типич	мин	типич	мин
	330	310	290	270	10	7
Сплав 5083	275	245	125	90	16	11
JB09	1	204,07		125,60	6,29	
	2	114,33		106,30	2,47	
	3	180,13		121,07	3,37	
JB10	1	214,96		133,48	5,37	
	2	198,52		126,05	5,11	
	3	192,21		123,39	4,79	
JB11	1	204,27		125,00	4,87	
	2	173,74		123,81	2,22	
	3	112,86		111,75	1,75	
JB12	1	157,30		120,56	4,07	
	2	216,56		136,12	5,15	
	3	225,14		141,31	4,98	
JB13	1	192,36		124,25	4,53	
	2	136,47		118,07	2,76	
	3	174,27		116,90	4,58	
JB15	1	212,46		132,93	5,01	
	2	178,00		119,27	5,57	
	3	137,85		117,79	2,95	
JB25	1	258,29		128,70	12,59	
	2	270,22		138,64	13,96	
	3	231,05		120,17	10,83	
JB26	1	247,14		125,02	14,92	
	2	161,50		110,34	10,80	
	3	240,64		125,95	10,99	
JB27	1	246,56		126,77	14,17	
	2	240,56		120,16	15,56	
	3	241,44		123,95	14,04	
JB28	1	239,35		112,60	18,31	

	2	253,14		134,24		12,06	
	3	258,43		129,78		14,28	
JB29	1	279,98		139,96		16,02	
	2	245,45		118,64		18,22	
	3	236,18		118,91		14,39	
JB31	1	158,36		108,19		8,96	
	2	249,87		125,14		14,88	
	3	247,04		123,41		15,79	
JB33	1	149,40		125,18		1,09	
	2	208,76		135,00		4,14	
	3	217,99		143,20		4,39	
JB34	1	204,71		132,16		4,64	
	2	210,14		133,94		5,03	
	3	207,03		133,21		4,60	
JB35	1	270,05		137,05		14,65	
	2	257,41		129,95		14,32	
	3	247,24		124,49		13,89	
JB36	1	277,63		136,64		16,68	
	2	274,48		143,60		12,28	
	3	271,30		135,07		16,09	

Список литературы

1.Статья, А.Ю. Медведев, С.П. Павлиныч, испытания на растяжение сварных соединений титановых сплавов, выполненных линейной сваркой трением

2.<http://libmetal.ru/prop/isp.htm>

3. <http://extrusion.com.ua/aluminium-alloy/>

11. A MATHEMATICAL MODEL FOR TOP MOTIONS

Abstract

The topic of the top motions is not new but the known publications represent wrong mathematical models for its gyroscopic effects. Recent investigations have demonstrated the physics of gyroscopic effects is more complex. On any spinning objects are acting the system of interrelated internal torques generated by their rotating mass elements and center mass. The inertial torque is produced by the centrifugal, common inertial and Coriolis forces, as well as the change in the angular momentum. These inertial torques represent the fundamental principle of gyroscope theory. The new inertial torques enables deriving mathematical models for the motions of any rotating objects that were impossible for a long time. The aim of this work is to represent mathematical models for the motions of the well-balanced top on the flat horizontal surface. This work describes the physics of the top motions and closes the problem of many years of discussion; the new analytical approach for the top's motions definitely responds to the practical results and represents a good example of the educational process.

Keywords: Physics of Gyroscopic Effects, Inertial Torque, Top

Introduction

Since the Industrial Revolution brilliant scientists and ordinary researchers have investigated, developed and added new interpretations of the gyroscopic effects, which analytical models and physics of acting forces were represented by simplified approaches and assumptions? The applied theory of gyroscopes emerged mainly in the twentieth century due to the intensification of the work of mechanisms with rotating components [1, 2]. Gyroscopic effects are used in gyroscopic devices in aerospace engineering, as well as on ships and other industries [3, 4]. The importance of the action of gyroscopic inertial forces on rotating objects is obvious and all textbooks of classical mechanics have chapters on the gyroscope theory [5-8]. Numerous and valuable publications have dedicated

to gyroscopic effects and their applications in engineering [9, 10]. However, in known publications, mathematical models for the gyroscopic effects do not seem to match their practical applications in gyroscopic devices. This is the reason the gyroscope theory still attracts many researchers who seek to discover true gyroscope theory.

