

**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.т.н., проф. Батырканов Ж.И.

«_____» _____ 2015г.

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

«Организационно-технологическое проектирование производственных систем»

Начальник отдела

к.т.н., доцент

Боскебеев К.Дж.

Руководитель по НИР

к.т.н., доцент

Трегубов А.В.

Бишкек 2015

Список исполнителей

Омуралиев У.К. к.т.н. проф.	общее научное руководство, редактирование отчета
Трегубов А.В. к.т.н., доцент, зав. кафедрой,	научный руководитель, написание 1 раздела отчета,
Сартов Т.Э., к.т.н., доцент	написание 2 раздела отчета,
Самсонов В.А. к.т.н., профессор	написание 3 раздела отчета
Сапрыкин Ю.В. проф., к.т.н.	написание 4 раздела отчета
Рагрин Н.А. д.т.н., доцент	написание 5 раздела отчета
Жумалиев Ж.М. доцент	написание 6 раздела отчета
Стародубов И.И. к.т.н., доцент	написание 7 раздела отчета
Сопоев М.К. ст. преподаватель	написание 8 раздела отчета
Айнабекова А.А. ст. преподаватель	написание 9 раздела отчета
Мамбеталиев Т.С. к.т.н. доцент	написание 10 раздела отчета
Тутлис В.П. проф., к.т.н.	написание 11 раздела отчета
Рыспаев Т.А. проф. хабил. д.т.н.	написание 12 раздела отчета
Аракеев М.У. ст. преподаватель	написание 13 раздела отчета
Белекова Ж.Ш. аспирант	написание 14 раздела отчета
Биджиева О.А. ст. специалист	оформление и редактирование отчета

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЁСТКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ	8
2. 3D ПЕЧАТЬ ИЛИ ОБЪЁМНОЕ ПРОИЗВОДСТВО.....	18
3. АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ СВЕРЛЕНИЕМ НА СТАНКАХ С ЧПУ	30
4. О КОРРЕКТНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ПРИ СОВМЕЩЕННОМ ОСЕВОМ И ВНЕЦЕНТРЕННОМ РАСТЯЖЕНИИ КОМПАКТНЫХ ОБРАЗОВ.....	36
5. РАЗРАБОТКА СТАТИСТИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТНОЙ МОДЕЛИ СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ПРОИЗВОДСТВА.....	44
6. КАТОДНЫЕ УЗЛЫ В ПЛАЗМОТРОНАХ И СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О КАТОДНЫХ ЯВЛЕНИЯХ.....	51
7. РАЗРАБОТКА КЛАССИФИКАЦИИ ОТКАЗОВ, ПРИЧИН, ВИДОВ И КРИТЕРИЕВ ОТКАЗОВ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ.....	60
8. СТАБИЛИЗАЦИЯ РАЗМЕРОВ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	66
9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ЗАТОЧКИ СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ НА ИХ СТОЙКОСТЬ	77
10. ПРОЦЕССЫ В ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ СПОСОБАХ УПЛОТНЕНИЯ	87
11. МОДУЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ.....	99
12. ЭКСТРУЗИЯ (ГОРЯЧЕЕ ПРЕССОВАНИЕ).....	113
13. КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА МЕХАНИЧЕСКОГО МОЛОТА НА ОСНОВЕ МПС С ГИДРОПРИВОДОМ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ.....	121
14. ТЕХНОЛОГИЯ СОЕДИНЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ СВАРКОЙ С МАЛОЙ ТЕПЛОТОЙ	130
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	137
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	141

Реферат

Отчет содержит текст на **149** стр., **56** иллюстраций и **97** 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

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

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.

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,

обусловливающей 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 большой 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. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЁСТКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

При обработке на металлорежущих станках погрешность формы и частота поверхности детали зависит от многих факторов. Наиболее существенное влияние на размеры обрабатываемой детали оказывают звенья упругой технологической системы станок-приспособление-инструмент-деталь (СПИД), в которой под влиянием силы резания в процессе обработки детали возникают упругие деформации. Эти деформации изменяют расстояние между режущей кромкой инструмента и обрабатываемой поверхностью (y) (рис.1.1).

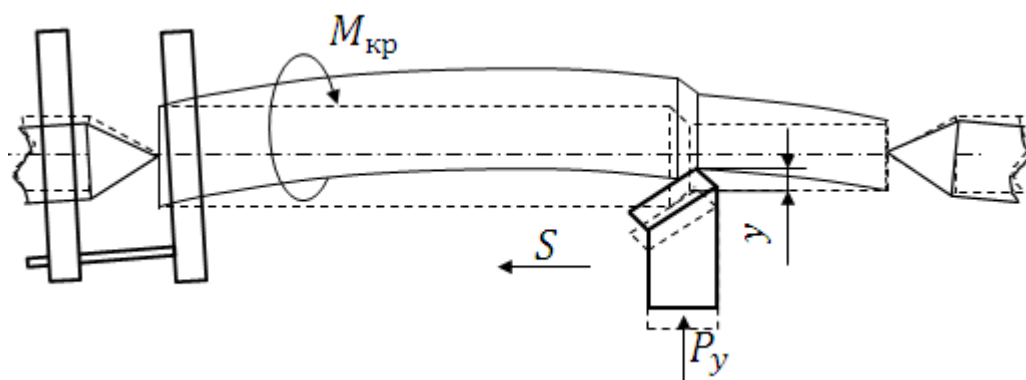


Рис.1.1 Погрешности, возникающие вследствие упругих деформаций технологической системы: P_y – радиальная составляющая силы резания; S – подача режущего инструмента; y – смещение режущей кромки инструмента.

Погрешности обработки, возникающие в результате упругих деформаций технологической системы, зачастую составляют 80% от суммарной погрешности обработки. [1]

Общая деформация технологической системы складывается из деформаций отдельных составляющих системы, подвижных узлов станка, контактных деформаций стыковых поверхностей и деталей.

Величина деформации прямо пропорциональна по направлению к действующим внешним силам и как следствие вызывают изменение взаимного расположения режущего инструмента и обрабатываемой заготовки, что приводит к погрешности обработки детали.

Способность технологической системы оказывать сопротивление действию внешних сил характеризует её жёсткость, в данной работе, которая определяется двумя методами – статическим методом на неработающем станке и производственным, т. е. под нагрузкой работающего станка.

Определение жёсткости статическим методом

Статический метод заключается в постепенном увеличении нагружаемой силы на технологическую систему (рис.1.2) с одновременным измерением возникающих при этом её деформаций.

Перемещения узлов станка измеряются в направлении силы P_y , нормальной к обрабатываемой поверхности, так как эти перемещения имеют основное значение. Разгрузку системы производят так же ступенчато с измерением перемещений.

Экспериментальная установка при исследовании деформации технологической системы состоит из токарного станка 1К62, детали 1 (рис.1.2), установленной на токарном станке в центрах 3, динамометра 2 и трёх индикаторов 4, показывающих отклонения отдельных узлов станка при увеличении приложенной нагрузки в направлении P_y на технологическую систему.

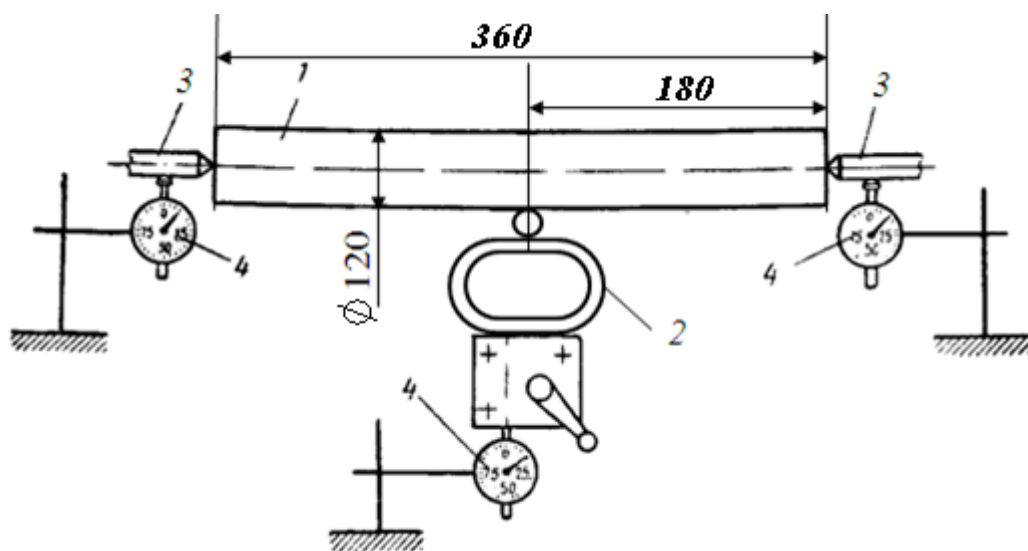


Рис.1.2 Схема экспериментальной установки для измерения жесткости токарного станка: 1 – заготовка; 2 – динамометр; 3 – центры; 4 – индикаторы.

Жёсткость станка определяется из выражения:

$$j = P_y / y ,$$

где: j – жесткость токарного станка; P_y – радиальная сила резания;

y – смещение режущей кромки резца, относительно обрабатываемой детали.

Для проведения эксперимента применяется круглая заготовка диаметром $D = 120$ мм и длиной $L = 360$ мм. Замеры перемещений проводились с помощью индикаторов часового типа в трех точках: передняя бабка, задняя бабка и суппорт. Сила прикладывается в точке $\frac{1}{2}l$ по длине заготовки с помощью динамометра ДОС-3тс в диапазоне от 0 до 300 кг с шагом увеличения нагрузки по 50кг [2].

Используя известную формулу[1], определим жесткость токарного станка j_{cm}

$$j_{cm} = j_c + \frac{j_{пб} + j_{зб}}{4}$$

В технологии машиностроения применяется и обратная величина жесткости – податливость станка, которая определяется следующей формулой:

$$W_{cm} = \frac{1}{j_{cm}}$$

Общий вид экспериментальной установки показан на рис.1.3.

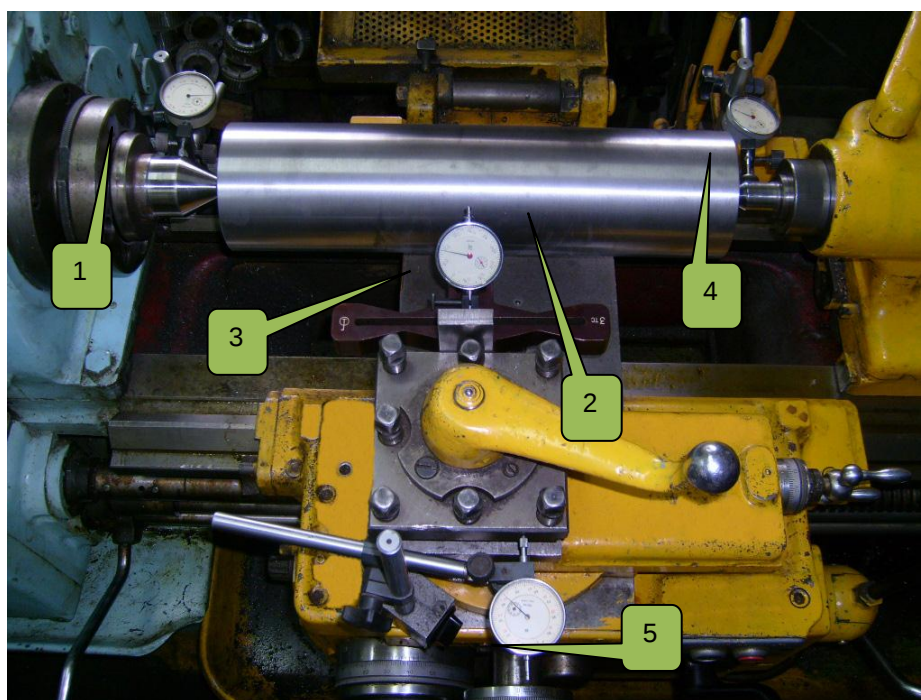


Рис.1.3 Общий вид экспериментальной установки

1 – отклонение передней бабки; 2 – деталь; 3 – динамометр ДОС-3тс; 4 – отклонение задней бабки; 5 –отклонение резцедержателя.

Обработка валика выполнялась на следующих режимах резания: $V = 80$ м/мин; $n = 500$ об/мин; $S = 0,11$ мм/об; $t = 1$ мм.

Режущий инструмент – проходной резец Т15К6:

Передний угол $\gamma = 0^\circ$;

Задний угол $\alpha = 10^\circ$;

Главный угол в плане $\varphi = 45^0$;

Вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 10^0$

Угол наклона главной режущей кромки $\lambda = 0^0$;

Радиус закругления вершины резцар – 1 мм.;

Вылет резца из динамометра $l = 20$ мм.;

Перепад диаметров ступеней валика = 2,5 мм;

Материал валика – Сталь 45 ГОСТ 1050-93.

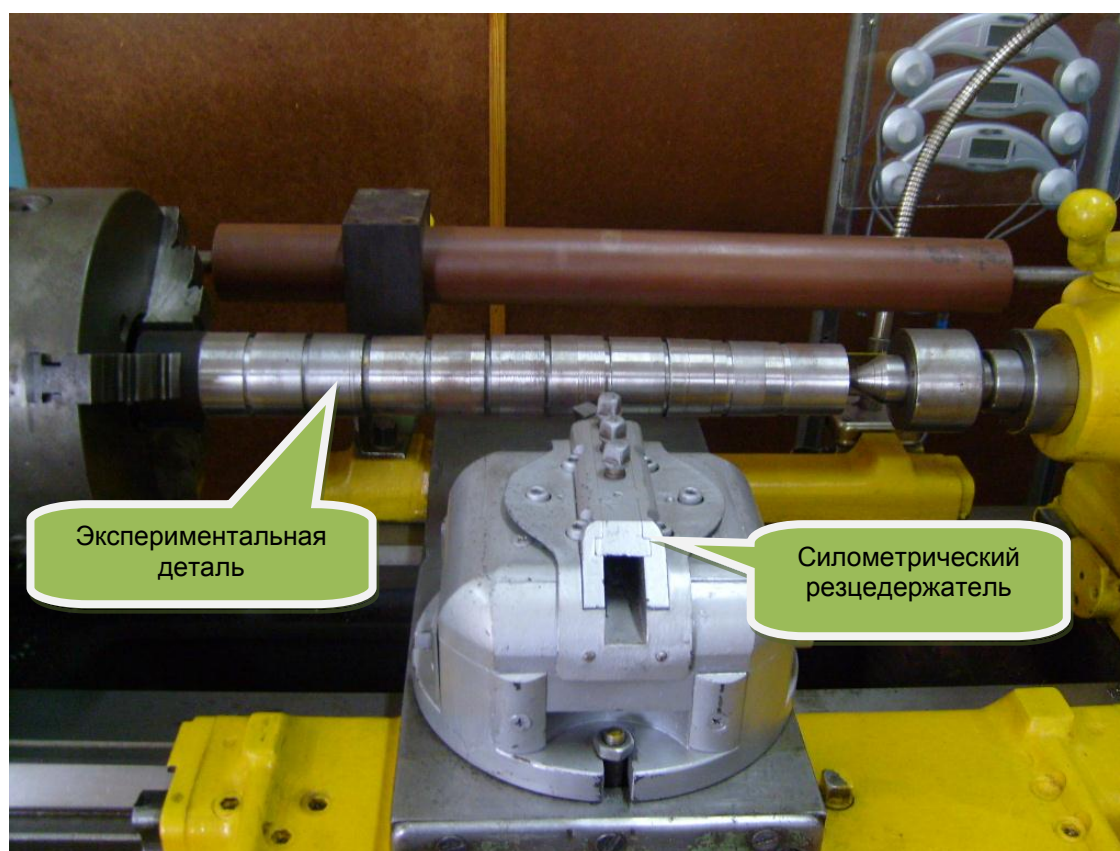


Рис. 1.4 Общий вид экспериментальной установки

Методика проведения эксперимента на экспериментальном стенде.

Установленную в станке заготовку подготавливают к измерениям, предварительно протачивая получистовым режимом. По схеме 1.2 выставляются измерительные приборы (индикаторы) и механический динамометр рис.1.3. Всей длине измеряемого вала выбирают несколько точек через равный интервал, в нашем случае выбрано 5 рис.1.5. Точка крепления вала к патрону станка является - 1, точка

крепления в центрах - 2, а точку приложения силы (эквивалент силы резания P_y) – 3. Весь этап проведения экспериментов делиться на 5 частей, так как имеем пять точек, к которым прилагается силы от 50Н до 300Н с интервалом 50Н. При замере на каждом этапе (в точках) показания измерительных приборов записываются в таблицы, по которым строятся графики зависимостей упругих перемещений от сил.

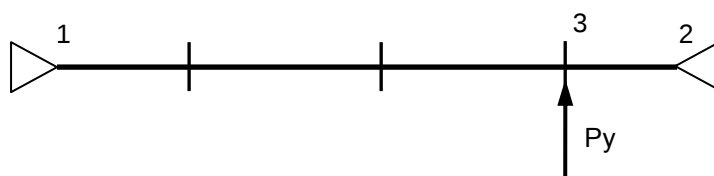


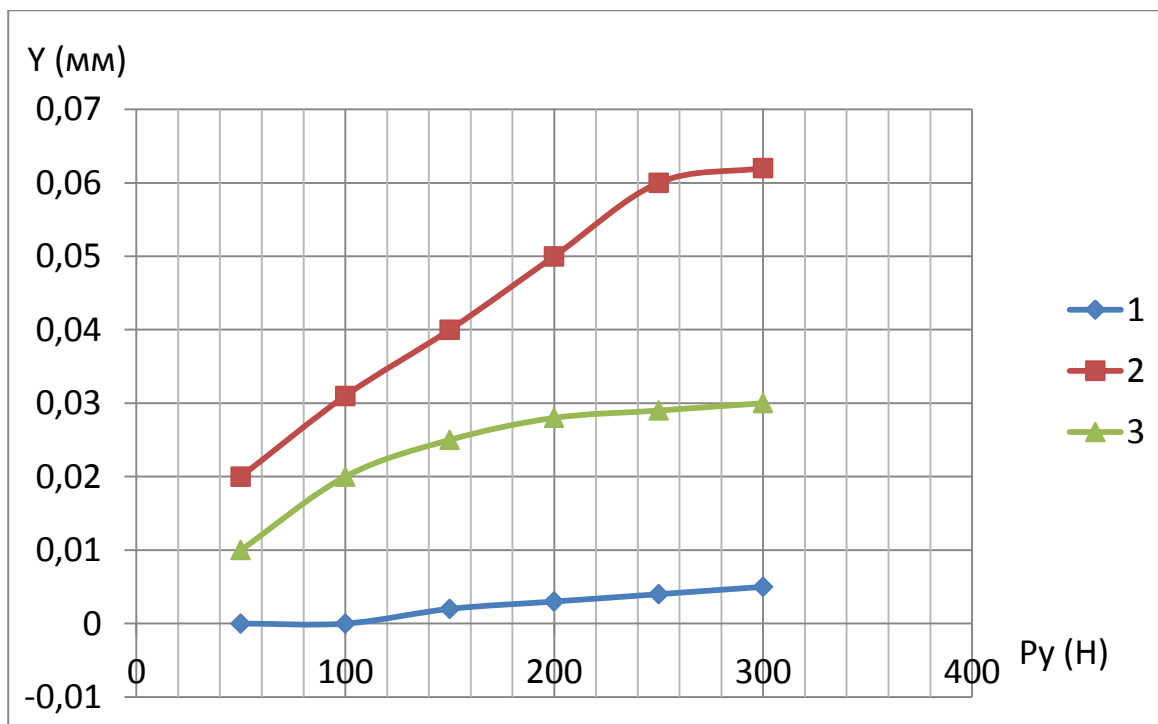
Рис. 1.5 Схема точек измерения

Этап №1

Таблица 1.1.

P_y	y_1	y_2	Y
Н	мм	мм	мм
50	0	0,02	0,01
100	0	0,031	0,02
150	0,002	0,04	0,025
200	0,003	0,05	0,028
250	0,004	0,06	0,029
300	0,005	0,062	0,03

Из таблицы 1.1. построим график зависимостей рис. 1.6.

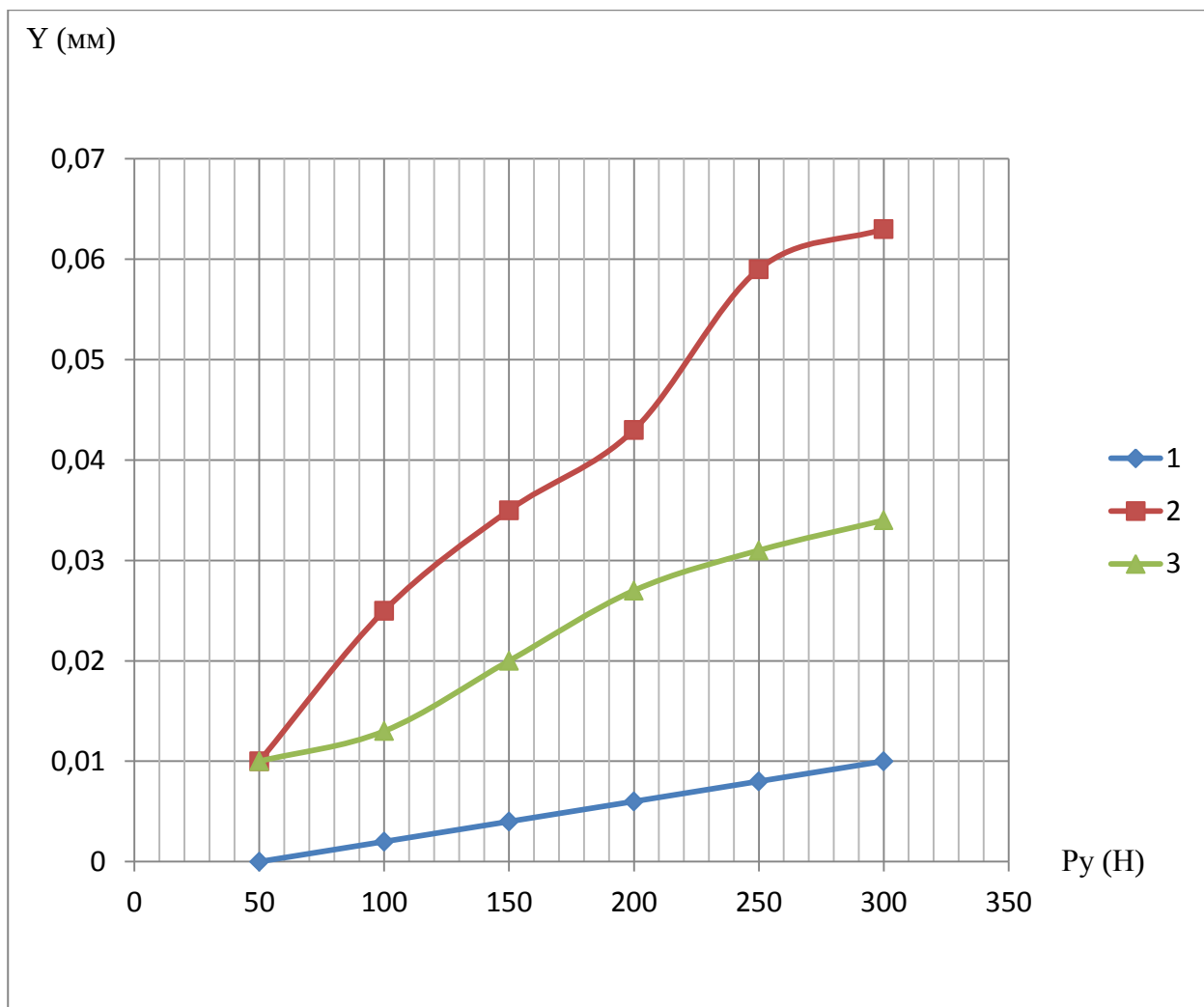


Этап №2

Таблица 1.2.

P_y	y_1	y_2	Y
Н	мм	мм	мм
50	0	0,01	0,01
100	0,002	0,025	0,013
150	0,004	0,035	0,02
200	0,006	0,043	0,027
250	0,008	0,059	0,031
300	0,01	0,063	0,034

Из таблицы 1.2. построим график зависимостей рис.1.7.

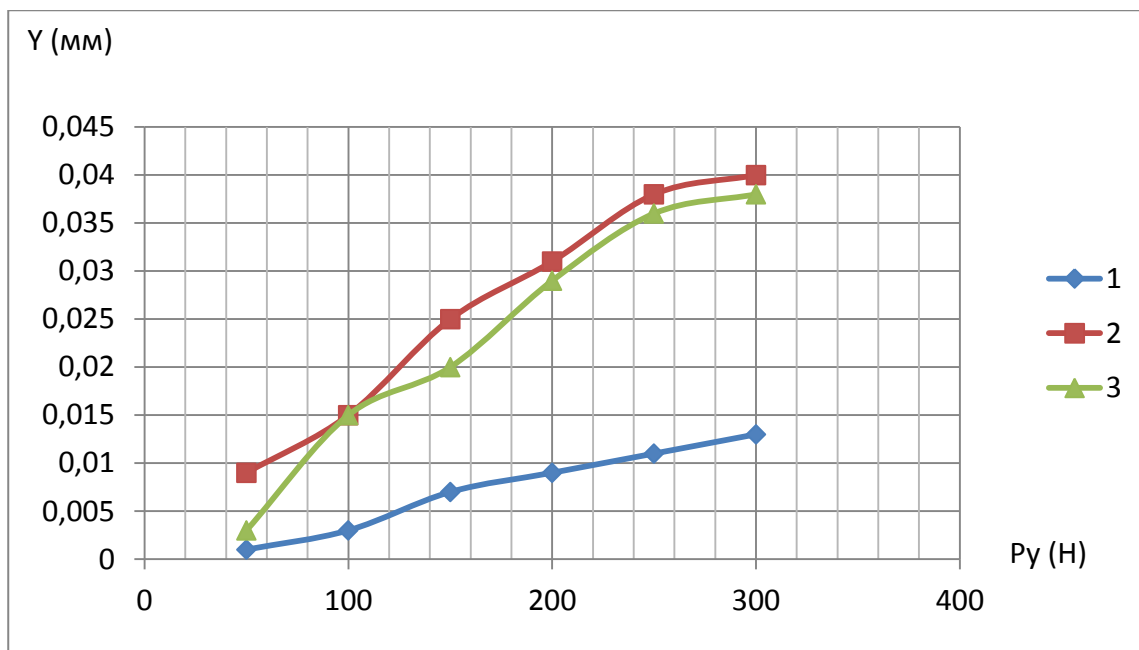


Этап №3

Таблица 1.3.

P_y	y_1	y_2	Y
Н	мм	мм	мм
50	0,001	0,009	0,003
100	0,003	0,015	0,015
150	0,007	0,025	0,02
200	0,009	0,031	0,029
250	0,011	0,038	0,036
300	0,013	0,04	0,038

Из таблицы 1.3. построим график зависимостей рис. 1.8.

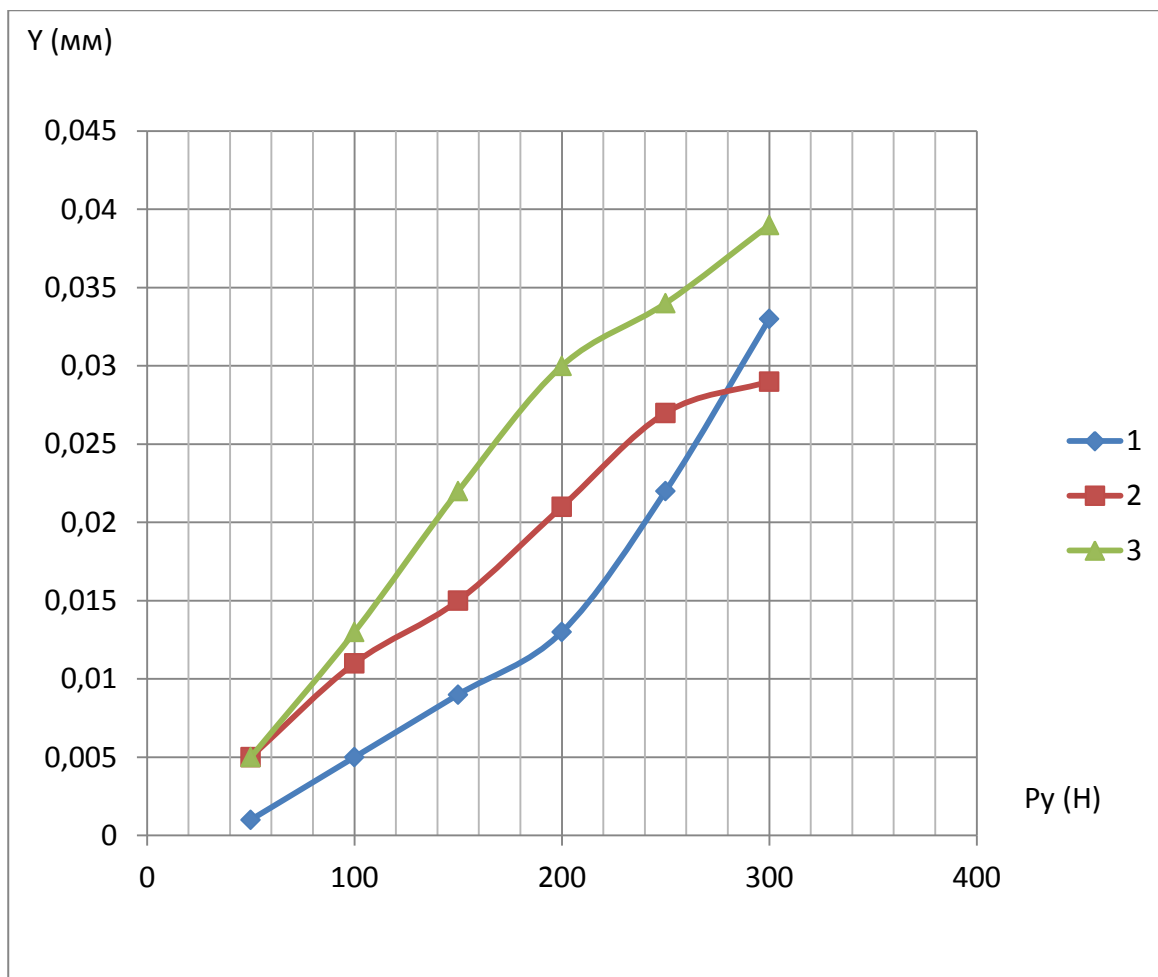


Этап №4

Таблица 1.4.

P_y	y_1	y_2	Y
H	мм	мм	мм
50	0,001	0,005	0,005
100	0,005	0,011	0,013
150	0,009	0,015	0,022
200	0,013	0,021	0,03
250	0,022	0,027	0,034
300	0,033	0,029	0,039

Из таблицы 1.4. построим график зависимостей рис.1.9.

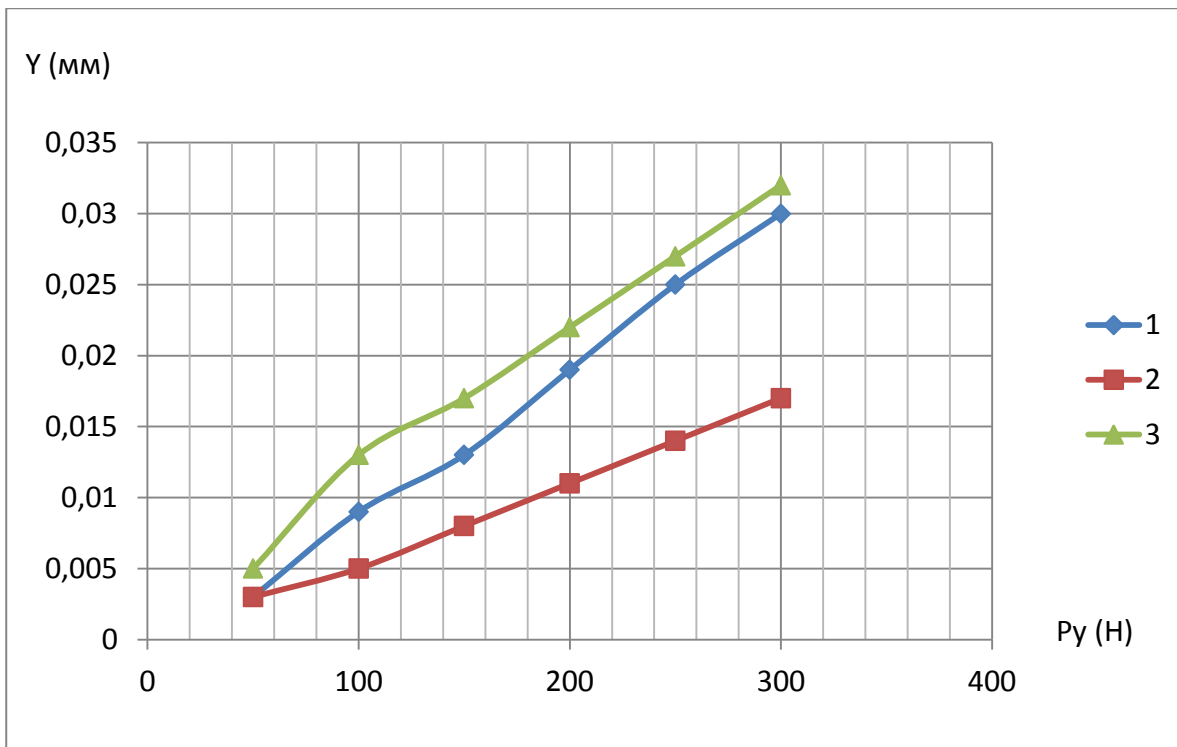


Этап №5

Таблица 1.5

Py	y1	y2	Y
H	мм	мм	мм
50	0,003	0,003	0,005
100	0,009	0,005	0,013
150	0,013	0,008	0,017
200	0,019	0,011	0,022
250	0,025	0,014	0,027
300	0,03	0,017	0,032

Из таблицы 1.5. построим график зависимостей рис.1.10.



Выводы:

1. Из полученных данных видно, что зависимость Y от P_y линейна, но имеет не равную величину в точках измерения из-за разных величин жесткости закрепляющих устройств станка и типа ее закрепления (консольно или в центрах). В месте крепления детали к кулачковому патрону упругое смещение минимальна, а в максимально отдаленной точке от опор она максимальна.
2. Полученные данные могут быть использованы при разработке аналогичных систем, а также при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Основы технологии машиностроения».

2. 3D ПЕЧАТЬ ИЛИ ОБЪЁМНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Введение

3D печать или объёмное производство есть процесс изготовления твёрдого объекта в трёхмерном пространстве из цифрового макета. Построение печатаемого в трехмерном пространстве объекта достигается посредством использования аддитивных процессов. В аддитивном процессе объект создаётся установкой последовательных слоёв материала, пока не будет построен весь объект. Каждый из этих слоев может рассматриваться как тонкий срез конечного объекта в горизонтальном поперечном сечении.

Началом процесса является подготовка виртуального проекта объекта, который вы хотите создать. Этот виртуальный проект выполняется в файле CAD (системы автоматизированного проектирования) с помощью программ 3D-моделирования (для создания совершенно нового объекта) или с использованием 3D-сканера (для копирования существующего объекта). 3D-сканер делает цифровую 3D-копию объекта. 3D-сканеры используют различные методы построения 3D-модели, такие как пролётное время, модулированное/структурированное световое излучение, объёмное сканирование и многие другие. Недавно компании, как Microsoft и Google включились в представление своего оборудования для 3d-сканирования, ярким примером является - Microsoft Kinect. Это явный признак того, что будущие портативные устройства, такие как смартфоны, будут иметь встроенные 3d-сканеры. Оцифровка реальных объектов в 3d-модели будет настолько лёгкой, как обычное фотографирование. Цены на 3d-сканеры варьируются от очень дорогих профессиональных промышленных устройств до 30-ти долларовых любительских устройств, которыми сможет пользоваться любой человек в домашних условиях.

Для подготовки цифрового файла к печати, «слои» программного обеспечения 3D-моделирования окончательной модели наслаиваются в сотни и тысячи горизонтальных слоёв. Когда файлы слоёв загружаются в 3D-принтер, объект может создаваться слой за слоем. 3D-принтер считывает каждый слой (или 2D-

изображение) и строит в результате трёхмерный объект, смешивая каждый слой с едва заметным следом предыдущих слоёв. Не все 3D-принтеры используют такую технологию. Существует несколько способов печати и все эти доступные методы являются аддитивными, отличающимися в основном способами наслоения, используемыми для построения окончательного объекта. Некоторые методы используют плавление или размягчение материала для производства слоёв. Методы селективного лазерного спекания (SLS) и моделирование плавленого осаждения (FDM) являются наиболее распространёнными технологиями, использующими этот способ печати. Другим способом печати является метод отвердевания фотореактивной смолы ультрафиолетовым лазером или другим подобным излучателем мощности по одному слою за один раз. Наиболее распространённая технология, использующая этот метод, называется стереолитография (SLA).

История

В истории производства, субтрактивные методы (для получения детали от заготовки удаляют все «лишнее») зачастую имеют приоритет. Область машинной обработки (создающей высокоточные формы) была в общем субтрактивным делом, от простого точения до фрезерования и шлифования.

Первые применения аддитивного производства стали периодом окончания широкого использования механообработки в спектре производства. Например, быстрое прототипирование было одним из самых ранних аддитивных вариантов и его миссия заключалась в том, чтобы уменьшить время выполнения и стоимость разработки прототипов новых частей и устройств, что выполнялось ранее только субтрактивными методами механообработки (как правило, медленно и дорого). С развитием технологий аддитивные методы движутся все дальше внутрь конечного продукта производства. Части детали, которые ранее могли быть изготовлены только с помощью субтрактивных методов, могут быть теперь более выгодно изготовлены с помощью аддитивных методов.

Тем не менее, реальная интеграция новых технологий в промышленного производства по существу дела дополняют субтрактивные методы, а не полностью вытесняют их.

Классификация методов 3D-печати

Для более точного разделения аддитивных методов 2010 г., группа "ASTMF42-Аддитивное Производство" Американского общества по испытанию материалов (ASTM), разработала набор стандартов, которые классифицируют аддитивные производственные процессы на 7 категорий в соответствии со терминологией для аддитивных производственных технологий. Эти 7 процессов следующие:

1. Объёмная фотополимеризация
2. Разбрызгивание материала
3. Разбрызгивание связующего вещества
4. Экструзия материала
5. Расплавление материала в сформированном слое
6. Нанесение слоями
7. Осаждение материала направленным энергетическим действием

Объёмная фотополимеризация

3D-принтер, основанный на методе объёмной фотополимеризации, имеет контейнер, наполненный фотополимерной смолой, которая в последующем затвердевает под действием источника ультрафиолетового света.

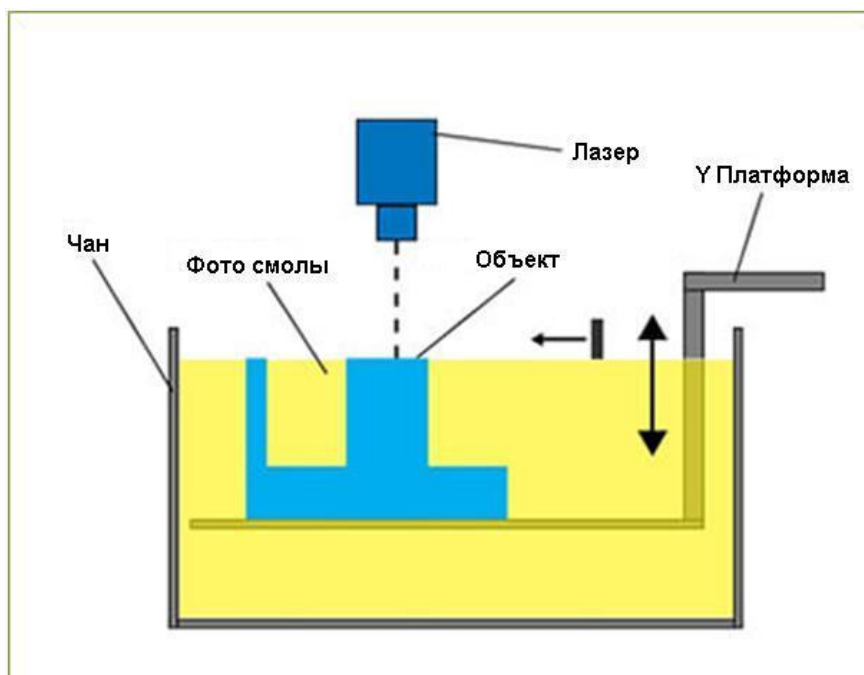


Рис. 2.1. Схема объёмной фотополимеризации.

Наиболее часто используемой технологией в этом процессе является стереолитография (SLA). Она использует объём жидкой фотополимерной смолы, которая затвердевает под действием ультрафиолета, и ультрафиолетовый лазер для одномоментного построения слоев объекта. Для каждого слоя лазерный луч отслеживает поперечное сечение сборной модели на поверхности жидкой смолы. Действие ультрафиолетового лазерного света вызывает отверждение смолы по траектории луча и соединение нового слоя с нижним.

После того, как отпечаток проложен, платформа SLA лифта опускается на расстояние, равное толщине одного слоя, обычно от 0,05 мм до 0,15 мм. Затем заполненная смолой лопатка проводится над всей поверхностью поперечного сечения детали для повторного покрытия её свежим материалом. На этой новой поверхности жидкости последующий слой детали отслеживается и соединяется с предыдущим слоем. Полный трехмерный объект формируется в рамках данного проекта. Стереолитография требует использования опорных элементов, которые служат для крепления детали к платформе лифта и удерживания объекта, плавающего в бассейне, заполненном жидкой смолой. Они удаляются вручную после завершения изготовления объекта. Этот метод был изобретен в 1986 году Чарльзом Халлом, который в то же время основал компанию 3D Systems. Другие технологии, использующие объёмную фотополимеризацию, - новое сверхбыстрое ContinuousLiquidInterfaceProductionCLIP и ограниченно применяемые старые FilmTransferImaging и SolidGroundCuring.