Mechanically, a gyroscope is a spinning disc, in which the simplest design represents a top. The motions of a top have been described analytically in numerous publications, and with complex numerical modeling based on Lagrangian dynamics on Euler coordinates that are solved with computer software [11, 12]. However, all publications contain approximations, assumptions, and simplifications, and explain gyroscope effects by the physical principle of the angular momentum [13, 14]. Gyroscope effects still represent a problem that remains to be solved. The physics of gyroscopic effects are more complex than represented in the theories known to date. Recent investigations into the physical principles of gyroscope motions demonstrate the system of interrelated inertial forces acting upon a spinning disc. Gyroscope effects generated by the action of the centrifugal, common inertial, and Coriolis forces, and the change in the angular momentum of the spinning disc [15-17]. The action of these forces is manifested by the resistance and precession torques which formulate the motions of the gyroscopic devices [18, 19]. The equations of the inertial torques demonstrate the proportional dependence on a spinning disc mass moment of inertia and its angular velocity, as well as on the angular velocity of its precession [13]. The mathematical models for this inertial torques clearly describe the physics of gyroscopic effects and explain the unusual motions of gyroscopic devices. The aim of this work is to represent mathematical models for the motions of the well-balanced top on the flat horizontal surface. The analytical approach is based on the action of the system interrelated inertial forces generated by the mass elements and center mass of a spinning top. The practical tests and observations confirm the mathematical model for the op motion.

Methodology

The new mathematical models for the top motions are formulated by the action of the system of interrelated internal torques. Observation of an inclined fast-spinning top demonstrates the spiral motion on the flat surface with following asymptotically motion to the vertical position of its axis. The spinning top stabilizes itself and its spin axis preserves a vertical position until to the minimal angular velocity that leads to the wobbling and then to side fall. This phenomenon of the top's motion is the result of the action of inertial internal torques generated by the spinning mass elements and the centre-mass. The circular or spiral motion of the top is the result of the action of the frictional force on the spherical surface of the tip of the top's leg.

The spiral motion of the top is being considered in terms of machine dynamics. The acting forces on the top are its weight, frictional force of the leg's tip at the point of contact the leg with the horizontal surface and the system of inertial forces mentioned above. The analysis of top motions is conducted using the example of a top that is tilted and spinning in a counter clockwise direction. The motion of the top spinning in a counter clockwise direction is considered around the point of support O that demonstrated in Figure 1. If the axis of a top is adjusted on the angle γ to the horizontal and released, then, under the action of the weight of the top, frictional force, and inertial torques the top's axis will begin to presses at about the vertical and horizontal. The frictional force acting on the tip of the leg starts to move the top around its gravity centre and the top's axis describes a conical surface. The action of external and inertial torques leads to the decrease of the angular velocity of the top's spin. Hence, the values of inertial torques are decreasing gradually, while the precession velocities correspondingly increase. When the angular velocity of the top becomes smaller, the internal torques becomes weaker. In this case, the tip of the top's leg describes a clearly visible spiral curve with a decrease of its radius of curvature. This situation leads to the vertical approach of the top axis that manifests its stabilization

The motion of a spinning top that inclined to a horizontal flat surface is complex. The equation of motion is formulated by the action of several forces and torques on the top that is as follows: the external torque generated by action of the weight of an inclined top; the torque generated by the centrifugal force of the rotating top's centre-mass around axis oy ; the external torque generated by the frictional force acting on the top's leg and around its axis. Other acting inertial torques is generated by the rotating masses mentioned above and represented in several publications [15, 16]. All forces and torques acting on the top are demonstrated in Figure 1.

Figure 1: Forces acting on a spinning top

$$J_x \frac{d\omega_x}{dt} = T + T_{ct.my} - T_{ctx} - T_{crx} - T_{amy} \cos \gamma \eta \quad (1)$$

$$J_y \frac{d\omega_y}{dt} = T_f + (T_{inx} + T_{amx} - T_{cry}) \cos \gamma \quad (2)$$

$$\omega_y = - \left(\frac{2\pi^2 + 8}{\cos \gamma} + 2\pi^2 + 9 \right) \omega_x \quad (3)$$

where $J_i = (mR^2/4) + ml^2$ is the top's mass moment of inertia around axis i [5-7]; m is the top's mass; T is the external torque generated by action of the top weight; g is the gravity acceleration, l is the length of the leg; $F_{ct.mx} = m\omega_x^2 \sin \gamma \cos \gamma$ is the force generated by the centrifugal force of the rotating top's centre mass around axis ox ; $T_f = mgfl \cos \gamma$ is the torque generated by the frictional force acting on the tip and turns the top around it's the centre mass in the counter clockwise direction, f is the coefficient of the sliding friction between the leg and flat surfaces; $T_{ct.my} = F_{ct.my} \sin \gamma = ml \cos \gamma \omega_y^2 l \sin \gamma = ml^2 \cos \gamma \sin \gamma \omega_y^2$ is the torque generated by the centrifugal force of the rotating top's centre mass around axis oy ; ω_y is the precession velocity of the top around axis oy ; η is the coefficient of the change in the value of the inertial torques; other expressions are as specified above.

The action of the frictional torque T_f turns the top around axis oy and increases the value of the precession torques ($T_{px} = T_{inx} + T_{amx}$). The value of the precession torque T_{amy} acting around axis ox is also decreases due to the interdependency of the actions of the inertial torques around axes. This action is expressed by the coefficient η of the change in the precession torque T_{amy} that is presented by the following equation:

$$\eta = \frac{T_{px} + T_f}{T_{px}} = 1 + \frac{mgfl}{\left(\frac{2}{9} \pi^2 + 1 \right) J \omega \omega_x} \quad (4)$$

Where T_{px} is the precession torques originated on axis ox but acting around axis oy , other components are as specified above. The methodology towards a solution for equation (1) - (2) by using the ratio of the precession velocities of a top around axes (equation (3)) is represented in [16]. Substituting equations (3) and (4) and equations of inertial torques [15] into equations (1) and (2) and simplification yield the following equations of the top's motion around axis ox :

$$\begin{aligned}
 J_x \frac{d\omega_x}{dt} &= mgl \cos \gamma - ml^2 \cos \gamma \sin \gamma \omega_x^2 + ml^2 \cos \gamma \sin \gamma \left[\left(\frac{2\pi^2 + 8}{\cos \gamma} + 2\pi^2 + 9 \right) \omega_x \right]^2 - \\
 &\left(\frac{2\pi^2 + 8}{9} \right) J \omega \omega_x - [2\pi^2 + 8 + (2\pi^2 + 9) \cos \gamma] J \omega \omega_x \times \left[1 + \frac{mgl}{\left(\frac{2\pi^2 + 9}{9} \right) J \omega \omega_x} \right] \quad (5) \\
 J_x \frac{d\omega_x}{dt} &= mgl \left[\cos \gamma - 9 \left(\frac{2\pi^2 + 8}{2\pi^2 + 9} + \cos \gamma \right) f \right] - \left[\frac{10(2\pi^2 + 8)}{9} + (2\pi^2 + 9) \cos \gamma \right] J \omega \omega_x - \\
 &\left[1 - \left(\frac{2\pi^2 + 8}{\cos \gamma} + 2\pi^2 + 9 \right)^2 \right] ml^2 \cos \gamma \sin \gamma \omega_x^2
 \end{aligned}$$

Where all parameters are as specified above.

Self-Stabilization

The practical observation of a tilted spinning top proves its capacity for self-stabilization. The axis of the tilted spinning top goes to the vertical position by the action of the inertial torques generated by the rotating mass elements, which values are bigger than torques generated by the top's weight and inertial torque generated by the centre mass. The necessary condition for a top's self-stabilization is formulated by separating variables acting in the counter-clockwise and clockwise directions of the right side of equation (6) that expresses by the following equation:

$$mgl \left[\cos \gamma - 9 \left(\frac{2\pi^2 + 8}{2\pi^2 + 9} + \cos \gamma \right) f \right] - ml^2 \cos \gamma \sin \gamma \left[1 - \left(\frac{2\pi^2 + 8}{\cos \gamma} + 2\pi^2 + 9 \right)^2 \right] \omega_x^2 = \left[\frac{10(2\pi^2 + 8)}{9} + (2\pi^2 + 9) \cos \gamma \right] J \omega \omega_x \quad (7)$$