Разбрызгивание материала

В этом процессе материал используется в виде капелек, проходящих через сопло малого диаметра, создавая трехмерный объект послойно на платформе. Затем с помощью ультрафиолетового света происходит его затвердевание.

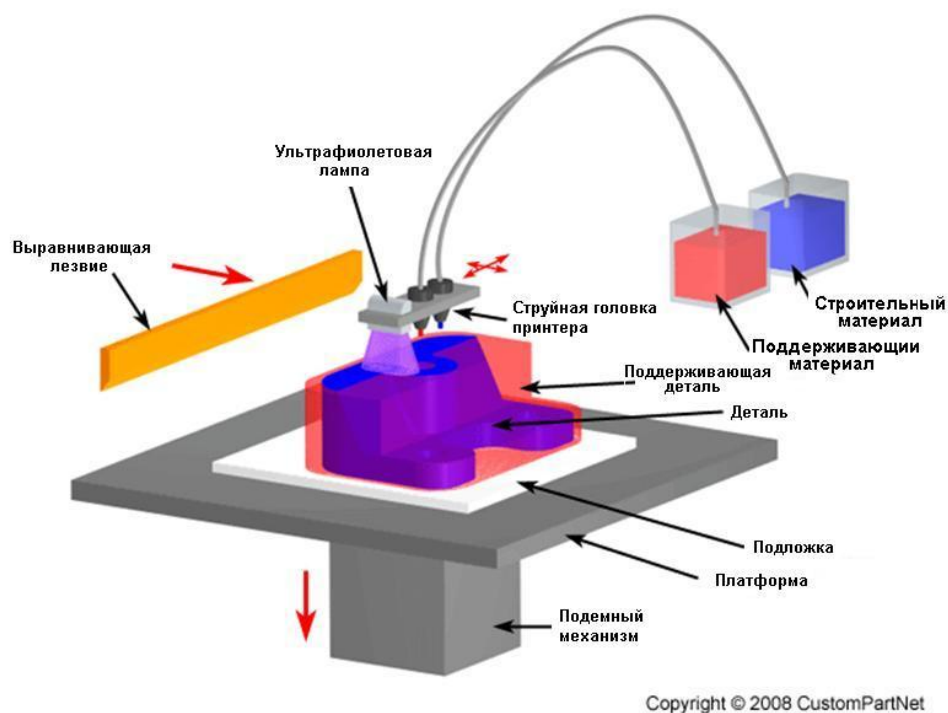


Рис. 2.2. Схема разбрызгивания материала

Разбрызгивание связующего вещества

В этом способе применяются 2 материала: базовый порошок и связующая жидкость. В камере построения порошок распыляется в равномерных слоях, а вяжущая жидкость струится через сопла, которая склеивает частицы порошка в форме запрограммированного трехмерного объекта. Готовый объект, склеенный вяжущей жидкостью, остается в контейнере с базовым порошковым материалом. После завершения печати, оставшийся порошок счищается и используется для 3D-печати следующего объекта. Эта технология впервые была разработана в Массачусетском технологическом институте в 1993 году, а в 1995 году Z Corporation стал обладателем эксклюзивной лицензии.

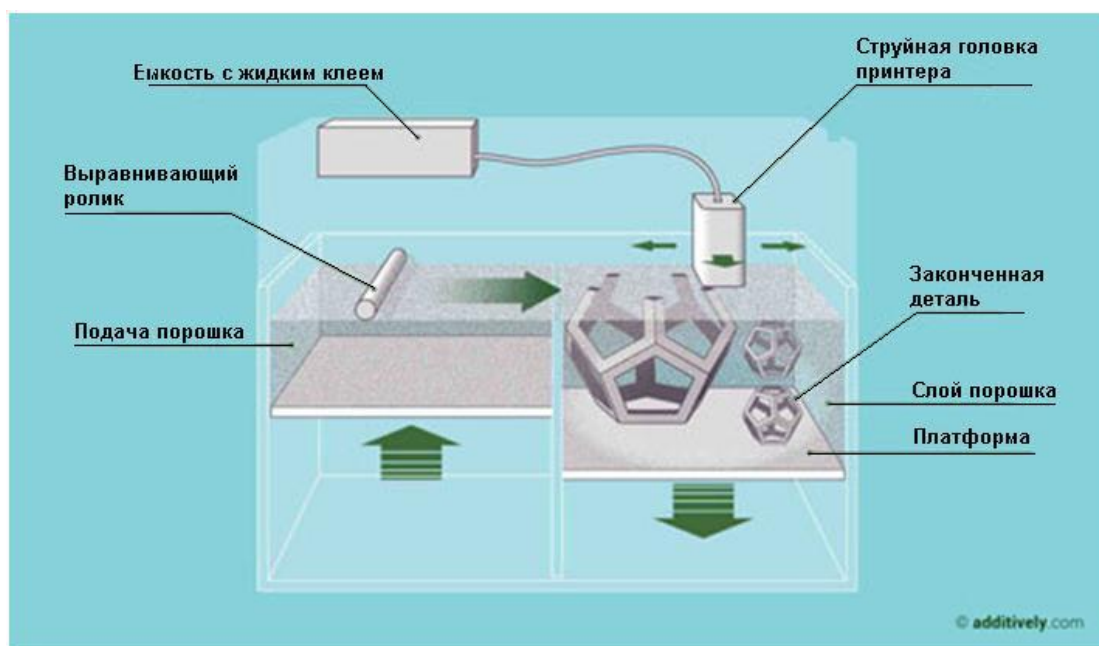


Рис. 2.3. Схема технологии струйной 3D-печати разбрызгиванием вязущей жидкости.

Экструзия материала

Наиболее часто используемой технологией в этом процессе является моделирование плавным осаждением (FDM - Fuseddepositionmodeling).

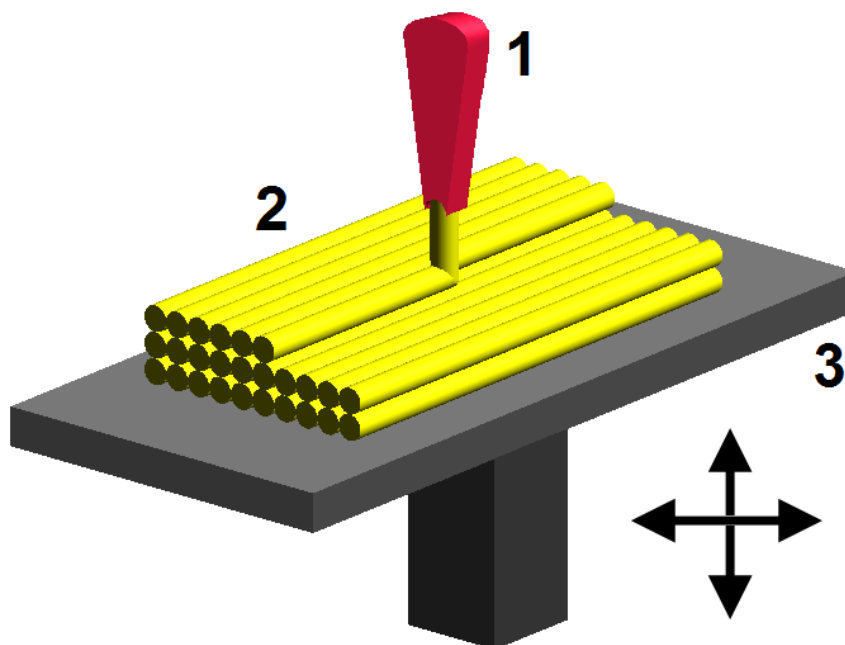


Рис. 2.4. Моделирование плавным осаждением (FDM), метод быстрого прототипирования: 1 – сопло эжекции расплавленного материала (пластика), 2 — сохраняемый материал (смоделированная часть), 3 – управляемый подвижный стол.

FDM технология работает, используя пластиковую нить или металлический

провод, который разматывается с катушки и подаёт материал для экструзии сопла, включающий и выключающий поток. Насадка нагревается для плавления материала и может перемещаться в горизонтальном и вертикальном направлениях механизмом с ЧПУ (числовым программным управлением) с непосредственным управлением с помощью пакета программ системы автоматизированного производства (CAM). Объект строится путем выдавливания расплавленного материала по форме слоёв, так как материал твердеет сразу после экструзии из сопла. Эта технология наиболее широко использует два типа пластиковых волокнистых материала: ABS (акрилонитрил бутадиен стирол) и PLA (полилактидная кислота), но также многие другие материалы, подходящие по диапазону свойств, таких как проводимость, гибкость и т.д.

FDM изобрел Скотт Крамп в конце 80-х. После патентования этой технологии он основал компанию Stratasys в 1988 году. Программное обеспечение, поставляемое с этой технологией, при необходимости автоматически генерирует структуру поддержки. Машина распределяет два материала - один для модели и один для разовой поддерживающей системы. Термин моделирование плавленого осаждения и его аббревиатура FDM являются торговой маркой компании Stratasys Inc.

Расплавление материала в сформированном слое

Наиболее часто используемой технологией в этом процессе является селективное лазерное спекание Selective laser sintering (SLS).

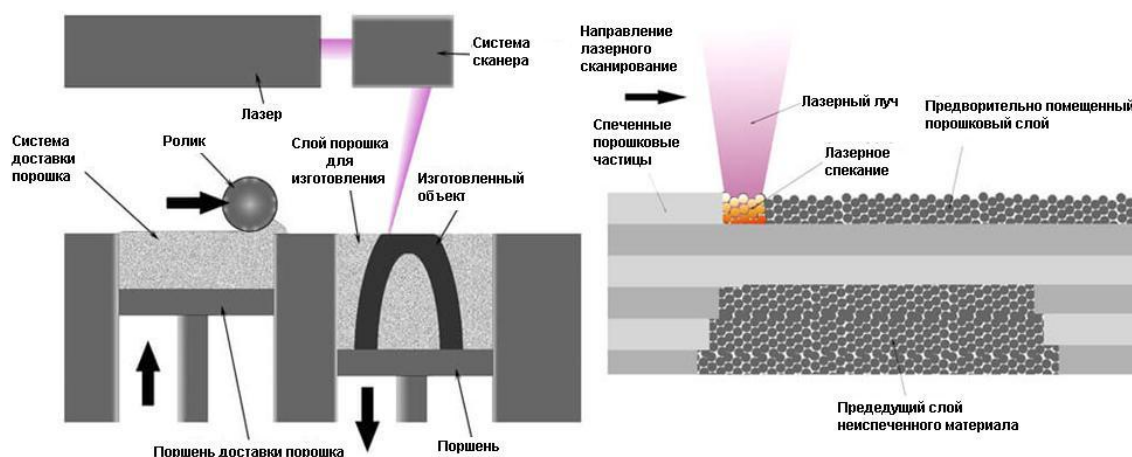


Рис. 2.5. Схема SLS системы.

Эта технология использует лазер высокой мощности, чтобы сплавить мелкие частицы пластмассовых, металлических, керамических или стеклянных порошков в массу, которая обладает требуемой трехмерной формой. Лазерный луч избирательно расплавляет порошкообразный материал путем сканирования сечений (или слоёв), генерируемых программой 3D-моделирования на поверхности порошкового слоя. После каждого сканирования поперечного сечения слой порошка опускается на одну толщину слоя. Затем сверху наносится новый слой материала, и процесс повторяется, пока объект не будет полностью изготовлен.

Весь остаток неиспользованного порошка сохраняется и служит поддерживающей объект структурой. Поэтому нет никакой необходимости в опорной конструкции, что является преимуществом SLS по сравнению с SLA. Весь неостребованный порошок может быть использован для следующей печати. SLS была разработана и запатентована Карлом Декард в Университете Техаса в середине 1980-х.

Нанесение слоями (листовое ламинирование)

Листовое ламинирование содержит материал в листах, слипающихся под внешним воздействием. Листы могут быть из металла, бумаги или видов полимера. Металлические листы свариваются вместе ультразвуковой сваркой слоями, а затем обрабатываются станками с ЧПУ до получения нужной формы. Также могут быть использованы бумажные листы, которые склеены адгезивным клеем и вырезаны по форме точными лезвиями. Ведущей компанией в этой области является McorTechnologies.

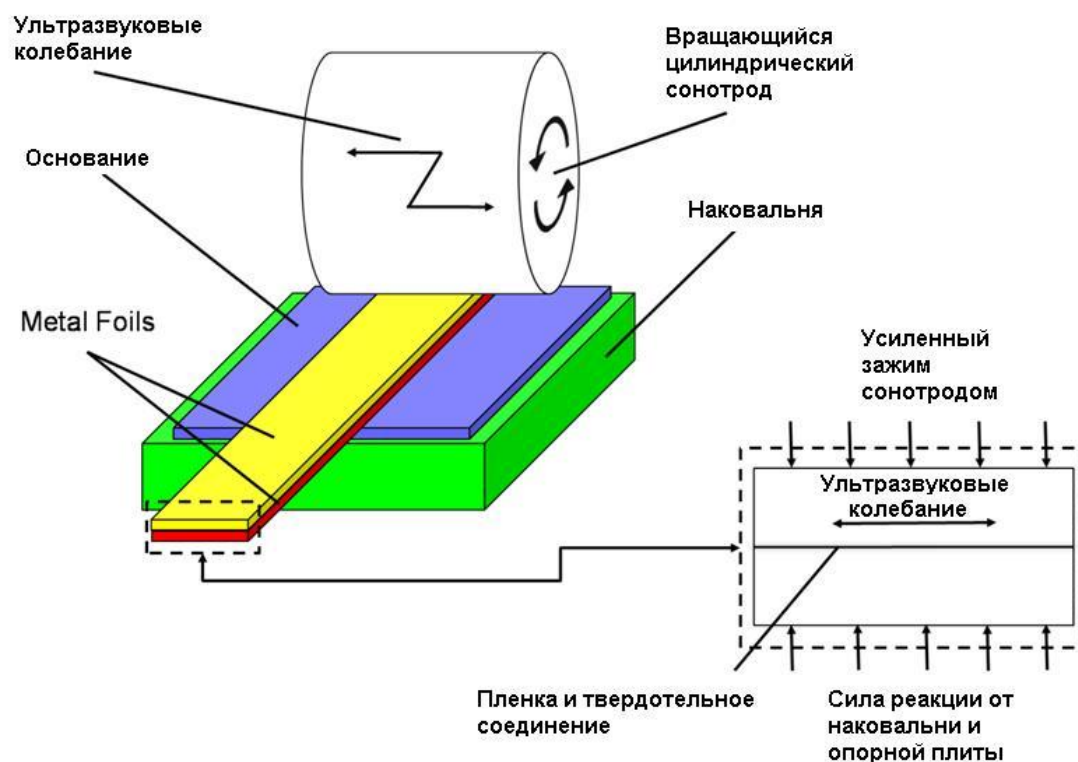


Рис. 2.6. Упрощенная модель ультразвуковой 3D-печати листового металла.

Осаждение материала направленным энергетическим действием

Этот процесс в основном используется в высокотехнологичной металлообрабатывающей промышленности и в сферах быстрого производства. Печатающее устройство 3D обычно закреплено на многокоординатном роботизированном манипуляторе и содержит сопло, которое осаждает металлический порошок или провод на поверхность, и источник энергии (лазер, электронный пучок или плазменная дуга) затем плавит его, образуя твердый объект.

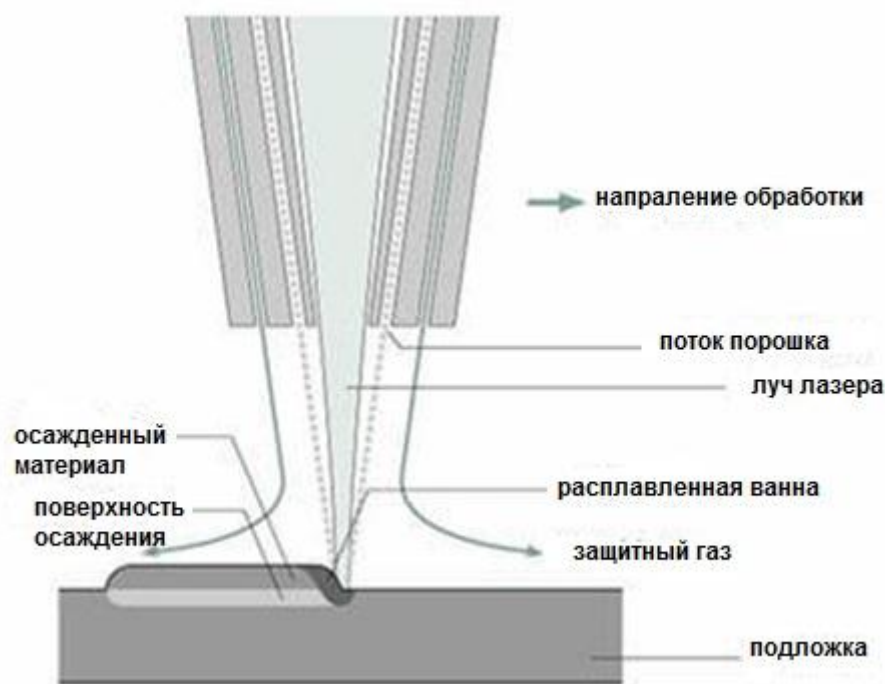


Рис.2.7. Направленное энергетическое осаждение металлического порошка с лазерной плавкой.

Компания Sciaky является основной технической компанией в этой области

Область применения 3D-печати

Области применения включают в себя:

- быстрое прототипирование;
- изготовление форм для литья металлов;
- масштабные архитектурные модели и макеты;
- здравоохранение (3d печатное протезирование и печать человеческой ткани);
- развлечения (например, кинорежиссеры).

Во всем мире индустрия 3D-печати, как ожидается, вырастет с \$ 3.07 млрд прибыли в 2013 году до \$ 12.8 млрд в 2018 году и превысит \$ 21 млрд в мировом доходе 2020 года. По мере развития технологии 3D-печати предстоит в будущем преобразование почти всех основных отраслей промышленности и изменение способов нашей жизнедеятельности, работы (WohlersReport 2015). Основными отраслями производства где начались активное использование этой технологии

стали медицинская промышленность, авиастроение, архитектура и строительство, автомобильная промышленность и т.д.

Использование 3D-печати в медицинских целях развивается чрезвычайно быстрыми темпами. Пациенты во всем мире ощущают улучшение качества медицинской помощи посредством 3D-печатного имплантирования и протезирования, невиданных никогда ранее. До 2000 года технология 3D-печати изучалась биотехнологическими фирмами и научными кругами для возможного использования в инженерных целях, где органы и части тела создавались с помощью струйной техники. Слои живых клеток осаждают на гелевую среду и медленно возводят форму трехмерных структур.

Рост использования 3D-печати в аэрокосмической и авиационной промышленности явилось, в значительной степени, следствием развития производства металлических присадок.

[NASA](#), например, печатает камеры сгорания лайнеров, используя селективное лазерное плавление, так в марте 2015-го ФАА выставляет на продажу первую часть реактивного двигателя GE Aviation, созданного по технологии 3D-печати: спечённый лазером корпус датчика температуры на входе компрессора.

Хотя автомобильная промышленность была в числе первых адептов 3D-печати, десятилетия технология 3d-печати использовалась на низких объемах прототипирования. В настоящее время использование 3D-печати в автомобилестроении развивается от относительно простых концептуальных моделей для подгонки и финишной проверки и дизайнерской верификации до функциональных узлов, которые применяются в тесте автомобилей, двигателей и платформ. Ожидают, что 3D-печать в автомобильной промышленности будет давать комбинированный доход \$ 1,1 млрд к 2019 году.

В последние пару лет термин 3D-печати стал более известным, и технология стала более доступной для широкой общественности. Тем не менее, большинство людей даже не слышали этого термина, в то время как технология используется уже в течение многих десятилетий. Производители давно используют эти принтеры особенно в процессе дизайн-проектирования для создания прототипов

традиционного производства и в научно-исследовательских целях. Использование 3D-принтеров для этих целей называется быстрым прототипированием. Сегодня быстрые 3D-принтеры можно купить за десятки тысяч долларов, что в конечном итоге даёт компании многократную экономию времени и денег в процессе прототипирования. Например, Nike использует 3D принтеры для создания разноцветных прототипов обуви. Раньше они тратили тысячи долларов на прототип и ждали недели для этого. Теперь это стоит лишь несколько сотен долларов и изменения могут быть осуществлены мгновенно на компьютере, а прототип напечатан в тот же день.

Кроме быстрого прототипирования, 3D-печать также используется для быстрого производства. Быстрое изготовление есть новый метод производства, где компании используют 3D-принтеры для мелкосерийного производства заказной продукции. В этом способе производства печатные объекты являются не прототипами, а актуальной продукцией конечного потребителя.

Персональная или домашняя 3D-печать, предназначенная в основном для любителей и энтузиастов, начала расти в 2011 году. Из-за быстрого развития этого нового рынка принтеры становятся всё дешевле и дешевле, типовые цены находятся в пределах \$ 250 - \$ 2500. Это делает 3D-принтеры всё более и более персональными.

3. АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ СВЕРЛЕНИЕМ НА СТАНКАХ С ЧПУ.