Analysis of equation (7) shows that the equilibrium of the acting torques depends on three main variable components, i.e. the angular velocity ω of the top, the velocity of precession ω_x , and the angle γ of its inclination. The stabilization process is intensive when the value of the torque of the right side equation is big and in addition, the length of the top's leg should be short, and i.e. the centre-mass of the top is located towards the tip of the leg. The spinning top with a long leg and a small radius of the disc manifest the less stability. The top of high spinning velocity generates the high value of the torque presented at the right side of equation (7). This value is always bigger than the value of the torques on the left side of equation (7). It means, the property of the top for self-stabilization is permanent and depends only on the speed of the top rotation. The running top starts to wobble when the speed of the top is always close to zero that leads to loose of its stability.

Working Example

The example considers the motion of a disc-type top whose technical data is represented in Table 1. The centre-mass of the top is located on the plane of the thin disc. The spinning top initially possesses an inclined axle and rotating around a vertical axis.

Table 1: Technical data of the top

	Parameter	Data
	Angular velocity, ω	1000 rpm
	Radius of the disc, R	0.025 m
	Length of the leg, l	0.02 m
	Angle of tilt, γ	75.0°
	Mass, m	0.02 kg
	Coefficient of friction, f	0.1
Mass moment of inertia, kgm^2	Around axis oz , $J = mR^2/2$	0.625×10^{-5}
	Around axes ox and oy of the centre mass, $J = mR^2/4$	0.3125×10^{-5}
	Around axes ox and oy , $J_x = J_y = mR^2/4 + ml^2$	1.1125×10^{-5}

For the solution, equation (6) is transformed, simplified and variables separated that yield the following differential equation

$$\frac{J_x d\omega_x}{ml^2 \cos \gamma \sin \gamma \left[1 - \left(\frac{2\pi^2 + 8}{\cos \gamma} + 2\pi^2 + 9 \right)^2 \right] \omega_x^2 - \left[\frac{10(2\pi^2 + 8)}{9} + (2\pi^2 + 9) \cos \gamma \right] J \omega \omega_x + mgl \left[\cos \gamma - 9 \left(\frac{2\pi^2 + 8}{2\pi^2 + 9} + \cos \gamma \right) f \right]} = dt \quad (8)$$

Substituting initial data into equation (8) brings the following expression:

$$\frac{1.1125 \times 10^{-5} d\omega_x}{0.02 \times 0.02^2 \cos 75^\circ \sin 75^\circ \left[1 - \left(\frac{2\pi^2 + 8}{\cos 75^\circ} + 2\pi^2 + 9 \right)^2 \right] \omega_x^2 - \left[\frac{10(2\pi^2 + 8)}{9} + (2\pi^2 + 9) \cos 75^\circ \right] 0.625 \times 10^{-5} \times 1000 \times \frac{2\pi}{60} \omega_x + 0.02 \times 9.81 \times 0.02 \times \left[\cos 75^\circ - 9 \times \left(\frac{2\pi^2 + 8}{2\pi^2 + 9} + \cos 75^\circ \right) \times 0.1 \right]} = dt \quad (9)$$

Simplification of equation (9) and transformation yields the following solution:

$$-\frac{3,011320372 \times 10^{-4} d\omega_x}{\omega_x^2 + 0,677806882 \omega_x + 0,064776789} = dt \quad (10)$$

The denominator on the left side of equation (10) represents the quadratic equation with the following expression:

$$-\frac{3.011320330 \times 10^{-4} d\omega_x}{(\omega_x + 0,562686267)(\omega_x + 0,115120615)} = dt \quad (11)$$

Equation (11) is converted into integral forms with definite limits and yields the following equation:

$$\frac{1}{0,447565652} \int_0^{\omega_x} \left(\frac{1}{\omega_x + 0,115120615} - \frac{1}{\omega_x + 0,562686267} \right) d\omega_x = -3320,802473378 \int_0^t dt \quad (12)$$

Integrals of Eq. (12) is tabulated and presented the integrals $\int \frac{dx}{x+a} = \ln|a+x| + C$ and $\int \frac{dx}{x-a} = \ln|a-x| + C$

with the following solutions: $\ln(\omega_x + 0,115120615) \Big|_0^{\omega_x} - \ln(\omega_x + 0,562686267) \Big|_0^{\omega_x} = -1486,277124161t$

with the following solutions: $\ln\left(\frac{\omega_x + 0,115120615}{0,115120615}\right) - \ln\left(\frac{\omega_x + 0,562686267}{0,562686267}\right) = -1486,277124161t$

The next transformation yields the following result:

$$\omega_x + 0,115120615 = e^{-1486,277124161t} \times 4,887797611 \times (\omega_x + 0,562686267) \quad (13)$$

Analysis of the right component of Equation (13) demonstrates that the expression has a small value of a high order that can be neglected. The solution of equation (13) and (3) yields the following values of the precession angular velocities for the top around axes ox and oy :

$$\omega_x = -0,115120615 \text{ rad/s}$$

$$\omega_y = \left(\frac{2\pi^2 + 8}{\cos 75^\circ} + 2\pi^2 + 9 \right) \times 0,115120615 = 15,646650797 \text{ rad/s} \quad (14)$$

Where the sign (-) for ω_x means the turn of the top axel in the clockwise direction toward the vertical location.

Self-stabilization

The presented data of a tilted spinning top allow the condition for its self-stabilization to be checked. Substituting the defined data above and from Table 1 into equation (7) yield the following result:

$$\begin{aligned}
& 0.02 \times 9.81 \times 0.02 \times \left[\cos 75^\circ - 9 \times \left(\frac{2\pi^2 + 8}{2\pi^2 + 9} + \cos 75^\circ \right) \times 0.1 \right] - \\
& 0.02 \times 0.02^2 \cos 75^\circ \sin 75^\circ \left[1 - \left(\frac{2\pi^2 + 8}{\cos 75^\circ} + 2\pi^2 + 9 \right)^2 \right] \times 0,115120615^2 = \\
& \left[\frac{10(2\pi^2 + 8)}{9} + (2\pi^2 + 9) \cos 75^\circ \right] 0.625 \times 10^{-5} \times 1000 \times \frac{2\pi}{60} \times 0,115120615 \quad (15)
\end{aligned}$$

That giving rise to the following

$$-0,007560157 < 0,002882717 \quad (16)$$

The right component of equation (16) is bigger than the left one. It means the inertial torques acting on the top turn up to vertical with the spiral motion of the top on the surface.

Results and Discussion

The mathematical models for the top motions on the horizontal surface are based on the action of the top's weight, frictional forces, and the system of inertial torques generated by the rotating mass elements and centre mass of a spinning top. The action of a top's weight produces inertial torques that is interrelated and acted at one time and expresses precession motions. This inertial torques present the action of centrifugal, common inertial, Coriolis forces as well as the change in the angular momentum. The new physical principles enable for mathematical models of an inclined top precession motion and its self-stabilization to be formulated, i.e., rotates vertically.

Conclusion

In the gyroscope theory, the top's motion was one of the most complex and intricate in terms of analytical solutions. Known mathematical models for the top motions are accepted with simplifications and do not adequately express the real physics of acting forces. The new mathematical models for gyroscope torques

consider the interdependent action of the system of inertial forces generated by the rotating mass elements and centre mass of the spinning objects. The new physical principles for gyroscope motions were used for modelling of inclined a top's motions and its self-stabilization. The obtained mathematical model for the top complex motion is distinguished from the models in known publications, which does not interpret the physics of gyroscopic effects. The application of the correct mathematical model for the top's motion is a good example of educational processes.

Nomenclature

g – Gravity acceleration

F - Centrifugal force

$F_{ct,my}$ - Centrifugal force of a top's centre-mass rotating around axis oy

i - Index for axis ox or oy

J - Mass moment of inertia of a top

J_i - Mass moment of inertia of a top around axis i

l – Length of a top's leg

m - Mass of a top

T - Load torque

$T_{am,i}$, $T_{ct,i}$, $T_{cr,i}$, $T_{in,i}$ - Torque generated by the change in the angular momentum, centrifugal, Coriolis and common inertial forces acting around axis i , respectively