Повышение производительности и улучшение качества выпускаемых изделий является одним из важнейших направлений развития технологии машиностроения. Качество машиностроительной продукции во многом определяется точностью изготовления деталей на металлорежущих станках, в том числе на таком совершенном оборудовании, как станки ЧПУ.

В парке машиностроения страны перспективой до 2000 года предусматривается существенное увеличение удельного веса станков с ЧПУ и гибких производств на их основе при непрерывном повышении технического уровня этого оборудования. Выпуск каждые 1000 станков с ЧПУ позволяет в среднем высвободить около 5 тыс. станочников и заменить 4 тыс. обычных станков с ручным управлением. Высокая эффективность станков с ЧПУ может быть получена при условии рациональной организации их использования в сочетании с оптимальными условиями построения операций механической обработки резанием.

Одной из наиболее распространенных операций обработки отверстий в сплошном материале на станках с ЧПУ является сверление, в общем балансе режущего инструмента сверка составляют до 40%. Достижимая точность обработки отверстий обычными спиральными сверлами не превышает 12-14 квалитетов в точности и является функцией множества факторов сложного процесса механической обработки. Знание характера и причин возникающих при этом погрешностей позволяет целенаправленно управлять процессом обработки, разрабатывать технологические процессы и конструировать инструмент, обеспечивающий необходимую точность и производительность сверления отверстий. Точность и производительность сверлильной операции во многом определяет точность, производительность и себестоимость окончательно обработанной детали. В ряде случаев пути повышения точности при сверлении на обычных станках являются неприемлемыми для станков с ЧПУ и тем самым обуславливают необходимость поиска новых технических решений на основе всестороннего анализа процесса.

Особенности сверления отверстий на станках с ЧПУ

При обработке деталей на станках с ЧПУ, особые требования предъявляются к точности и качеству инструментов в том числе и сверл т.к. стоимость станкоминуты работы таких станков весьма высока. При условии высокой жесткости станка и правильно разработанной программы точность обработанной детали во многом определяется качеством инструмента, это в первую очередь – точность, надежность, быстросменность и взаимозаменяемость. Чем выше качество инструмента, тем больший экономический эффект можно получить от его использования на станке с ЧПУ, т.к. такой станок обеспечивает: большой съём металла в единицу времени, позволяет работать с увеличенными подачами, повышенная стоимость станка быстрее окупается. Отличительной особенностью сверления на станках с ЧПУ является бескондукторная обработка, существенно влияющая на точность направления оси отверстия и точность межцентровых расстояний. Повышение точности отверстия при сверлении по этим параметрам приводит к значительному снижению затрат на последующих технологических переходах обработки отверстия и повышению его точности [3].

При обработке отверстий на станках с ЧПУ важно обеспечить заданные пространственные отклонения, разбивку отверстия и положение его оси. На взаимное расположение системы отверстий влияет точность системы позиционирования. Станки с ЧПУ обладают более высокими возможностями, чем обычные универсальные станки, за счёт возможности координатных перемещений рабочих органов станка по программе. Это позволяет производить сверление по заданным координатам без разметки и применения кондукторов.

Известно, что точность при сверлении характеризуется:

- разбивкой отверстия (разносно диаметров отверстия и сверла);
- уводом оси отверстия (отклонением оси отверстия от заданного направления);
- погрешностью расположения оси отверстия относительно заданных координат.

Во многих работах [4,5,6,6,7,8,9,10,11,12 и др.] анализируются причины и

характер разбивки отверстия и увода его оси, однако однозначных решений вопроса пока нет. Тем не менее установлено, что как на разбивку так и на увод оси отверстия, в первую очередь влияет инструмент и в меньшей мере станок.

Точность межцентровых расстояний при сверлении и использовании кондукторов и по разметке исследована довольно подробно в работах [13,14,15 и др.], при обработке же на станках с ЧПУ вопрос изучен ещё не достаточно. Заслуживает внимания работа [16], в которой на основе экспериментальных исследований и производственных испытаний при обработке отверстий на станках с ЧПУ установлен усредненный баланс погрешностей межцентровых расстояний в зависимости от погрешности начального смещения, увода оси и погрешности координирования и получены зависимости указанных погрешностей от ряда технологических факторов. До постоянного времени недостаточно исследованы многие вопросы точности обработки отверстий сверления на станках с ЧПУ и, в частности те из них, которые связаны со вспомогательным инструментом, его жёсткостью и точностью, точностью режущего инструмента, его геометрии, режимов обработки и др.

Факторы влияющие на точность при сверлении

Всё многообразие факторов, оказывающих влияние на точность обрабатываемых отверстий сверлением можно отнести к двум группам:

- 1 Факторы, связанные с технологической системой.
- 2 Факторы, вызванные процессом обработки.

К первой группе факторов относятся – станок, приспособление, инструмент и обрабатываемая деталь. Вторую группу характеризуют технологические приёмы и режимы резания.

Классификация видов погрешностей отверстий при сверлении.

Все погрешности, возникающие в процессе сверления отверстий, можно разделить по основным источникам их возникновения на три группы [17]:

- Статические,

- Кинематические,
- Динамические

Таблица 1

Вид погрешностей	Параметры точности отверстия		
	Позиционное отклонение и наклон оси	Отклонение размера	Отклонение от круглости и профиля продол. сечен.
1	2	3	4
Статические $\Delta_{ш}$ -смещение вершины сверла, вызванное неперпендикулярностью оси шпинделя к рабочей поверхности стола (детали) Δ_c -смещение вершины сверла, вызванное несовпадением осей хвостовика и рабочей части сверла (искривление продольной оси сверла) Кинематические Δ_e -смещение вершины сверла, вызванное непараллельностью оси шпинделя направлению перемещения гильзы Δ_k -смещение вершины сверла, вызванное несовпадением оси конуса инструмента с осью вращения шпинделя Динамические Δ_p -смещение вершины сверла от неуравновешенной радиальной составляющей сил резания $\Delta_{ц}$ -смещение вершины сверла,	+ + + + + +	+ + + + +	+

вызванное влиянием формы поперечной режущей кромки			
Δ_H -смещение вершины сверла, вызванное способом изготовления его	+	+	
Δ_{σ} -смещение вершины сверла, вызванное неточностью изготовления (осевое биение режущих кромок, смещение поперечного лезвия)	+	+	+
$\Delta_{\mathcal{K}}$ -смещение вершины сверла из-за недостаточной радиальной жесткости технологической системы	+	+	+
$\Delta_{H.\mathcal{K}}$ -смещение вершины сверла, вызванное неравномерной радиальной жесткостью инструмента	+	+	
$\Delta_{K.\mathcal{K}}$ -смещение вершины сверла, вызванное малой контактной жесткостью соединения сверла с шпинделем			
$\Delta_{PE\mathcal{K}}$ -смещение вершины сверла, вызванное режимом резания особенно увеличением подачи			

Статические погрешности вызываются в основном неточностью изготовления элементов технологической системы и в первую очередь сверла. Кинематические- неточностью изготовления узлов станка, связанные с кинематикой перемещения и вращения шпинделя. Причинами возникновения динамических погрешностей являются в основном неуравновешенная радиальная составляющая сил резания, форма заточки сверла, неточность его изготовления, недостаточная радиальная жесткость, малая контактная жесткость соединения сверла с шпинделем, режимы резания. Как видно из таблицы 1 статические, кинематические и динамические факторы при сверлении вызывают в основном разбивку, увод, начальное смещение

оси отверстия, а следовательно и определяют точность межцентровых расстояний. При этом в общем балансе погрешностей обработки на станках с ЧПУ наибольший удельный вес занимает увод оси отверстия [16], изучению причин возникновения которого и разработке рекомендаций по его снижению должно быть уделено особое внимание.

4. О КОРРЕКТНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ПРИ СОВМЕЩЕННОМ ОСЕВОМ И ВНЕЦЕНТРЕННОМ РАСТЯЖЕНИИ КОМПАКТНЫХ ОБРАЗЦОВ.

Работа посвящена исследованию предельных параметров трещиностойкости для небольших трещин при совмещенном осевом и внецентренном растяжении компактных образцов.

Известно, что при установлении предела трещиностойкости, как совокупность критических коэффициентов интенсивности напряжений - K_{ci} при разных длинах трещин L_i , испытывают образцы, фиксируя разрушающие нагрузки P_{ci}

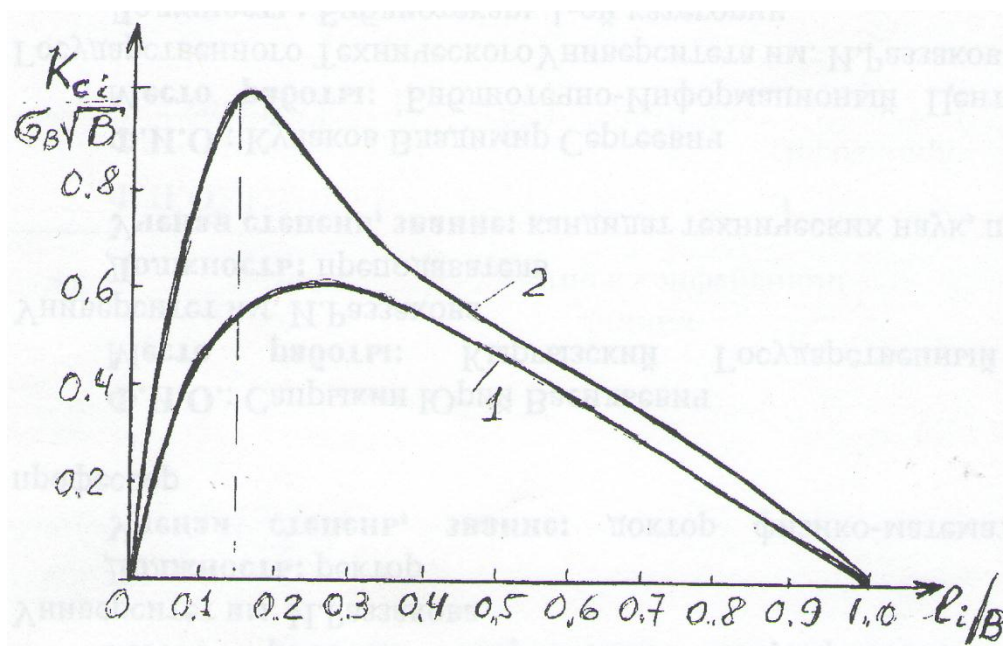


Рис. 4.1 Типичные кривые предельных значений параметра K_{ci} , устанавливаемые расчётно-экспериментальным путем при разных способах нагружения (схема): 1 – для плоских образцов с центральными трещинами при растяжении; для плоских образцов с краевыми трещинами при трехточечном изгибе или осевом растяжении; для цилиндрических образцов с кольцевыми трещинами при осевом растяжении или изгибе; 2 – для компактных (прямоугольных) образцов при внецентренном растяжении.

Затем строят график зависимости K_{ci} от относительных длин трещин l_i/B , где B – размер (ширина) образца в направлении распространения трещин. При этом в соответствующую способу нагружения, формулу для K_{ci} подставляют P_{ci} и l_i и определяют расчетным путем (с учетом корректирующих коэффициентов ЧЧЧЧЧЧ) предельные параметры вязкости разрушения K_{ci} , которые и откладывают на графике при соответствующих относительных длинах трещин (рис. 4.1).

Из анализа предельных кривых (Рис. 4.1) следует, что только при внецентренном растяжении компактных образцов и только в узком интервале относительно небольших длин трещин $0.1 \leq L/B \leq 0.25$ устанавливаемые по стандартной 1 формуле (1) расчетные параметра K_s изменяются очень резко, достигая при $L/B \approx 0.125$ своего максимума, существенно (на 55-65%) превышающего максимальные значения K_s при других способах нагружения, в том числе и при осевом растяжении.

Так как многие детали машин с конструктивным и технологическими концентраторами напряжений (боковыми надрезами, канавками, выточками с возможными микропорами а их вершинами и трещиноподобными дефектами) работают в сложных условиях нагружения, при которых материал в вершинах концентраторов может поочередно подвергаться и осевому и внецентренному растяжению, то исследование причин аномального изменения параметра K_s при относительно небольших трещинах в компактных образцах является актуальной задачей и основной целью данной работы.

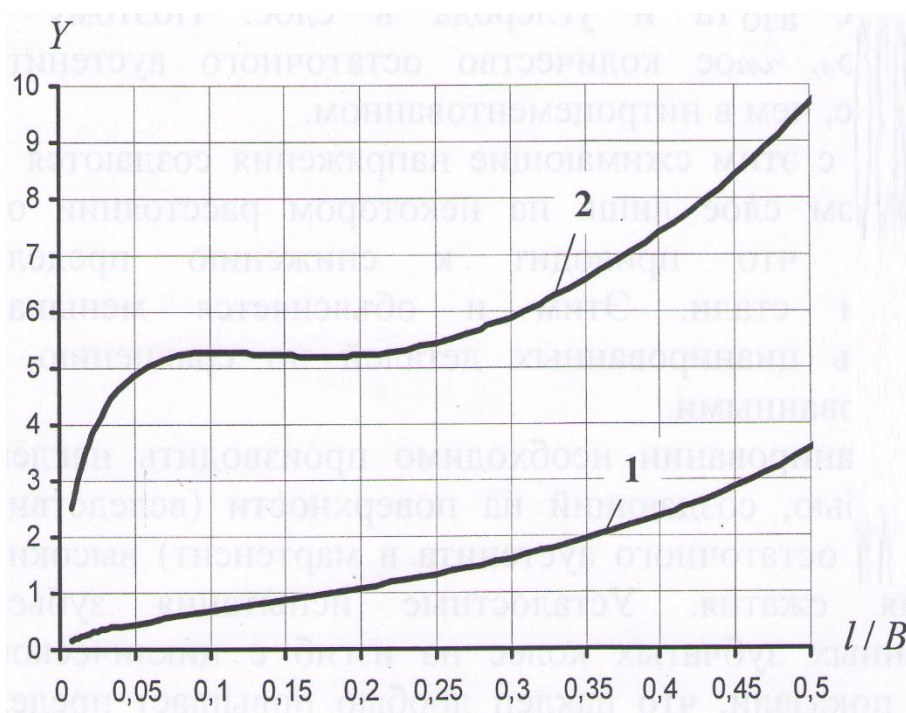


Рис.4.2 Зависимости абсолютных значений аналитических функций Y от длин трещин, установленные по формулам (2) и (3) для осевого (кривая 1) и внецентренного (кривая 2) растяжения соответственно.

В соответствии со стандартом [18] предельные значения трещиностойкости—

K_{ci} устанавливаются по формуле: $K_{ci} = \frac{P_{ci}}{t\sqrt{B}} Y_i$ (1)

Здесь P_{ci} – разрушающая нагрузка, определяемая экспериментально при конкретной длине трещин L_i ; и B – соответственно толщина и ширина плоского или компактного образца (Рис. 4.3); Y – безразмерная функция, зависящая (при данном способе нагружения) от отношения длины к ширине «В»

Образца, а при внецентренном растяжении – еще и от эксцентриситета опасного сечения.

При осевом растяжении (О.Р.):

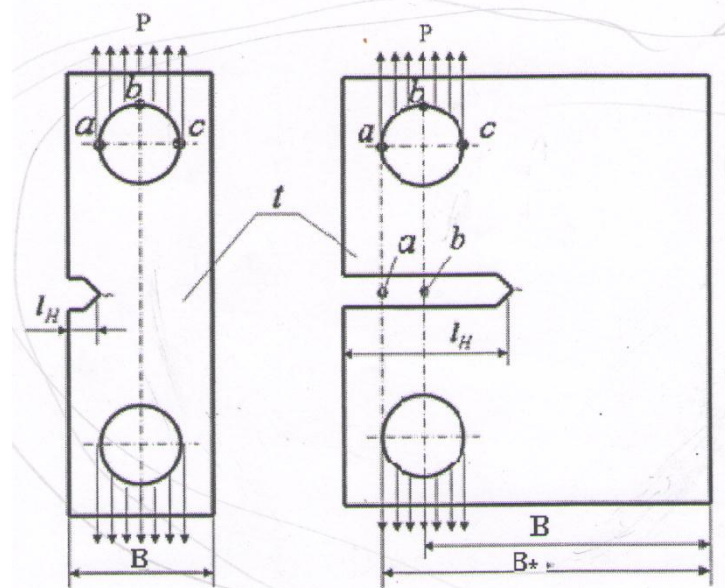
$$Y_i^{OP} = \left(\frac{L}{B}\right)^{1/2} \left[1.99 - 0.41 \left(\frac{L}{B}\right) + 18.7 \left(\frac{L}{B}\right)^2 - 38.48 \left(\frac{L}{B}\right)^3 + 53.85 \left(\frac{L}{B}\right)^4 \right] \quad (2)$$

При внецентренном растяжении (В.Р.):

$$Y_i^{BP} = \left(\frac{L}{B}\right)^{1/2} \left[29.6 - 185 \left(\frac{L}{B}\right) + 655 \left(\frac{L}{B}\right)^2 - 1017 \left(\frac{L}{B}\right)^3 + 639 \left(\frac{L}{B}\right)^4 \right] \quad (3)$$

Графические интерпретации аналитических значений Y при разных относительных длинах трещин (L/B) для О.Р. и В.Р. представлены на рис. 4.2 кривыми 1 и 2 соответственно.

Как следует из формулы (1) при отсутствии аномальных изменений разрушающей нагрузки P_{ci} резкие изменения (скачки) значений K_{ci} при относительно небольших трещинах могут быть обусловлены только характером зависимости $Y = f(L/B)$. Эта функция учитывает влияние конечных размеров образцов с учетом их формы и способа нагружения. Если функция $Y = f(L/B)$ известна для образца определенной формы, то она может быть применена для образца определенной формы, то она может быть применена для геометрически подобных образцов разных размеров, изготовленных из материалов с другими упругими свойствами [19].



В общем случае с ростом длины трещин L_i и уменьшением нетто-сечения образца

функция $Y = f(L/B)$ должна монотонно увеличиваться, постепенно достигая своего максимума Y_{max} при $L_{max} \cong B$. Однако, как следует из рис.2 в компактных образцах именно в интервале относительно небольших длин трещин $0,8 \leq L/B \leq 0,2$ это условие не выполняется: значения Y почти не изменяются, незначительно отклоняясь то в сторону понижения, то даже повышения так, что в среднем остаются относительно постоянными. Именно это обстоятельство обуславливает существенное завышение (до 65%) значений параметра K_c , устанавливаемых по формуле (1) при указанных длинах трещин (рис.4.1).

При этом обращает внимание тот факт, что подобные аномалии отсутствуют при О.Р. плоских образцов с краевыми трещинами (рис.1 и 3а), а характерны только для компактных образцов (рис.4.3б).

На рис.3 показаны стандартны образцы, рекомендуемые для испытаний на трещиностойкость при О.Р. (а) и В.Р (б).

Видно, что местном приложения нагрузки P к образцам (рис.4.3) является не только точка «b» расположенная в центре дуги «ABC» отверстий для захватов, а все точки этой дуги (как это и принято для плоского образца при О.Р [18]). В этой связи и для компактного образца за точку отсчета длины трещины L (надреза – LH), вероятно, должна приниматься точка «а», и соответственно, за ширину образца – параметр B_* (рис.4.3б). Заметим, что при испытании компактных образцов на В.Р. за начало трещины ($L=0$) обычно принимается точка «b», а за ширину образца – параметр « B ». Как будет показано ниже, выбор точки отсчета длины трещины имеет важное значение при относительно небольших трещинах ($L_*/B_* \leq 0.33$).

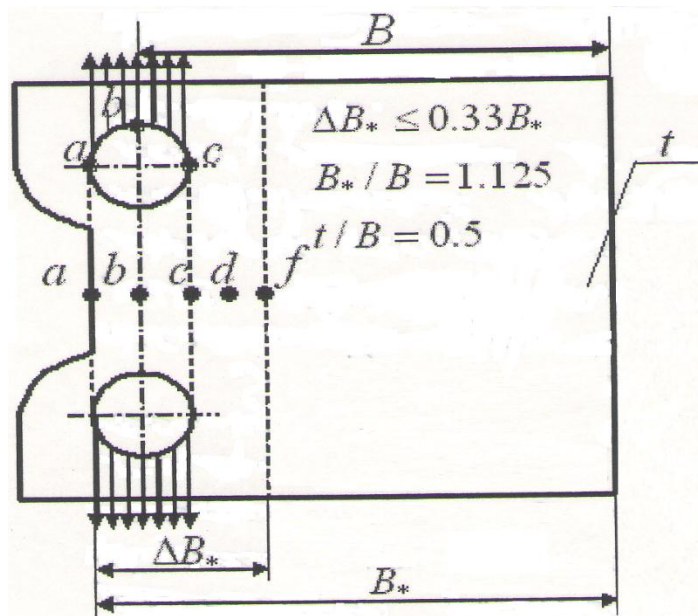


Рис.4.4 Модель компактного образца для обоснования выбора для обоснования выбора точки начала отсчета длины трещины при внецентренном растяжении.