$T_{r,p}$, T_{pi} – Resistance and precession torque acting around axis i , respectively

t - Time

γ - Tilt angle of a top's axis

ω - Angular velocity of a top

ω_i - Angular velocity of a top around axis i

References

1. Greenhill G (2017) Report on Gyroscopic Theory, Ein Dienst der ETH-Bibliothek ETH Zürich, Zürich, Schweiz.
2. Scarborough JB (2014) The Gyroscope Theory and Applications, Nabu Press, London.
3. Pasciuto I, Ligorio G, Bergamini E, Vannozzi G, Sabatini AM (2015) How Angular Velocity Features and Different Gyroscope Noise Types Interact and Determine Orientation Estimation Accuracy, Sensors (Basel). Sep; 15: 23983-24001.
4. Haeussler M, Reichart R, Bartl A, Rixen D (2017) Post Correcting for Gyroscopic Effects via Dynamic Substructuring.

- 24th International Congress on Sound and Vibration (ICSV).
5. Hibbeler RC (2015) Engineering Mechanics - Statics and Dynamics, 13th ed. Prentice Hall, Pearson, Singapore.
6. Gregory DR (2006) Classical Mechanics. Cambridge University Press, New York.
7. Taylor JR (2005) Classical Mechanics, University Science Books, California, USA.
8. Russell K, Shen Q, Sodhi RS (2016) Kinematics and Dynamics of Mechanical Systems: Implementation in MATLAB® and SimMechanics®, CRC Press Taylor and Francis Group LLC, Boca Raton FL, USA.
9. Mohammadi Z, Salarieh H (2016) Investigating the effects of quadrature error in parametrically and harmonically excited MEMS rate gyroscopes, Measurement 87: 152-175.
10. Senkal D, Efimovskaya A, Shkel AM (2015) Minimal realization of dynamically balanced lumped mass WA gyroscope: dual foucault pendulum, IEEE ISSS, Hawaii, USA.
11. Klein F, Sommerfeld A (2008-14) The theory of the top. New York, Springer 1-4.
12. Gander W, Gander MJ, Kwok F (2014) Scientific Computing an Introduction using Maple and MATLAB, Springer New York Heidelberg Dordrecht, London.
13. Cross R (2018) Why does a spinning egg rise? European Journal of Physics 39: 025002.
14. Cross R (2018) European Journal of Physics 39.
15. Usubamatov R (2018) Inertial Forces Acting on Gyroscope, Journal of Mechanical Science and Technology 32: 101-108.
16. Usubamatov RA (2016) Mathematical Model for Motions of Gyroscope Suspended from Flexible Cord, Cogent Engineering; DOI:10.1080/23311916.2016.1245901.
17. Usubamatov R (2017) Mathematical models for principles of gyroscope theory. Proceedings of American Institute of Physics 1798: 020133.
18. Usubamatov R, Omorova AA (2018) Mathematical Model for Top Nutation Based on Inertial Forces of Distributed Masses, Mathematical Problems in Engineering; doi:10.1155/2018/6132891.
19. Usubamatov R (2019) Physics of gyroscope nutation, AIP Advances 9: 105101.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных кафедрой аналитических и экспериментальных исследований можно сформулировать следующее:

1. Исходя из высказываний многих сторонников интегрированного производства, следует что Индустрия 4.0 может изменить само определение человеческого труда. Так как машины смогут выполнять повторяющиеся, рутинные задачи в производстве с большей производительностью, чем люди. Но и люди, освобожденные от данных задач, будут больше заниматься творческими сферами деятельности.

2. Определено, что при эксплуатации сверл до функционального отказа на скоростях резания высокого качества просверленных отверстий износ уголков значительно превышает фактическую разбивку отверстий.

3. Применение интегрированных систем CAD/CAM способствует повышению уровня автоматизации проектирование технологических процессов для свободно программируемого технологического оборудования, что в свою очередь позволяет снизить трудоёмкость проектирование технологических процессов и повысить эффективность работы технолога.