Из анализа модели компактного образца (рис.4.4) следует, что при

относительно небольших трещинах, концы которых находятся в пределах отрезка "af", в части объем этого образца, сечением $\Delta F_{эфф} = \Delta B_{*t}$ может преобладать осевое растяжение поэтому, что на отрезке длин трещин "ас" эксцентриситет, по существу, отсутствует, а на отрезке "cd"- эксцентриситет еще незначителен и его влиянием можно пренебречь, как и при О.Р. плоского образца (рис.4.3а). На отрезке "df" уже должно проявляться слабое влияние эксцентриситета. Поэтому при таких длинах трещин ($0.2 \leq L/B \leq 0.25$), или: ($0.2 \leq L/B \leq 0.25$) вполне возможен постепенный переход от преимущественно О.Р. к В.Р. Как бы подтверждением этому служит тот факт, что в соответствии со стандартом РФ *** испытания на трещиностойкость в условиях В.Р. следует проводить только при $L/B > 0.25$ ($L_*/B_* > 0.33$).

Все рассмотренное выше позволяет сделать вывод, что при испытании на трещиностойкость компактного образца с трещинами разных длин материал на фронте трещины, в зависимости от ее длины, может последовательно подвергаться осевому и внецентренному растяжению с постепенным переходом от одного к другому.

В зависимости с этим, вероятно, и зависимость предельных значений трещиностойкости от длины трещин (рис.4.1) должна состоять из двух частей, одна из которых может быть подобной (по форме) зависимости " $K_{ci} = f(L/B)$ " для О.Р. (при $L/B < 0.33$), или: $L_*/B_* < 0.33$), а другая – для В.Р. (при $L/B > 0.25$ $L/B < 0.25$, или: $L_*/B_* < 0.33$).

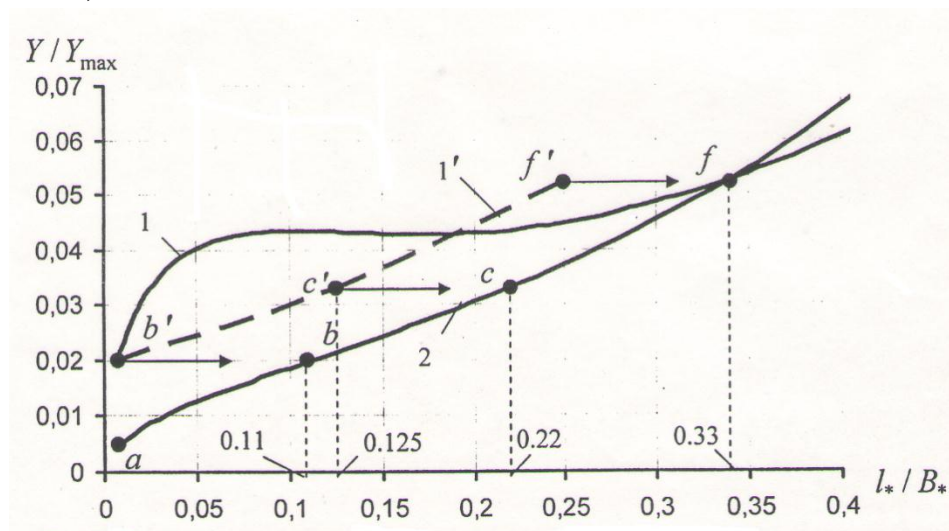


Рис.4.5 Зависимости относительных значений (Y/Y_{max}) аналитических функций Y_i от относительных длин трещин (L/B): 1 – при внецентренном растяжении $Y_{max} \cong 122$; 2 – пр осевом растяжении $Y_{max} = 35.65$ 1` - приведенная зависимость, позволяющая предварительно скорректировать значения Y/Y_{max} предстваленные кривой 1 для внецентренного растяжения.

Рассмотрим теперь два возможных варианта приложения растягивающей нагрузки к компактному образцу (рис.4.3б и 6). Пусть, например, при первом варианте растягивающая нагрузка действует на все сечение модельного образца шириной

$B_* = 1.125B$ (рис.6б), а при втором – нагрузка сосредоточена в пределах отвестий для захвата (рис.6а) и поэтому эффективно воздействует только на часть сечения, шириной ΔB_* (рис.4.4). С учетом проведенного выше анализа и двух вариантов воздействия нагрузки, можно допустить, что в относительно небольшой части объема образца, ограниченного сечением $\Delta F_{эфф} = B_* t$ могут быть реализованы условия подобия не только по способу, но и по жесткости нагружения образца с относительно небольшими трещинами, которые учитываются аналитической функцией $Y=f(L/B)$ [19]

Из этого следует, что при относительно небольших длинах трещин (при $0.25 L/B < 0.25$, или: $L_*/B_* < 0.33$), концы (вершин) которые находятся в одних и тех же точках отрезка ** (рис.4.4) относительные (приведенные) значения Y/Y_{max} для осевого и внецентренного растяжения могут быть сопоставимы.

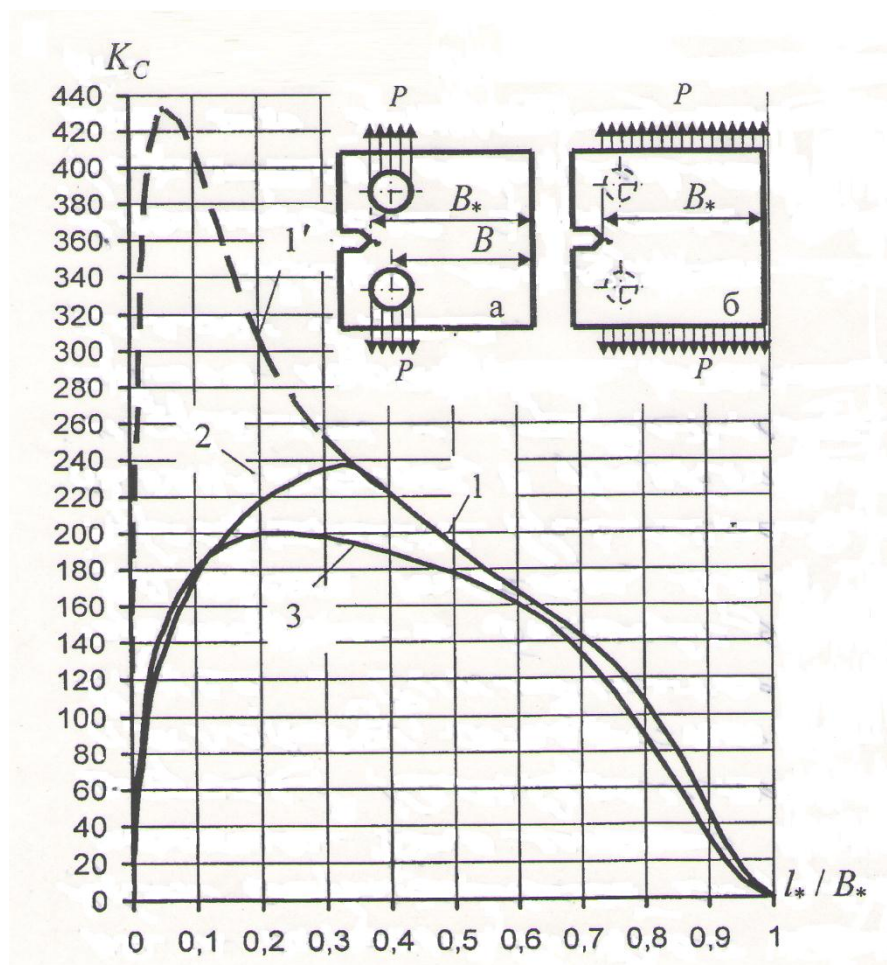


Рис.4.6 Кривые предельных значений параметров K_c , установленных по формуле (1) при разных длинах трещин (L/B) и способах нагружения компактных образцов ($B_* = 90, t = 40$) стали 20 ($\sigma_B = 42.3 \text{ кг/мм}^2$), находящихся под воздействием сосредоточенной (вар.а, кривые 1 и 2) и

равномерно распределенной (вар.б, кривая 3) растягивающей нагрузки $P:1$ и $1'$ - кривые, полученные с учетом значений $Y=f(L/B)$, установленных по формуле (3) для В.Р.; $2'$ - кривая получена с учетом скорректированных (приведенных) значений $Y_{*}^{BP}=f(L_{*}/B_{*})$ по способу, предложенному в данной работе; 3 – кривая соответствует варианту нагружения (б) и получена с учетом значений $Y=f(L_{*}/B_{*})$, установленных по формуле (2) для О.Р. Примечание: Все предельные кривые трещиностойкостисоответствуют верхней границе квазиупругого поведения материала с трещинами, при котором расчет параметров нагрузки P производится по формулам [1]: для В.Р: $P=0.5 \sigma_B t (B_{*} - l)^2 / (2B_{*} - l)$ для О.Р: $P=\sigma_B t (B_{*} - L_{*})^2 / (B_{*} - 2L_{*})$

На рис.4.5 представлены зависимости проведенных значений Y/Y_{max} от относительных длин трещин для В.Р. и О.Р. Видно, что одно и то же значение $Y/Y_{max} = 2.02$ соответствует $L_{*} - B_{*} = 0.11$ при О.Р (кривая 2, точка ‘‘b’’’) и $L/B \cong 0$ при В.Р. (кривая 1, точка ‘‘b’’’).

Это может иметь место в том случае, если за начало трещины при О.Р. будет приниматься точка ‘‘а’’, а при В.Р. – точка ‘‘b’’’ при соответствующих параметрах B_{*} (или B) ширины образца (рис.4). По аналогии с этим можно установить Y/Y_{max} и для других относительных длин трещин, концы которых, например, будут находиться в точке «с» или ‘‘f’’ (рис.4.4).

Например (рис.4) для точки ‘‘с’’ (если начало трещины в точке ‘‘а’’ как и принято, при О.Р) имеем $L_{*} - B_{*} = 0.22$. Проведя вертикаль из точки $L_{*} - B_{*} = 0.22$ до пересечения с кривой 2 (рис.4.5), установим на ней точку «с», по которой определим соответствующее ей значение $Y/Y_{max} \cong 0.033$.

Так как при В.Р. длину трещины принято устанавливать от точки ‘‘b’’ (рис.4.3б и 4), то с учетом этого, в этой точке ‘‘с’’ (рис.4.4), относительная длина трещины должны соответствовать $L/B=0,125$. Из условия принятого ранее, что в одних и тех же точках отрезка $a \div f$ (рис.4) значения Y/Y_{max} могут быть сопоставимы, находим точку "с" при $L/B=0.125$ (на кривой 1'), а затем точки ‘‘f’’ и ‘‘f’’ (рис.4.5) В результате получаем кривую 1' (b'c'f'). Окончательная корректировка кривой 1 для компактного образца (при относительно небольших трещинах) требует приведения значений Y/Y_{max} на кривой (b'c'f') к единым абсолютным и относительным длинам трещин. Для этого необходимо за точку

отчета (начала) длины трещины в компактном образе принять точку (место точки "b'") и соответственно В результате кривая ``b'c'f'' сместится вправо и совпадать с кривой ``abcf'' на участке ``bcf'' (рис.4.5). Следовательно, на этой кривой и должны располагаться точки приведенных значений Y^{PP} , по которым для компактных образцов можно установить уточненные абсолютные величины Y_{*i}^{BP} ;

$$Y_{*i}^{BP} = Y^{PP} Y_{max}^{BP} \quad (4)$$

Здесь: Y^{PP} - приведенная величина Y/Y_{max} на участке ``a÷f'' кривой 2 (рис.4.5); : Y_{max}^{BP} - максимальное абсолютное значение Y , установленное по формуле (3) при $(L/B)_{max}$ и равное $\cong 1.0122$

Уточненные значения аналитической функции Y_{*i}^{BP} представлена в таблице в сопоставлении со значениями Y_i^{BP} и Y_i^{OP} , установленными по формулам (2) и (3).

Сопоставление коэффициентов Y для относительно небольших длин трещин установленных по формулам (2) (осевое растяжение - Y_i^{OP}), (3) (внецентренное растяжение - Y_i^{BP}) и формуле (3), но скорректированной с учетом уравнения (4) (внецентренное растяжение - Y_{*i}^{BP})

Выводы

Использование скорректированных коэффициентов Y_{*i}^{BP} в расчетах предельных параметров вязкости разрушения K_{ci} по формуле (1) позволяет:

- Устанавливать реальные зависимости $K_{ci} = f(L_*/B_*)$ для относительно небольших длин трещин (см., например, часть зависимости $K_{ci} = f(L_*/B_*)$, представленную кривой 2` на рис.4.6).
- Исключить получение сильно завышенных (аномальных) расчетных значений параметра **, представленных на рис.4.6 кривой 1`

5. РАЗРАБОТКА СТАТИСТИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТНОЙ МОДЕЛИ СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ПРОИЗВОДСТВА

Разработана стойкостная модель для расчета стойкости спиральных сверл с необходимой вероятностью безотказной работы в широком диапазоне скоростей резания учитывающая производительность оборудования и твердость материала заготовок.

Ключевые слова: сверло, стойкость, скорость резания, подача, диаметр, твердость.

Сверление – единственный способ получения отверстий резанием, поэтому сверла являются одним из наиболее часто применяемых режущих инструментов. В стоимостном выражении потребность машиностроения только в стандартных спиральных сверлах превышает четверть от суммарной потребности в режущих инструментах.

Существующие стойкостные модели получены методом однофакторного эксперимента на интенсивных скоростях резания, больших точки перегиба правой ветви графиков стойкостных зависимостей [20], стойкость в них представлена в детерминированной форме и не учитывает случайный характер процессов изнашивания. Эти стойкостные модели используются для расчета допустимых скоростей резания, максимально возможных при рекомендуемых глубине резания, подаче и заданном периоде стойкости [21]. Справочником технолога-машиностроителя [22] предложена зависимость для расчета допустимых скоростей резания при сверлении, имеющая вид:

$$V = \frac{9,8d^{0,4}}{T^{0,2}S^{0,5}}, (1)$$

где V скорость резания, d диаметр сверла, S подача на оборот сверла, T период стойкости. Рассчитанная по зависимости (1) скорость резания для сверл диаметром 11 мм равна 24 м/мин при рекомендуемой подаче 0,25 мм/об, и периоде стойкости 45 мин. Однако анализ 135 операций многоинструментальной обработки отверстий быстрорежущими спиральными сверлами диаметром от 5 до 45 мм в заготовках из углеродистых конструкционных сталей на автоматических линиях, агрегатных

станках и станках-автоматах показал, что в основном используется диапазон скоростей резания 9-16 м/мин [23]. Использование сравнительно невысоких скоростей резания обусловлено тем, что в автоматизированном массовом производстве время обработки сверлением не лимитирует производительность оборудования. В этих условиях более актуальной является задача обеспечения максимальной стойкости сверл с учетом случайного характера процессов их изнашивания. Рассчитанный по зависимости (1) период стойкости для сверл диаметром 11 мм на скорости резания 15 м/мин составил 7,68 ч. Это значение периода стойкости сравнимо со средними стойкостями, представленными в работе [24] по результатам производственных испытаний в условиях автоматизированного массового производства. У сверл диаметром 11,5 мм средняя стойкость равна 8,73 ч, что на 12 % отличается от рассчитанного по зависимости (1) периода стойкости. Период стойкости близкий к средней стойкости сверл работавших в аналогичных производственных условиях указывает на то, что половина сверл выйдет из строя по его окончании. Вместе с тем зависимость (1) не учитывает твердость обрабатываемого материала, которая существенно влияет на среднюю стойкость (табл. 1).

Таблица 1

Условия и результаты производственных испытаний сверл

Диаметр сверла d, мм	9,8	10,5	11,5	13,8	17,5	21,0	35,0
Скорость резания V, м/мин	13,8	12,6	12,6	12,6	13,8	13,2	11,4
Подача S, мм/об.	0,22	0,14	0,18	0,22	0,2	0,23	0,23
Твердость заготовок НВ	200	300	200	200	190	300	300
Глубина сверления, мм	25,2	28,5	13,0	11,0	24,0	17,0	36,0
Средняя стойкость до отказа, ч	8,1	1,87	8,73	10,24	11,95	2,17	2,81
Дисперсия стойкости σ , ч	2,65	0,28	1,38	2,24	1,63	0,65	0,87
Коэффициент вариации	0,33	0,15	0,16	0,22	0,14	0,3	0,3

В работе [25] представлены результаты производственных испытаний спиральных сверл диаметрами от 10 до 35 мм, которые позволили получить зависимость средней стойкости от диаметра, в указанном диапазоне, в условиях автоматизированного массового производства, имеющую вид:

$$\bar{T} = 3,58d^{0,4}.$$

Для определения степени влияния твердости обрабатываемых заготовок на среднюю стойкость сверл использовались результаты производственных испытаний, представленные в табл. 1. На примере сверл близких диаметров 9,8 и 10,5 мм которыми обрабатывались заготовки различной твердости 200 НВ и 300 НВ соответственно. Получена зависимость, имеющая вид:

$$\bar{T} = 2,03 \cdot 10^9 \text{HB}^{-3,65}$$

Для определения степени влияния подачи на стойкость сверл использовалась зависимость, представленная в работе [26] (рис.1).

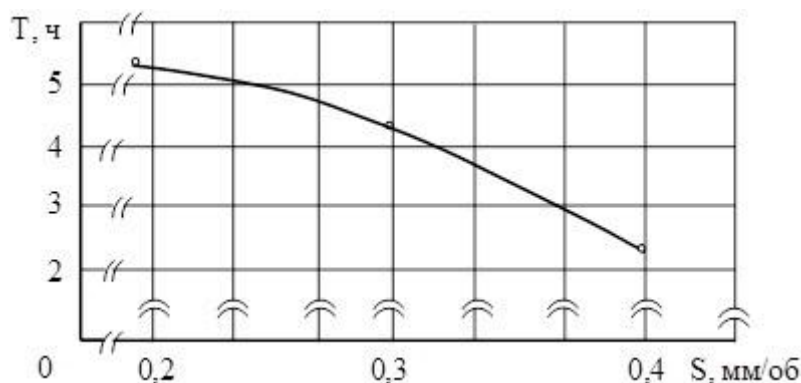


Рисунок 5.1 - Зависимость стойкости сверл диаметром 14,5 мм от подачи на скорости резания 15 м/мин

Посредством аппроксимации кривой, представленной на рис. 5.1, в диапазоне подач от 0,18 до 0,3 мм/об получена следующая зависимость:

$$T = 2,72S^{-0,4}.$$

Тогда, зависимость средней стойкости сверл от диаметра, твердости заготовок и подачи будет иметь вид:

$$\bar{T} = \frac{4,4 \cdot 10^8 d^{0,4}}{S^{0,4} \text{HB}^{3,65}} (2)$$

В работе [27] аппроксимацией области максимума графика зависимости стойкости от скорости резания получено значение скорости резания максимума стойкости - 12,77 м/мин. Как видно в табл. 1 скорости резания, на которых проводились производственные испытания сверл, близки к скорости резания максимума стойкости. В работе [28] сделан вывод, что скорость резания соответствующая максимальной стойкости быстрорежущих спиральных сверл при обработке углеродистых конструкционных сталей остается неизменной при изменении подачи, диаметра сверла и твердости обрабатываемого

материала. Поэтому зависимость (2) можно использовать для расчета средней максимальной стойкости спиральных сверл диаметрами 10-35 мм.

Однако спиральные сверла находят широкое применение для всех типов производства, которые характеризуются объемом выпуска изделий. С уменьшением объема выпуска, переходом от массового к серийному и единичному производству, производительность оборудования растет, что обусловлено увеличением номенклатуры изделий и переходом от автоматизированного оборудования к универсальному. Увеличение производительности оборудования возможно только за счет увеличения скоростей резания. В связи с чем, возникает актуальная проблема разработки стойкостной модели спиральных сверл с учетом случайного характера процессов изнашивания для широкого диапазона скоростей резания.

В работе [29] разработана зависимость (3) для расчета минимальной скорости резания в зависимости от объема выпуска изделий для обеспечения максимальной стойкости сверл при необходимой производительности оборудования:

$$V = \frac{\pi d L_{\text{см}}}{1000 \cdot S \cdot \Sigma T_{\text{св}}}, (3)$$

где $L_{\text{см}}$ суммарная глубина отверстий одного диаметра, просверленных за одну смену, $\Sigma T_{\text{св}}$ суммарное время на сверление этих отверстий.

В работе [27] приведены результаты аппроксимации графика зависимости стойкости от скорости резания, полученного в лабораторных условиях. Зависимость (4) получена аппроксимацией верхней части правой ветви этого графика на скоростях резания 16-21 м/мин, выше точки перегиба, зависимость (5) - на скоростях резания 21-30 м/мин, ниже точки перегиба.

$$T = 130211 V^{-3,265}, (4)$$

$$T = 213 V^{-1,15}. (5)$$

Зависимости (4) и (5) получены при проведении однофакторного эксперимента. Варьировалась скорость резания, а все остальные параметры были строго фиксированными и идентичными. Сверла специально изготавливались из одной плавки быстрорежущей стали по одной технологии, отбирались по идентичности геометрических параметров и затачивались по двухплоскостной заточке с доводкой

алмазным инструментом. Обработывались заготовки из одной плавки стального горячекатаного проката. Обработка отверстий велась на высокоточном станке с ЧПУ мод. 2P135Ф2. При установке сверл в шпиндель станка контролировались осевые и радиальные биения режущих кромок, которые практически были равны нулю. Таким образом, было полностью исключено влияние случайных факторов процесса обработки. Поэтому значения стойкостей, рассчитанных по этим зависимостям являются максимальными по отношению к распределению стойкостей сверл в производственных условиях эксплуатации.

В работе [23] приведены результаты производственных испытаний сверл различных диаметров. Испытывались партии сверл по 25 штук в каждой партии. Определено, что распределение стойкостей всех испытанных партий сверл хорошо согласуется с нормальным распределением, что позволило параметры этих распределений. В работе проведен анализ значимых связей коэффициентов вариации распределений стойкостей всех испытанных партий сверл с условиями обработки, который показал отрицательный результат. На основании этого сделан вывод, что теснота группирования стойкостей сверл не зависит от условий обработки сверлением, а это значит, что используя правило трех сигма и средний коэффициент вариации, по зависимостям (4) и (5) можно рассчитать среднюю стойкость. В работе [23] приведены коэффициенты вариации распределений восьми партий сверл разного диаметра, представленные в табл. 1.

Средний коэффициент вариации равен $\bar{\vartheta} = 0,23$. Тогда среднюю стойкость, при наличии максимальной, можно определить по формуле:

$$\bar{T} = \frac{T_{\max}}{(1 + 3\bar{\vartheta})}, \quad (6)$$

где $T_{\max}$ максимальная стойкость, рассчитанная по зависимостям (4) и (5).

С применением зависимости (6) зависимость (4) примет вид:

$$\bar{T} = 77048V^{-3,265}, \quad (7)$$

а зависимость (5) примет вид:

$$\bar{T} = 126V^{-1,15}. \quad (8)$$

Используя зависимости (2) и (7) получим зависимость (9) для расчета средней

стойкости спиральных сверл на скоростях резания 16-21 м/мин, имеющую вид:

$$\bar{T} = \frac{3,5 \cdot 10^{12} d^{0,4}}{v^{3,265} S^{0,4} HB^{3,65}} \cdot \quad (9)$$

Выше показана зависимость(1) рекомендуемая справочником технолога-машиностроителя [3] для расчета допустимых скоростей резания при сверлении. Эта зависимость получена на интенсивных скоростях резания, больших точки перегиба графика зависимости стойкости от скорости резания[20]. Рассчитанная по ней скорость резания при заданных подаче и периоде стойкости для любого диаметра сверла равна 24 м/мин. Зависимость(1) разработана комиссией по резанию металлов, в которую входили все ведущие специалисты в этой области, испытания проводились с высокой тщательностью и по единой методике, поэтому представляется целесообразным в зависимости средней стойкости на скоростях резания 21-30 м/мин использовать показатель степени при подаче 0,5.

Используя зависимости (2) и (8) и показатель степени при подаче 0,5 получим зависимость (10) для расчета средней стойкости спиральных сверл на скоростях резания 21-30 м/мин, имеющую вид:

$$\bar{T} = \frac{4,9 \cdot 10^9 d^{0,4}}{v^{1,15} S^{0,5} HB^{3,65}} \cdot \quad (10)$$

Справочником технолога-машиностроителя [22] рекомендуются периоды стойкости спиральных сверл для различных диаметров. Для сверл диаметрами от 10 до 35 мм рекомендуемые периоды стойкости соответствуют минимальным стойкостям, рассчитанным по зависимости (10) с применением зависимости(11). Тем самым подтверждается правомочность использования среднего коэффициента вариации $\bar{\vartheta} = 0,23$.

$$T_{\min} = \bar{T} - 3\bar{T}\bar{\vartheta}. \quad (11)$$

где $\bar{T}$ - средняя стойкость, рассчитанная по зависимости (10).

Стойкостная модель состоит из зависимостей(2), (3), (9), (10), (11) и работает следующим образом. Для определенного типа производства, исходя из необходимой производительности оборудования, по зависимости (2) рассчитывается минимальная скорость резания. Если расчетное значение скорости резания меньше 12,77 м/мин, принимается это значение скорости резания. Подача рассчитывается по зависимости

(12)[10].

$$S_o = Cd^{0,75}, \quad (12)$$

где постоянный коэффициент $C = 0,04$ при глубине сверления меньше $3d$, и $C = 0,03$ при глубинах сверления больших $3d$. Для сталей от 240 до 300 НВ рассчитанные по формуле (12) подачи следует умножать на коэффициент 0,8, для сталей более 300НВ рассчитанные по формуле (12) подачи следует умножать на коэффициент 0,6. В зависимости от значения скорости резания выбирается одна из зависимостей (3), (9) и (10) для расчета средней скорости резания. Далее используя зависимость (11) и средний коэффициент вариации равный 0,23 определяется стойкость с необходимой вероятностью безотказной работы γ . Для $\gamma = 100\%$ принимается значение $3\bar{T}_9$, для $\gamma = 95\%$ принимается значение $2\bar{T}_9$.

Таким образом, входными параметрами модели являются производительность оборудования и твердость обрабатываемых заготовок, а выходными параметрами - скорость резания и стойкость сверл с необходимой вероятностью безотказной работы.

Выводы:

1. Существующие стойкостные модели не учитывают твердость материала заготовок и случайный характер процессов изнашивания инструментов и не позволяют рассчитывать стойкость спиральных сверл на скоростях резания их максимальной стойкости и выше точки перегиба правой ветви графика зависимости стойкости от скорости резания.

2. Получена стойкостная модель для расчета стойкостей спиральных сверл на скоростях резания максимума и правой ветви графика зависимости стойкости от скорости резания, с необходимой вероятностью безотказной работы, учитывающая производительность оборудования, твердость материала заготовок и случайный характер процессов изнашивания.

4. Рассчитанные с помощью стойкостной модели минимальные стойкости на интенсивных скоростях резания соответствуют периодам стойкости, рекомендуемым справочником технолога машиностроителя [22].

6. КАТОДНЫЕ УЗЛЫ В ПЛАЗМОТРОНАХ И СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О КАТОДНЫХ ЯВЛЕНИЯХ

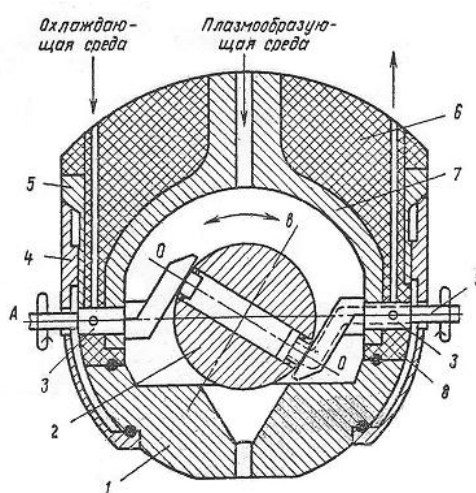
В настоящее время плазмотроны широко используются при заготовительных работах для обработки изделий из низколегированных и легированных сталей, сплавов и цветных металлов. Инструментом при этом является электрическая дуга. Дуга генерируется в плазмотроне и возбуждается между электродами – катодом и анодом, роль последнего в плазмотронах прямого действия выполняет обрабатываемое изделие. Мощность плазменной дуги зависит от тока и напряжения дуги. На мощность плазмотрона существенное влияние оказывают конструкционные параметры и используемая плазмообразующая среда, в качестве которой наиболее эффективной рабочей средой является сжатый воздух. Одним из основных задач обеспечения эффективности плазменной резки является повышение ресурса работы конструктивных элементов плазмотрона, в особенности катода плазмотрона [31-34]. Катодные процессы играют очень важную роль в дуговом разряде, обеспечивая перенос электронного тока в плазму. Тепловые и электрические процессы в области контакта дуги с катодом влияют на скорость их разрушения, тем самым уменьшая срок их работы. Это вызвано большими тепловыми потоками на единицу площади поверхности. Тепловые потоки в катод непосредственно связаны с физическими процессами в прикатодной области дугового разряда, на поверхности катода и внутри кристаллической решетки металла [35-42]. Изучению катодных процессов уделялось всегда, за время развития плазменной техники, большое внимание, что позволило установить для широкого диапазона изменений внешних условий ряд закономерностей, характеризующих катодные процессы (катодное падение потенциала, плотность тока, температура катода, тепловой поток в катод и т.п.).

В данной работе рассмотрены современные представления о катодных явлениях и их закономерностях в приложении к предложенному автором катодному узлу нового типа, предоставляющему возможности повышения ресурса работы катодного узла.

Существует большое разнообразие форм катодов, различающихся не только

по конструкции, но и материалом исполнения [31,32,34,43]. Наибольшее распространение получили термохимические катоды, позволившие существенно повысить рабочий ресурс катода плазмотрона, выполненные в виде медной обоймы с запрессованной вставкой из тугоплавких материалов циркония или гафния [31]. Разработка термохимических катодов, стойких в окислительной среде предопределило применение воздуха в качестве плазмообразующей среды и создание способа воздушно-плазменной обработки материалов. Однако ресурс работы термохимического катода существенно зависит от числа включений дуги, а также от множества других факторов [31-34,36]. Другим путем повышения ресурса электрода плазмотрона явилось рассредоточение теплового потока от пятна дуги на большую площадь, путем непрерывного его перемещения по поверхности электрода. Тем самым, может быть достигнуто существенное снижение эффективного удельного теплового потока, определяемого как отношение тепла, поступающего через опорное пятно дуги к проходимой им площади [43]. С целью повышения ресурса работы электродов в современных плазмотронах марки П-23, П-24, применен принцип расщепления дуги. В катододержателе плазмотрона П-23 установлены четыре термохимические (гафниевые или циркониевые) вставки, к которым при токе свыше 200 А привязываются опорные пятна дуги. Благодаря этому происходит перераспределение токовой и тепловой нагрузок на большую поверхность, в результате чего улучшаются тепловые условия работы термохимических вставок, а, следовательно, повышается ресурс работы плазмотрона. Плазмотрон П-24 содержит медный полый электрод, разрядный канал которого выполнен ступенчатым с расширением в сторону выхода дуги, имеет резьбовую нарезку и торцевое отверстие для подачи дополнительного газа, расход которого составляет 10% от расхода основного плазмообразующего газа, для локализации катодной привязки дуги в области расширения канала. Резьбовая нарезка расщепляет опорные пятна на несколько пятен, предотвращая тем самым локальный нагрев и увеличивая ресурс работы электрода. Наличие вставок из тугоплавких дефицитных дорогостоящих металлов сказывается существенно на стоимости таких плазмотронов [43].

Одним из путей повышения эффективности технологических процессов является применение более дешевых и доступных материалов для изготовления конструктивных элементов используемых устройств. В работе [44] дано описание, разработанного, автором настоящей статьи, плазмотрона с вращающимся медным катодом, с системой охлаждения проточной водой, который является более дешевым и доступным по сравнению с известными аналогами. Разработанный шарообразный медный полый катод вращается вокруг горизонтальной оси и тем самым снижает удельный тепловой поток через опорное пятно дуги. Катод непрерывно охлаждается водой, что обеспечивается конструкцией плазмотрона (рис.6.1).



1 – сопло, 2 – электрод, 3 – кривошип, 4 - накидная гайка, 5 – корпус, 6 – втулка, 7 – токоподвод, 8 – кольцо, 9 – гибкий вал.

Рисунок 6.1 – Конструкция плазмотрона с медным вращающимся катодом.

Катод работает при следующих режимных условиях:

- рабочее напряжение $U = (250-350) \text{ В}$; ток $I = (300-400) \text{ А}$;
- рабочий газ воздух, подается под давлением $P = (3,5-6,0) \text{ Па}$;
- расход воздуха $(3,2-8,0) \text{ л/с}$;
- давление охлаждающей воды $(1,5-3,0) \text{ Па}$
- диаметр канала сопла $(4,0-5,0 \text{ мм})$; диаметр электрода $(40-60 \text{ мм})$.
- частота вращения электрода $(50-70) \text{ об/мин} = 0,83 - 1,17 \text{ об/с}$.

Основная функция прикатодной области – обеспечение условий переноса заряженных частиц между катодом и столбом разряда. При этом в этой области имеет место скачок потенциала у поверхности катода и происходит интенсивная генерация заряженных частиц. Подробно катодные процессы рассмотрены в работах [35-41].

Температура электронного газа в плазме дуги вблизи границы с прикатодной областью разряда для дуг, горящих в аргоне достигает 15000-25000 К. Известно, что прикатодная область разряда при давлениях больших 10^3 Па имеет протяженность менее 1 мм, исследование ее внутренней структуры затруднено. О сложности исследования катодных явлений свидетельствует существование трех теорий для их объяснения: теории термоэлектронной эмиссии, теории автоэлектронной эмиссии, в которых считается, что перенос зарядов осуществляется в основном электронами и теории ионного тока, в которой считается, что перенос осуществляется ионами. Первые две теории основываются на двух наиболее хорошо изученных механизмах освобождения электронов из металлов – под действием высоких температур и сильных электрических полей. Сторонники третьей теории считают, что одно из главных мест среди источников подводимой к катоду энергии должно отводиться положительным ионам, бомбардирующим катод со скоростями, приобретенными в области катодного падения [35-37]. В работе [36] рассмотрены подробно процессы взаимодействия плазмы с термоэмиссионными катодами.

Катодные процессы представляют собой цепь явлений связанных между собой: явления в самом катоде, на его поверхности, в прикатодной области и на границе с дугой.

Для расчета тепловых и электрических полей в теле катода используются уравнения теплопроводности и Лапласа - для электрического потенциала. Установлено в работах [36-38], что в зоне контакта катода с дугой возможно существование расплавленной пленки с толщиной до десятых долей миллиметра.

Медный катод относится к типу “холодных” катодов. Так называют катоды из металлов, точка кипения которых ниже температуры, при которой можно рассчитывать на заметную термоэлектронную эмиссию (температура кипения меди -

2873°K, необходимая интенсивность эмиссии возможна при температурах катодов 3500 - 4000 °K) [36, 37]. Ток в дугах с «холодными» катодами через одно или много маленьких, быстро и беспорядочно перемещающихся, возникающих и исчезающих пятен на катоде. Плотность тока в пятнах достигает 10^4 - 10^7 А/см². Место нагрева на катоде нагревается до температуры испарения, но по соседству с пятном, в целом катод остается сравнительно холодным. При термоэлектронной эмиссии ионы, рожденные в катодном слое должны сообщать катоду энергию, необходимую для поддержания соответствующей температуры.

Тепловой поток к электроду из зоны дугового разряда в области опорного пятна складывается из потока тепла, связанного с переносом заряженных частиц, теплового излучения из столба дуги, теплового потока за счет теплопроводности и тепла, выделяющегося при рекомбинации заряженных и атомарных частиц. Потеря энергии поверхностью катода происходит вследствие эмиссии электронов, излучения нагретой поверхностью, теплоотвода вглубь тела теплопроводностью, часть энергии уходит на испарение материала катода.

При теоретических исследованиях прикатодной области разряда часто используют двухслойную модель, включающая в себя слой объемного заряда и диффузионный слой. Для описания объемного разряда используют модель, предполагающую существование двух сортов заряженных частиц-электронов эмиссии и ионов прикатодной плазмы. Катодный слой выполняет свою функцию главным образом, тем, что ионы здесь рождаются в большом количестве и приобретают в поле кинетическую энергию, которую несут к катоду совместно с другими источниками: потенциальной энергии нейтрализации ионов, тепловому потоку из плазмы. Температура газа у поверхности катода совпадает с температурой металла и по крайней мере вдвое ниже, чем в столбе дуги. Для обеспечения необходимой скорости рождения в слое и создания сильного ионного тока имеет место не только термическая ионизация, но и нетермические механизмы сообщения энергии эмитированным электронам. Благодаря эффекту Шотки, у поверхности катода образуется сильное электрическое поле, которое уменьшает работу выхода и тем самым облегчает термоэлектронную эмиссию. Само поле возникает, как и

катодное падение из-за повышенной скорости рождения ионов в слое и накоплению положительного пространственного заряда, вследствие различия в скоростях устранения электронов и ионов [37, 40].

Согласно существующим представлениям, вблизи катода образуется очень большой положительный пространственный заряд. Он обуславливает резкое падение поля и потенциала в тонком слое, протяженностью меньшей длины свободного пробега электронов и ионов. На этот бестолковительный слой приходится большая часть падения катодного потенциала. Этот слой – основной источник ионов, отделен от положительного столба более протяженным промежуточным слоем, с гораздо более слабым полем, где происходит усиленная ионизация атомов электронами, которые приобрели в бестолковительном слое энергию до потенциала ионизации. В этом слое выполняется условие квазинейтральности. Из второго слоя в первый движутся не только ионы, но и электроны, называемые «обратными». Приносимая на поверхность катода ионами и «обратными» электронами энергия затрачивается на ее нагрев до температуры, необходимой для эмиссии. Процессы в прикатодной области существенно зависят от свойств поверхности и материала катода, его геометрии и условий охлаждения.

Плотности электронного и ионного тока в бестолковительном слое постоянны и равны

$$j_e = S \cdot j = en_e v_e, \quad j_i = (1 - S) \cdot j = en_i v_i. \quad (1)$$

где j_e , j_i – плотности электронного и ионного тока, S – доля электронного тока (у поверхности катода составляет $0,7 \div 0,9$), n_e , n_i – концентрации соответственно электронов и ионов, v_e , v_i – скорости электронов и ионов.

Энергии и скорости зарядов определяются проходимой ими разностью потенциалов:

$$v_e = (2eU/m)^{1/2}, \quad v_i = [2e(U_k - U)/M]^{1/2}, \quad (2)$$

где U_k – катодное падение потенциала.

Используя формулу Маккоуна [40], можно найти поле у катода

$$E_k^2 = \frac{16\pi j}{\sqrt{2e}} [(1 - S)\sqrt{M} - S\sqrt{m}]\sqrt{U_k}, \quad (3)$$

в которой можно пренебречь членом, учитывающим действие электронов, ввиду их

малости и получить для расчетов выражение:

$$E_k = 5,7 \cdot 10^3 A^{1/4} (1-S)^{1/2} U_k^{1/4} j^{1/2};$$

$$h = 4U_k / 3E_k, \quad (4)$$

где A – атомная масса иона; E_k – напряженность электрического поля у катода [В/см]; U_k – падение потенциала на катоде [В]; j – плотность тока [А/см²]; h – толщина рассматриваемого слоя.

Например, для дуги с холодным катодом, при параметрах: $j = 2 \cdot 10^4$ А/см²; $S = 0,8$; $U_k = 15$ В; $A = 28$ (азот), получаем -

$$E_k = 1,63 \cdot 10^6 \text{ [В/см]}; h = 1,23 \cdot 10^{-5} \text{ см.}$$

Снижение энергии связи и работы выхода по формуле Шоттки на:

$$e\Delta\varphi = e^{3/2} E^{1/2} = 3,8 \cdot 10^{-4} \cdot (1,63 \cdot 10^6)^{1/2} = 0,48 \text{ эВ.}$$

Скорость термоэлектронной эмиссии в $\exp(e\Delta\varphi / kT)$ возрастает при $T = 3000$ К до $\approx 4,7$ раза.

причем, следует заметить, что $E_k = 1,63 \cdot 10^6$ В/см близко по значению $E_k = 3 \cdot 10^6$ В/см, когда начинается непосредственное вырывание электронов полем.

Баланс энергии на катоде [36]

$$q_{\pi} = q_i - q_e + q_e^{\text{обр}} - q_{\text{изл1}} + q_{\text{изл2}}, \quad (5)$$

где $q_{\pi} = -\lambda \text{grad} T$ - поток тепла, отводимый теплопроводностью в катод, λ - коэффициент теплопроводности материала катода; $q_i = j(1-S)(\beta U_k + U_i - \varphi_{\text{эф}})$ - поток приносимый ионами на катод, β - коэффициент аккомодации ионов, U_i - потенциал ионизации атомов, $\varphi_{\text{эф}} = \varphi(eE)^{1/2}$ - работа выхода материала катода; $q_e = j_e^{\text{эм}} (\varphi_{\text{эф}} + 2kT_e/e)$ - поток, уносимый с поверхности катода электронами эмиссии; $q_e^{\text{обр}} = (en/4) \alpha_e <v_e> (2kT_e/e + \varphi_{\text{эф}}) \exp(-eU_k / kT_e)$, α_e - вероятность поглощения электрона поверхностью, $<v_e> = (8kT_e/\pi m_e)^{1/2}$; $q_{\text{изл1}}$ - лучистый поток с поверхности катода; $q_{\text{изл2}}$ - лучистый поток из плазмы на поверхность катода, обычно им пренебрегают при расчетах.

Температура в пятнах, по различным данным может достигать, например, на меди 2400-3300 К. Размер катодных пятен $\sim 10^{-4}$ - 10^{-2} см, скорости перемещения 10 - 10^2 см/с, плотность тока в пятнах, согласно различным авторам, лежит в пределах

$j=i/\pi r^2 \sim 10^4 - 10^7 \text{ А/см}^2$, на меди до 10^8 А/см^2 . Противоречивость данных объясняется крайней сложностью непосредственных измерений этих параметров. Катодные пятна подвергаются интенсивному испарению, удельная эрозия на пятнах меди может составлять $\sim 10^{-4} \text{ г/Кл}$, на ранних стадиях в единичных пятнах для меди существенно меньше $5 \cdot 10^{-7} \text{ г/Кл}$.