4. Представлены математический подход и метод расчета параметров на основе технических и технологических параметров АЛ, сегментированной на секции с накопителями ограниченной емкости, которые позволяют определить количество секций линии по критерию необходимой производительности. Такая структура производственной линии типична для производственных процессов, производительность которых рассчитывается различными методами. Полученная математическая модель представляет собой целостное уравнение, позволяющее рассчитывать производительность АЛ с накопителями ограниченной емкости и различными показателями надежности для секций и других узлов АЛ. Эта математическая модель включает в себя компоненты технологии, вспомогательное время, среднее

время ремонта и ремонтпригодность. Уравнение (9) позволяет определить оптимальное количество рабочих станций для АЛ с выбранным количеством секций, что в конечном итоге дает максимальную производительность. Математическая модель также позволяет оценивать варианты структуры АЛ, т. е. количество рабочих машин и секций на основе их частоты отказов и емкости накопителей. Полученное уравнение показывает, что увеличение количества секций приводит к росту производительности АЛ с секциями и накопителями.

5. Известные аналитические уравнения для вычисления производительности автоматической линии со сложной структурой довольно сложны и не могут дать быстрых ответов производителям о том, как правильно рассчитать выход АЛ. Вклад этого исследования состоит в том, что сделана попытка предоставить целостную математическую модель для производительности автоматической линии со сложной структурой, основанную на технологических и технических параметрах. Предложенная математическая модель будет полезна при моделировании выходных данных АЛ с различными показателями надежности секций и механизмов. Полученное уравнение является простым и основано на известных данных в области машиностроения, что позволяет легко вычислить основные параметры автоматической линии со сложной структурой.

Исследования были проведены под руководством профессора Усубаматова Р.Н.

6. Спроектирована принципиальная новая автоматическая система регулирования величины усилия резания и скорости подачи инструмента в зависимости от нагрузки на инструменте привода станка, обеспечивающая стабилизацию режимов обработки изделия и предупреждающая заклинивание инструмента, а следовательно, повышающая его стойкость и долговечность.

7. Разработана математическая модель автоматической системы, позволяющая произвести расчёт основных параметров системы, которые необходимы для получения соответствующих динамических качеств: высокое быстродействие, малая значение статической ошибки регулирования (менее 2%) и устойчивости во всём диапазоне режимов работы.

8. Анализ полученного выражения позволяет выявить закономерности влияния скорости резки мощности, которая определяется скоростью истечения плазменного потока и затрачивается соответственно на преодоление сил вязкости расплава, удаление расплава с кромок реза. С увеличением на кромках реза толщины жидкого металла, мощность необходимая для удаления его должна возрасти, вследствие чего уменьшается скорость резки. Данное выражение позволяет выбрать такие технологические параметры процесса как ток дуги, диаметр сопла, расход газа, толщина разрезаемого металла и т.д.

9. Технологические процессы изготовления деталей в наибольшей мере влияют на качество поверхностного слоя, состояние которого в значительной степени характеризует эксплуатационные свойства их: износостойкость, усталостную прочность, контактную жесткость, коррозионную стойкость и др.

10. Кафедра Технологии машиностроения ставит реализацию учебного процесса как одну из важнейших задач, наряду с проведением научно - исследовательской и методической работами, которые неотделимо связаны с учебным процессом. Рассмотрение последних выходит за рамки данной статьи, однако, очевидно, что эффективная работа во всех направлениях невозможна без материально-технической базы кафедры, которая рассмотрена выше. Нашей целью является то, чтобы наши лаборатории представляли собой полные комплекты из лабораторий промышленности и исследовательских организаций, а также мини производства со всеми доступными технологиями, такими как резание металлов, литье, сварка,ковка, штамповка, прокатка, термо-физико-химическая обработка

материалов и другие. При этом наличие в составе наших лабораторий CAD/CAE/CAM/CAPP систем позволяет оптимистично смотреть в будущее.

11. Были сварены 62 образца, из которых 48 образцов были подготовлены для испытания на растяжение. При испытании на растяжении определили прочностные характеристики и деформационные характеристики : предела текучести R_e , прочность на разрыв R_m , относительное удлинение при разрыве A и модуль упругости E . Результаты экспериментов были сопоставлены друг с другом, были выбраны образцы соответствующие прочности. Прочность на разрыв $AlSi1MgMn$ сплава (6082) в состоянии T6 260 до 310 МПа, сплав $AlMg4,5Mn0,7$ (5083) в состоянии H111 245-275 МПа. Эти значения получаются из комплектов образцов JB29 (5083) и JB35 и JB36 (6082). Поэтому рекомендуется, продолжать работать с образцами JB29 (5083) и JB35 и JB36 (6082).