Медный катод имеет следующие характеристики:

- потенциал ионизации - 7,68 В; катодное падение 15-21 В;
- температура кипения – 3150 К; теплопроводность – 4,1 Вт/(см·К);
- пороговый ток пятна – 1,6 А; средний ток на пятно – 75-200 А;
- плотность тока - $10^4 - 10^8 \text{ А/см}^2$; удельная эрозия при токе 100-200 А - 10^{-4} г/Кл ;
- умеренная летучесть- отношение работы выхода к энергии испарения = 1,4;
- скорость струи $1,5 \cdot 10^4 \text{ м/с}$.

В работе Ли (1959г.) [37] приведены результаты, достаточно несложных расчетов, проведенных для катодов из меди, для исследования механизма эмиссии, которые не противоречат экспериментальным данным. Для поддержания термоэлектронной эмиссии необходимы высокие значения $j, E \sim 10^7 - 10^8$, при толщине бестолкновительного слоя порядка $\sim 10^{-8} \text{ см}$.

Следуя оценке, приведенной в работе [35] был выполнен расчет глубины проникновения температурного поля δ_t за время t , где $\delta_t = \sqrt{6at}$, здесь a – коэффициент температуропроводности. Для меди $a = 112,4 \text{ мм}^2/\text{с}$, $t = 10^{-4} \text{ с}$ получено $\delta_t = 0,3 \text{ мм}$. Так же определено время, за которое поверхность медного электрода нагревается до температуры плавления. Оценка выполнена по формуле $t = 2\sqrt{3} \lambda^2 T_{\text{пл}}^2 / q^2 a$, где λ – коэффициент теплопроводности; q – интенсивность поверхностного источника тепла равняется $q = j\Delta U$, здесь j – плотность тока на поверхности электрода принимается равной $5 \cdot 10^4 \text{ А/см}^2$, ΔU – вольтовой эквивалент теплового потока в пятне дуги принимается равным 15 В.

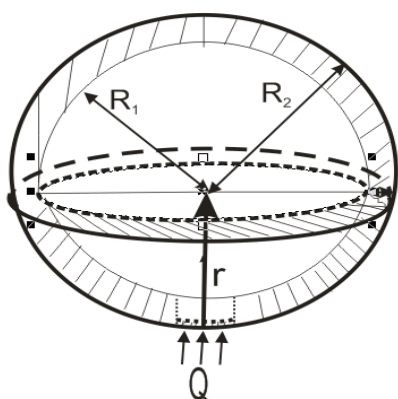


Рис.6/2. Расчетная схема для медного катода

В результате получено, что время прогрева поверхности медного электрода до $T_{пл}$ окажется порядка 10^{-5} с.

В данной работе выполнены расчеты теплового потока через опорное пятно дуги вращающегося катода, с целью определения ресурса его пригодности, т.к. эрозия

электродов в значительной мере определяется тепловыми потоками через пятна дуги в тело электродов. Для

решения поставленной задачи рассматривается задача испарения и плавления металла катода в радиусе пятна дуги, расчетная схема показана на рис.6.2. При этом следует отметить, что медь в качестве материала катода широко исследована экспериментально [35-38,45], что способствовало решению поставленной задачи.

Скорость расходования катодным пятном металла

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho v \delta h$$

где ρ - $8,3 \text{ г/см}^3$ – плотность при $T_{пл}$; h – размер пятна $= 10^{-2} \text{ см}$; $\delta = 0,3 \text{ мм}$ из предыдущего расчета; $v = 10 \cdot 10^2 \text{ см/с}$, $\Delta t = 1 \text{ с}$.

Подставляя значения получим

$$\Delta m = \rho v \delta h \Delta t = 8,3 [\text{г/см}^3] \cdot 10^2 [\text{см/с}] \cdot 0,03 [\text{см}] \cdot 10^{-2} [\text{см}] \cdot 1 [\text{с}] = 0,249 [\text{г}].$$

Выводы

Таким образом, медный полый катод относится к «холодным» катодам, и высокую температуру имеет только та часть поверхности, на которую опирается пятно дуги. Кроме того, скорость процесса распространения тела в телах зависит от отношения поверхности тел к их объему. Известно, что чем меньше отношение поверхности тела к его объему, тем и скорость протекания процесса будет меньше. Известно, также, что для шара скорость охлаждения больше, чем для любого другого тела. Что позволяет уменьшить глубину термического воздействия. Влияние нагрева теплотой дуги сказывается только в непосредственной близости от пятна в связи с высокой скоростью перемещения пятен, а также вращением электрода.

7. РАЗРАБОТКА КЛАССИФИКАЦИИ ОТКАЗОВ, ПРИЧИН, ВИДОВ И КРИТЕРИЕВ ОТКАЗОВ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ

Приведены результаты анализа и классификация отказов, причин, видов и критериев отказов быстрорежущих спиральных сверл

Сверло - единственный инструмент, предназначенный для получения отверстий резанием в сплошном материале. В общем объеме металлорежущего инструмента быстрорежущие спиральные сверла составляют около 30%. Поломка сверла - отказ, приводит к остановке оборудования и, как правило, к браку при обработке изделия. Это особенно характерно для автоматизированного массового производства, особенностью которого является большое количество одновременно работающих инструментов, когда невозможно проконтролировать текущее состояние каждого из них. Поэтому исследование причин, видов и критериев отказов быстрорежущих спиральных сверл, является достаточно актуальной задачей.

Проведены испытания быстрорежущих спиральных сверл в лабораторных и производственных условиях [46, 47]. Испытывались спиральные сверла по ГОСТ 10903–77 из быстрорежущей стали Р6М5 при обработке конструкционной стали 45. В лабораторных условиях испытания сверл проводились до функционального отказа – полной потери режущих свойств в результате износа конструктивных элементов, участвующих в формировании обработанной поверхности. По мере износа систематически фиксировалось состояние каждого из них. Метод испытаний до функционального отказа позволил определить реальную стойкость инструмента, конструктивный элемент, износ которого превалирует в потере работоспособности сверл и признаки потери работоспособности, предшествующие отказу [48]. В производственных условиях испытывались партии сверл по 25 шт. каждого диаметра при обработке заготовок из углеродистых конструкционных сталей на автоматических линиях, агрегатных станках и станках-автоматах. Сверла эксплуатировались до появления признаков потери работоспособности, за которыми следует функциональный отказ, выявленные при проведении испытаний сверл в лабораторных условиях, ставшие основой классификации, представленной на

рис.71.

Различают внезапный и постепенный отказы. Внезапный отказ это непредвиденная поломка сверла. Постепенный отказ происходит в результате постепенного накапливания повреждений в виде износа конструктивных элементов сверл. Постепенный отказ может быть двух видов: параметрический и функциональный. Параметрический отказ выражается в нарушении работоспособности в виде отклонения установленных значений хотя бы одного из параметров режущего инструмента, требований или характеристик обработки, выполняемой этим инструментом. К характеристикам обработки относят: силу резания, температуру резания, уровень вибраций и др. [49]. Таким образом, параметрический отказ может быть: стойкостной, качественный и характеристический. Стойкостной отказ выражается в достижении инструментом установленного периода стойкости. Качественный - в отклонении от установленных параметров качества обработанной поверхности. Характеристический - в отклонении от установленных характеристик обработки. Функциональный отказ выражается в полной потере работоспособности инструмента в результате износа - поломке.

Из вышесказанного вытекают причины отказов (рис.7.1). Причинами внезапного отказа являются: сбой станка, наличие бракованного инструмента или заготовки, например значительное превышения допустимого смещения перемычки сверла и осевого биения режущих кромок, или наличие раковины в заготовке на пути сверления.

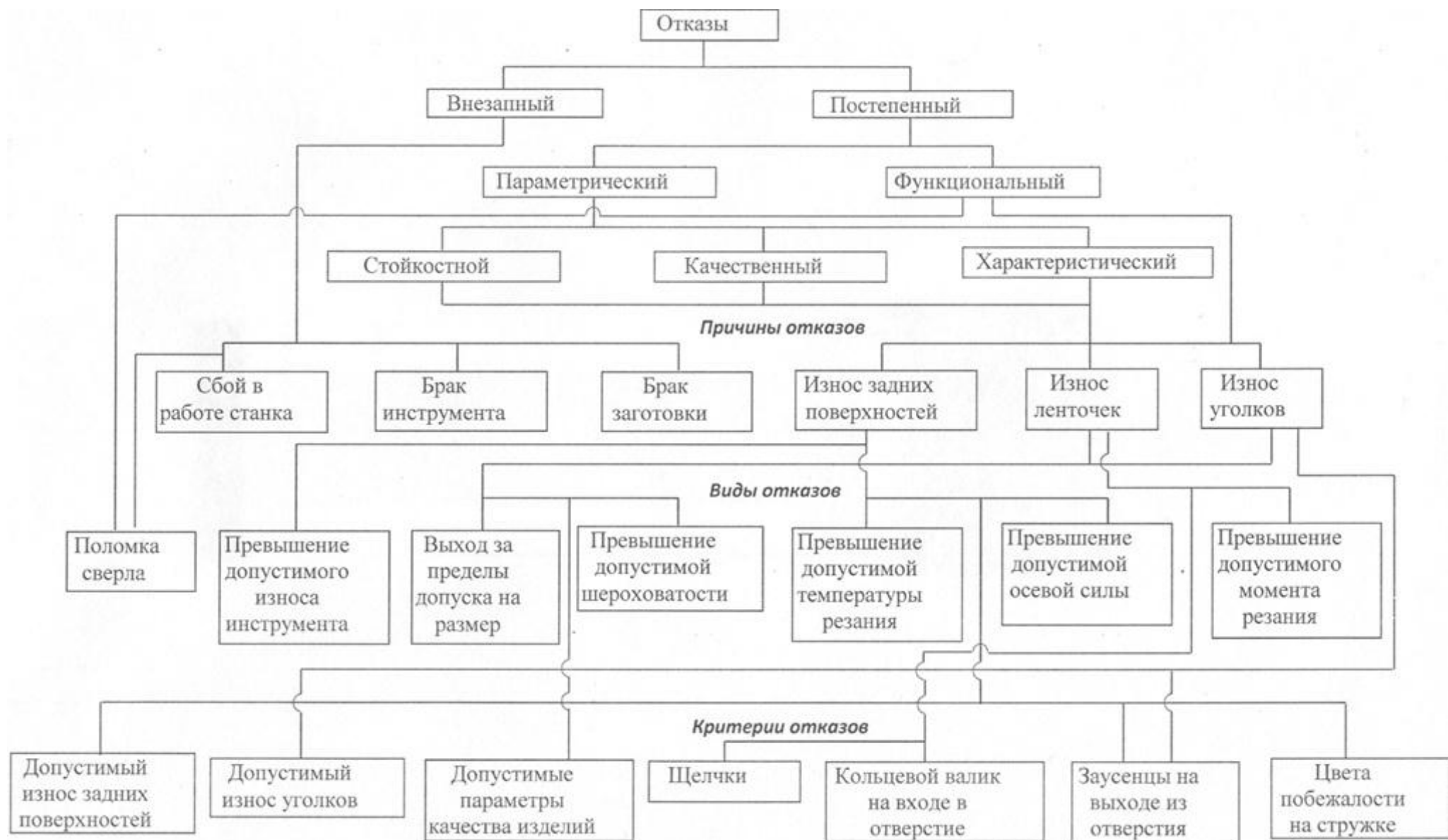


Рисунок 7.1 - Отказы, причины, виды и критерии отказов спиральных сверл

Причинами постепенного отказа спирального сверла всегда являются определенные величины износов его конструктивных элементов. В работе [46] показано, что на работоспособность спиральных сверл в основном влияют износы задних поверхностей лезвий, ленточек и уголков. Степень влияния указанных износов зависит от условий обработки. Износ перемычки не оказывает существенного влияния на работоспособность сверл.

По причине отказа, выраженного в износе задних поверхностей, могут произойти три вида отказов сверл: превышение допустимого износа инструмента, превышение допустимой температуры резания и превышение допустимой осевой силы.

Допустимым износом инструмента является критерий оптимального износа. Для всех инструментов, это определенная ширина фаски износа задней поверхности [50]. Критерий износа регламентируется нормативной литературой [51] и зависит от диаметра сверла. В работе [52] показано, что критерии оптимального износа оценивают работоспособность спиральных сверл, работающих на высоких скоростях резания, и не пригодны для сверл, работающих на средних и низких скоростях резания.

Допустимая температура резания для спиральных сверл из быстрорежущей стали Р6М5 равна 650 °С, что является пределом ее теплостойкости. Увеличение температуры резания при неизменной скорости резания непосредственно связано с увеличением осевой силы за счет увеличения износа задних поверхностей. Как показано в работах [52, 53], износ задних поверхностей в основном влияет на увеличение температуры резания и осевой силы при работе на высоких скоростях резания, на которых сверла выходят из строя в результате полной потери режущих свойств главных режущих кромок у уголков и налипания обрабатываемого материала на изношенные участки задних поверхностей.

Износы ленточек и уголков взаимосвязаны [54]. По причине отказа, выраженного износом этих элементов, могут произойти два вида отказов

сверл: выход за пределы допуска на размер и превышение необходимой шероховатости обработанной поверхности.

В работах [52, 55] показано, что при работе сверл на средних и низких скоростях резания в результате износа ленточек и уголков наступает момент, когда диаметр обработанного отверстия становится меньше первоначального диаметра сверла, что не допустимо, ни для отверстий под крепеж, ни для отверстий под дальнейшую обработку.

По причине отказа, выраженного в износе ленточек, может произойти отказ сверла в виде превышения допустимого момента резания. В работах [52, 53] показано, что износ ленточек в основном влияет на увеличение момента резания при работе на низких скоростях резания, на которых сверла выходят из строя в результате защемления изношенных участков ленточек в обрабатываемом отверстии, что сопровождается резким, пикообразным, всплеском момента резания. Физической основой этого является адгезионное схватывание изношенных участков ленточек с обработанной поверхностью.

Отказ сверла в любом случае недопустим, т.к. приводит к поломке инструмента, простою станка и к браку при изготовлении изделия. Для предотвращения этого используют критерии отказов. Критерий отказа это признак предельного состояния инструмента, появление которого является предвестником отказа.

Одним из критериев отказа и единственным, регламентированным нормативной документацией, является допустимый износ задних поверхностей. Однако, как было сказано выше, для быстрорежущих спиральных сверл износ задних поверхностей является причиной отказа только при работе на высоких скоростях резания. При работе на средних и низких скоростях резания (6 - 16 м/мин) допустимый износ задних поверхностей не может быть критерием отказа сверл [52].

ГОСТом [50] этот критерий отказа регламентируется для операций предварительной обработки с невысокими требованиями к шероховатости поверхности и точности обработки. На операциях окончательной обработки,

где основными требованиями к обработке являются допуски размеров, формы и расположения обработанных поверхностей, критериями отказа могут быть приняты их предельно допустимые значения [50].

В работах [49, 53] показано, что при работе сверл на низких скоростях резания (6 - 9 м/мин) существует более надежный критерий отказа «щелчки», которые являются результатом защемления изношенного участка ленточек в обрабатываемом отверстии. Однако этот критерий не работает при работе сверл на средних и высоких скоростях резания (12 - 30 м/мин).

При работе на средних скоростях резания (12 - 16 м/мин) критерием отказа являются заусенцы на выходной стороне отверстия и кольцевой валик на его входной стороне[49].

При работе на высоких скоростях резания, помимо допустимого износа задних поверхностей, надежным критерием отказа является появление цветов побежалости на стружке [49, 53].

Как видно из представленного выше анализа критериев отказов сверл, каждый из рассмотренных критериев действенен в определенном диапазоне скоростей резания.

В работе [56], в результате анализа взаимосвязи износов отдельных конструктивных элементов сверл, и зависимостей наработок от скорости резания с применением различных критериев отказов, предложен критерий отказа, не зависящий от скорости резания в диапазоне 9 - 30 м/мин. Таким критерием является допустимый износ уголков сверл. Показано, что для сверл диаметром 10 мм допустимый износ уголков равен 0,1 мм.

Выводы

1. Разработана классификация, включающая отказы, причины, виды и критерии отказов, и их взаимосвязи.
2. Проведен анализ критериев отказов быстрорежущих спиральных сверл в зависимости от условий их эксплуатации, и предложены критерии отказов не вошедшие в число регламентированных ГОСТом [50].
3. Представлен критерий отказа быстрорежущих спиральных сверл, не зависящий от условий их эксплуатации.

8. СТАБИЛИЗАЦИЯ РАЗМЕРОВ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

В процессе изготовления заготовок, механической, термической и других видов обработки деталей в них возникают остаточные напряжения. Эти напряжения неравномерные. Графитовые и другие включения, границы зерен, дислокации и другие дефекты и неоднородности структуры являются концентраторами напряжений [57] .

В местах концентраций величина остаточных напряжений может достигать и даже превосходить предел текучести исходного материала ввиду чего происходит пластическая деформация металла, сопровождающаяся короблением обработанных поверхностей детали. При этом пики напряжений в местах их концентраторов заметно снижаются, а средняя величина остаточных напряжений уменьшается значительно меньше.

Кроме того, в готовых деталях машин нередко совершаются остаточные фазово-структурные превращения металла. Например, при закалке стали не весь аустенит превращается в мартенсит. Остатки его претерпевают превращения в течение значительного периода времени. Эти аллотропические состояния стали имеют различную плотность ввиду чего указанные преобразования сопровождаются изменением размеров, искажением геометрической формы обработанных поверхностей, а также возникновением остаточных напряжений. Превращение одного процента остаточного аустенита в мартенсит увеличивает каждые 100 мм детали на 0,01 мм.

Превалирующая роль того или другого из указанных двух факторов в процессе самопроизвольного изменения формы и размеров готовых поверхностей деталей машин зависит от природы материала и его состояния.. В деталях из сплавов со стабильным фазово-структурным состоянием изменение формы и размеров поверхностей определяется релаксацией (уменьшением) внутренних напряжений. В деталях с нестабильной

структурой указанные изменения происходят в результате как фазово-структурных преобразований, так и релаксации остаточных напряжений. Причем фазовые и структурные преобразования ускоряют релаксацию остаточных напряжений, а последние интенсифицируют фазово-структурные превращения.

Эксплуатационные напряжения, суммируясь алгебраически с остаточными (пока суммарное достигнет предела упругости) ускоряют релаксацию остаточных напряжений. Как уже ранее отмечалось, пластическая деформация в микрообъемах металла, в результате которой и производится релаксация остаточных напряжений, упрочняет металл и повышает его сопротивляемость дальнейшим релаксационным процессам.

Чем больше сопротивление металла микропластическим деформациям, тем выше стабильность размеров и геометрической формы поверхностей изготовленных из него деталей в условиях эксплуатации и хранения. Количественной характеристикой указанной деформационной стабильности металлов принят так называемый прецизионный предел упругости, соответствующий напряжению, вызывающему после разгрузки остаточную относительную деформацию, равную 0,0001%. Это напряжение принято обозначать $\sigma_{-0,0001}$ [61].

Было обнаружено, что при растяжении многих сплавов вначале появляется отрицательная пластическая деформация (после снятия нагрузки), т.е. происходит укорочение образца. Затем при увеличении нагрузки деформация переходит в положительную. При испытании стали с содержанием углерода 0,4% наибольшее значение отрицательной микродеформации составило 0,002% (рис.8.1) [61]. Упрочнение стали закалкой повышает отрицательные значения пластической деформации. Термическое упрочнение титанового сплава повышает отрицательную величину микропластической деформации с 0,001% до 0,012%. Физика этого явления еще не выяснена. При конструировании высокоточной сопряжений возможность изменения размеров ввиду отрицательных остаточных де-

формаций необходимо учитывать.

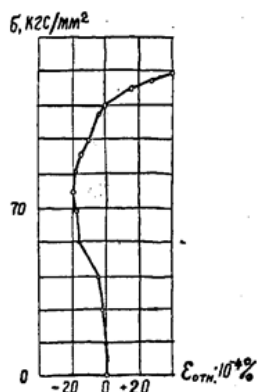


Рис.8.1. Появление отрицательной пластической деформации в начальный период растяжения (после снятия нагрузки)

Релаксация остаточных напряжений и фазово-структурные остаточные преобразования в заготовках могут осуществляться до безопасного уровня самопроизвольно, т.е. путем естественного старения. Для этого заготовки просто выдерживают на открытом воздухе (воздействие колебаний погоды и атмосферной температуры этот процесс ускоряет) от полу года до года.. Однако при современном темпе производства для естественного старения заготовок потребовались бы большие территории для складов заготовок. Кроме того, стареющие в этих складах заготовки значительно увеличили бы затраты незавершенного производства, т.е. снизили экономические показатели его.

Искусственные методы стабилизации фазово-структурного состояния и снижения остаточных напряжений основаны на использовании теплового или силового факторов или же одного и другого одновременно.

В первой и начале второй половины нашего столетия ускорение указанной стабилизации чугунных заготовок в основном осуществлялось путем низкотемпературного отжига. При этом методе искусственного старения заготовки нагреваются до $500-600^{\circ}\text{C}$, выдерживаются при этой температуре несколько десятков часов, а затем равномерно охлаждаются вместе с печью. С повышением температуры предел текучести металла понижается. Остаточные напряжения вызывают его пластическую

деформацию снижаются до уровня предела текучести нагретого металла поэтому, чем выше температура нагрева, тем меньшими будут оставшиеся напряжения [59]. Процесс очень длительный и использование сложных термических установок не эффективно.

Так как остаточные напряжения могут возникать также и при механической обработке, а также других технологических операциях (закалке и др.), то иногда процесс искусственного старения повторяется перед финишным этапом обработки детали, что удваивает указанные недостатки метода низкотемпературного отжига.

Современные методы ускоренного искусственного старения осуществляются путем: а) статической перегрузки, б) вибрационного нагружения, термоудара и ускоренного отжига. Базовые детали машины чаще изготавливаются из чугуна, ввиду чего их стабилизация имеет наибольшее значение.

Метод статической перегрузки заключается во временном нагружении чугунных заготовок статическими силами или моментами этих сил и выдерживании их некоторое время под нагрузкой (до 10 мин). Временная перегрузка чугунных заготовок вызывает в них микропластическую деформацию, снижающую максимальные остаточные напряжения и упрочняющую металлическую основу заготовки.

Статическую перегрузку чугунных отливок можно осуществлять любым способом. Однако нагружение изгибом требует в 20 и более раз меньшей силы, чем при растяжении или сжатии. Недостатком нагружения изгибом является то, что только наиболее удаленные от нейтрального слоя точки сечения заготовки нагружаются до возникновения необходимого напряжения, а остальные по мере приближения к нейтральному слою нагружаются все меньше вплоть до нуля. Однако именно релаксация напряжений, в этих, наиболее удаленных, слоях оказывает наибольшее воздействие на коробление отливок, поэтому нагружение изгибом вполне приемлемо [57].

Изгибать заготовки (или полуобработанные детали) нужно силой, вызывающей наибольшее растягивающее напряжение не менее половины предела прочности чугуна. Наиболее эффективной является перегрузка до максимальных напряжений растяжения, равных (0,75 - 0,85) от предела прочности. Для сложных деталей, для которых расчет нагружающей силы затруднен, ее необходимо проверять экспериментально. При этом 1-2 заготовки доводятся до разрушения, а нагружающую силу принимают равной 50-60% от разрушающей.

Метод статической перегрузки рекомендуется применять для стабилизации не очень жестких деталей на изгиб (столы станков, плиты, длинные станины, балки). Заготовка при этом как правило устанавливается своими концами на 2 опоры и нагружается силой посередине ее длины. Силовое воздействие необходимо осуществить 2-3 раза, переворачивая при этом заготовку, чтобы растягивающие напряжения возникали в как можно большей части объема ее.

Нагружать заготовку необходимо в направлении наименьшей жесткости ее. При одинаковой жесткости заготовки в направлении обеих осей поперечного сечения повторное нагружение следует производить в перпендикулярном направлении (например, при квадратном сечении заготовки).

О происшедших процессах релаксации остаточных напряжений и фазово-структурных преобразований можно судить по изменению (увеличению) погрешности геометрической формы некоторых поверхностей (обычно наиболее точных) после нагружения (в сравнении с таковыми до нагружения), а также по изменению размеров детали.

Релаксационной стойкостью называется максимальный уровень напряжений, который может выдерживать материал без образования в нем с течением времени пластических деформаций. Деталь считается стабилизированной, когда обеспечена релаксационная стойкость ее. В этом можно убедиться если в течение последующих 3-5 дней она не коробится в

чем можно удостовериться зная погрешности геометрической формы каких либо поверхностей сразу после нагружения и в последующие дни. Также контролируется отсутствие изменения размеров.

Вибрационный метод по своей физической сущности не отличается от метода статической перегрузки. При вибрации заготовки последняя деформируется и в ней возникают дополнительные напряжения, вызывающие пластическую деформацию, как и при статическом нагружении. Напряжения возникают знакопеременного характера, так что заготовку не нужно переворачивать, а повторяемость циклов нагружения значительно ускоряет процесс старения. Упругая волна от колебания передается на все участки детали, что значительно повышает равномерность нагружения ее [60]. Старению этим методом подвергают детали также не очень большой жесткости.

Для старения небольших деталей последние устанавливаются в специальных вибростендах с консольным креплением или же на двух опорах так, чтобы направление вибраций было перпендикулярно наибольшему размеру детали, т.е. чтобы колебания вызывали деформацию изгиба. Большие детали типа плит, станин устанавливают на две опоры или на плоское основание, а вибратор закрепляется сверху на детали. Предпочтительнее использовать вибратор с регулируемой частотой колебаний, что дает возможность работать на наиболее экономном резонансном режиме.

Мощность, потребляемая электродвигателем вибратора затрачивается на возбуждение колебаний заготовки, а также на пластические микродеформации, возникающие в металле в процессе ее старения [60]. По мере затухания процесса старения потребляемая мощность уменьшается.

На рис.8.2а показана схема виброобработки чугуновой подштамповой плиты пресса ПКФ-63. Плита размерами 900х650х85 мм до виброобработки предварительно обрабатывалась кругом, в ней также были обработаны 3 продольные Т-образные паза и центральное отверстие диаметром 130мм.

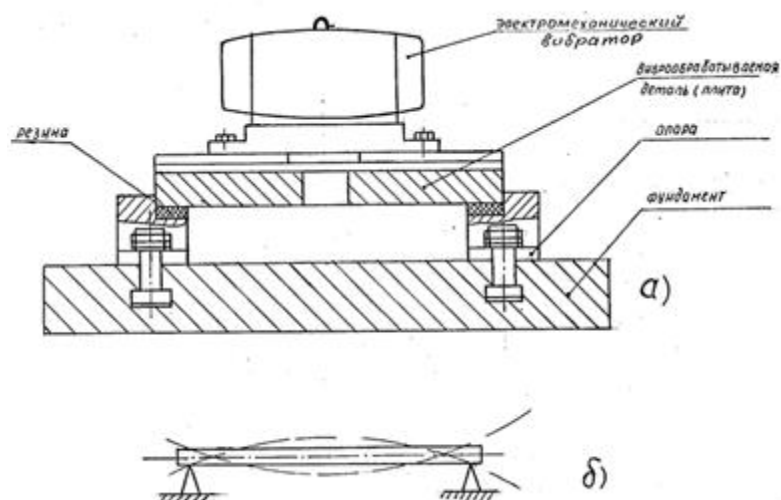


Рис.8.2.Вибрационное старение подштамповой плиты :
а) схема вибростенда ,б) схема изгиба плиты

Эксперименты проводились с использованием строительного вибратора ИВ-24 с числом оборотов 2800 в минуту и величиной возмущающей силы 1600 кг. Подвергаемая старению подштамповая плита устанавливалась на 2 опоры фундамента и в этих местах крепилось к нему болтами. Под действием возмущающей силы плита изгибалась поочередно вниз и вверх по схеме на рис.8.2,б. Во время виброобработки регистрировалась потребляемая электродвигателями вибратора мощность.

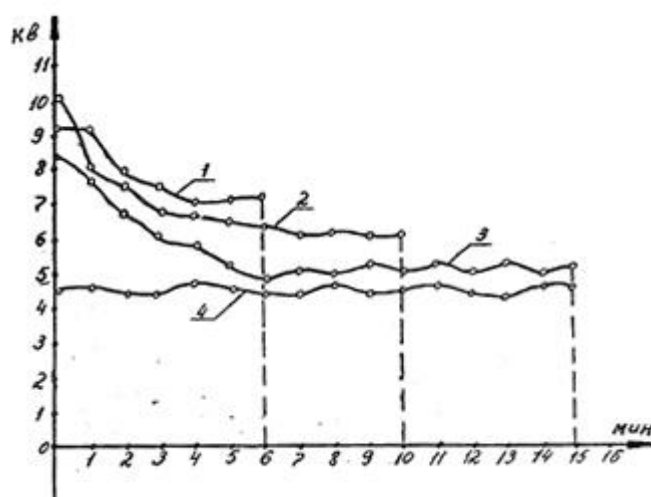


Рис.8.3. Изменение мощности, потребляемой вибратором 1,2,3- детали закреплялись на стенде

Как видно из графика (рис.8.3), через 4-6 мин. виброобработкой потребляемая мощность снижается на 24-40% и дальнейшее снижение ее

прекращается, т.е. старение плиты при данном режиме заканчивается.

При виброобработке незакрепленной плиты изгиб ее был не достаточным, пластические деформаций, по-видимому, не имели места, потребляемая электродвигателем вибратора мощность не изменялась (кривая 4). Неплоскостность виброобработанных плит увеличилась в среднем на 0,1 мм. Повторные замеры в течение 2-3 недель изменении неплоскостности не показали. Примеры изменения непрямолинейности двух плит в продольном направлении показаны на рис.8.4. Отсчет максимального отклонения производился от прямой, соединяющей крайние точки плиты (сплошная - до виброобработки, пунктирная - после).

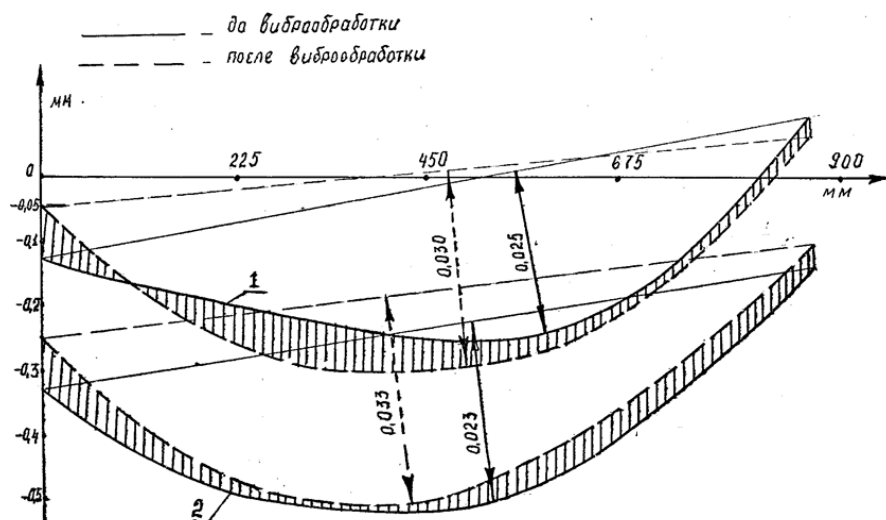


Рис.8.4.Изменение непрямолинейности двух подштамповых плит в результате виброобработки

Метод термоудара основан на создании в отливках при быстром их нагреве температурных напряжений, вызывающих временную перегрузку. Перегрузка отливки дополнительными напряжениями при ускоренном ее нагреве будет тогда, если при этом температурные перепады в отдельных ее элементах (стенках и т.п.) будут противоположны таковым во время перехода ее металла из пластичного состояния в упругое при охлаждении заготовки в литейной форме.

Другими словами, если какой то элемент отливки в литейной форме

быстрее остывал, (в сравнении с другими), при нагреве в печи он должен быстрее нагреваться. После заливки чугуна в опоку (литейную форму) для получения колосниковой решетки (рис.8.5) тонкие, находящиеся по краям, стержни 2 остывают быстрее центрального (имеющего большее сечение) стержня 1. Поскольку поперечины 3 довольно жесткие, то после выбивки из формы в центральном стержне 1 возникнут остаточные напряжения растяжения, а в крайних стержнях 2 - сжатия [57].

После загрузки в ранее нагретую печь для процесса старения методом термоудара стержни 2 прогреются быстрее, а стержень 1 - медленнее, т.е. возникает противоположное температурное поле. При этом временные напряжения сжатия в стержнях 2 и напряжения растяжения в стержне 1 возрастают. Под их действием произойдет пластическая деформация и снижение как сжимающих, так и растягивающих напряжений. После остывания решетки (оно должно быть как можно более равномерным) эти напряжения еще уменьшатся, так как более нагретые стержни 2 по длине уменьшатся больше, чем менее нагретый центральный стержень 1.

Величина указанных дополнительных напряжений будет тем больше, чем большая разность температуры нагрева крайних и центрального стержней. Эта разность температуры возрастает с увеличением средней

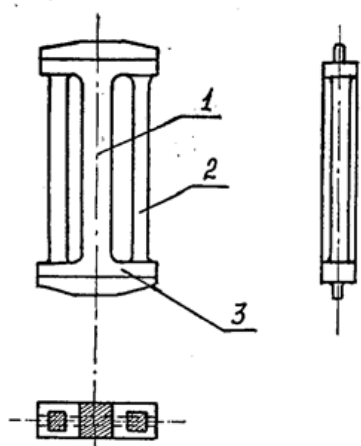


Рис.8.5. Литая чугунная заготовка, подвергаемая старению
методом термоудара

скорости нагрева заготовок, которая должна быть не менее 900 градусов в

час. Средняя скорость нагрева увеличивается с повышением температуры предварительного прогрева печи перед загрузкой заготовок. Она принимается от 400 до 600°C. Оптимальный эффект при старении отливок методом термоудара получается при нагреве заготовок от 200 до 400°C. При этом время нагрева колеблется примерно от 5 до 20 минут [60].

Как видно из рассмотренного примера с колосниковой решеткой, эффект термоудара проявляется тем больше, чем большая разность сечений отдельных элементов заготовки, способствующая неравномерному нагреву в печи.

Идентичность дополнительных напряжений методом термоудара не всегда удастся обеспечивать, так как условия нагрева заготовки в печи другие, чем при остывании ее в литейной форме. Это отличие еще более усугубляется, если старению методом термоудара подвергается уже предварительно обработанные детали. Поэтому этот метод не всегда применим. Если в стружку при черновой обработке уходит более 30-35% чугуна, то применять метод термоудара после этого не рекомендуется. Проведение старения этим методом до механической обработки при указанной величине последующего съема металла также не целесообразно, так как при этом происходят значительные перераспределения оставшихся напряжений и точность обработки не достигается. Кроме того, механическая обработка вызывает свои остаточные напряжения. Старение методом термоудара без предварительной механической обработки рекомендуется применять для отливок до если затем уйдет металла. Если же съем металла не превысит 15%, то можно подвергать старению этим методом отливки до 1000кг. Это различные коробки, небольшие станины и др. [58]. При необходимости метод термоудара может повторяться 2-3 раза.

Метод ускоренного отжига может применяться тогда когда метод термоудара неприменим, если скорость нагревания печи ниже 900 градусов в час. Метод ускоренного отжига является модификацией метода термоудара.

Скорость нагрева заготовок при этом методе 250-300 градусов в час.

Такую скорость обеспечивают большинство промышленных печей. Уменьшение скорости нагрева компенсируется дополнительной выдержкой при температуре 300-350°С в течение 60-70 минут. Метод ускоренного отжига сокращает процесс старения примерно в 10 раз в сравнении с низкотемпературным отжигом производительность печей при этом повышается в 3 и более раз.

Вывод. Современные методы ускоренного искусственного старения осуществляются путем: а) статической перегрузки, б) вибрационного нагружения, термоудара и ускоренного отжига. Базовые детали машины чаще изготавливаются из чугуна, ввиду чего их стабилизация имеет наибольшее значение.

9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ЗАТОЧКИ СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ НА ИХ СТОЙКОСТЬ

Представлены виды погрешностей заточки сверл, причины их вызывающие и пути устранения, определены закономерности влияния погрешностей заточки на стойкость сверл в зависимости от параметров режима резания и других условий обработки сверлением.

Ключевые слова: *сверло, биение, стойкость, режущая кромка, уголки, подача.*

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что более 60 % деталей машин и механизмов имеют отверстия различных видов, точности, шероховатости и т.п. В технологическом процессе изготовления отверстий резанием, первым видом обработки всегда является сверление, за которым при необходимости следуют другие виды обработки (зенкерование, развертывание, растачивание и т.д.) [62]. Сверление, единственный способ получения отверстий резанием, поэтому сверла являются одним из наиболее часто применяемых режущих инструментов. На промышленных предприятиях спиральные сверла составляют от 11,3 до 22,8 % от общего количества используемого инструмента. В общем объеме производства режущего инструмента наибольший удельный вес занимают спиральные сверла (около 30%). Поэтому исследования в области повышения эксплуатационных свойств спиральных сверл достаточно актуальны.

Результаты исследований, представленные в работе [63], показывают, что применение на автоматических линиях спиральных сверл с высокой симметричностью режущих кромок позволило повысить отношение между минимальной и максимальной стойкостями в 1,2 – 2 раза.

На основании вышеизложенного целью настоящих исследований является определение закономерностей влияния качества заточки

спиральных сверл на их стойкость.

Анализ состояния проблемы

Качество заточки спиральных сверл выражается в несимметричности режущих кромок относительно рабочей оси сверла, которая регламентируется допуском осевого биения режущих кромок (ГОСТ 2034-80). Например, согласно табл. 6 ГОСТ 2034-80 допуск осевого биения для сверл диаметром 10 мм и выше для классов точности А 1, А, В1, В составляет 0,06, 0,2, 0,23 и 0,3 мм соответственно. Рекомендуемые подачи для сверл диаметром от 10 до 20 мм - 0,22...0,3 мм/об [64], т.е. допуск осевого биения лежит в пределах рекомендуемых подач, кроме сверл класса точности А 1. Это значит, что какая-то часть сверл практически работает одним лезвием с большей нагрузкой и быстрее изнашивается, что снижает их стойкость. В связи с этим и для выполнения цели исследований необходимо решить следующие задачи:

1. Определить виды погрешностей заточки сверл и причины их вызывающие.
2. Определить закономерности влияния погрешностей заточки на стойкость сверл в зависимости от параметров режима резания и других условий обработки сверлением.
3. Определит пути повышения стойкости связанные с качеством заточки.

Методы и средства проведения исследований

Испытания спиральных сверл, результаты которых представлены в работе [63], осуществлялись на автоматических линиях и агрегатных станках в условиях автоматизированного массового производства, где используются стандартные сверла в большом количестве. В условиях автоматизированного массового производства поломка сверла приводит к остановке производственного процесса и, как правило, к браку обрабатываемой заготовки. Поэтому проведение исследований в этих условиях является наиболее целесообразным. При проведении настоящих исследований испытывались спиральные сверла по ГОСТ 10903-77 из стали Р6М5, при обработке сквозных отверстий в заготовках из углеродистых

конструкционных сталей марок 30, 35, 45. Испытывались партии сверл по ГОСТ 10903-77 в количестве 25 шт. одного диаметра в каждой партии. Сверла перед испытаниями контролировались на соответствие требованиям ГОСТ 10903-77, ГОСТ 4010-77, ГОСТ 2034-80. Контроль осуществлялся соответствующими методами контроля. В процессе испытаний периодически контролировался износ рабочих элементов сверл.

Статистический анализ 135 операций сверления на предприятиях автоматизированного массового производства [65] позволил установить, что при обработке углеродистых конструкционных сталей быстрорежущими спиральными сверлами диаметрами от 6 до 45 мм наиболее часто используется скоростной диапазон от 9 до 16 м/мин, при средней скорости резания равной 15 м/мин. Поэтому, как видно в табл. 1, производственные испытания различных диаметров сверл проводились с практически одинаковыми скоростями резания. Другие условия обработки, такие как диаметр сверл, подача, твердость заготовок, глубина резания варьировались.

Таблица 1

Условия производственных испытаний

Диаметр сверла d , мм	9,8	10,5	11,5	12,0	13,8	17,5	21,0	35,0
Скорость резания V , м/мин	13,8	12,6	12,6	12,0	12,6	13,8	13,2	11,4
Подача S , мм/об.	0,22	0,14	0,18	0,14	0,22	0,2	0,23	0,23
Твердость заготовок HB	200	300	200	180	200	190	300	300
Глубина сверления, мм	25,2	28,5	13,0	14,0	11,0	24,0	17,0	36,0

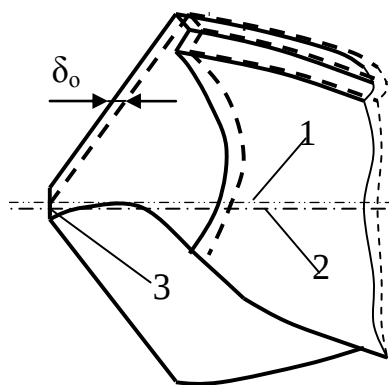
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ качества заточки

Погрешности заточки подробно рассмотрены в работе [66].

Возможные погрешности заточки сверл приведены на рис. 9.1-3 пунктирными линиями.

Погрешностью заточки, представленной на рис. 9.1, является то, что одно лезвие стачивается больше другого в результате погрешности закрепления сверла, когда ось сверла 1 не совпадает с осью заточки 2, шлифовальный круг подается на разную глубину, поперечная кромка 3



смещается с оси сверла.

Рисунок 9.1 - Смещение поперечной кромки

Погрешностью заточки, представленной на рис.9.2, является неравенство углов в плане φ_1 и φ_2 , в результате того, что после заточки первого лезвия сверло не было повернуто на 180° , либо после поворота положение оси сверла не совпало с первоначальным.

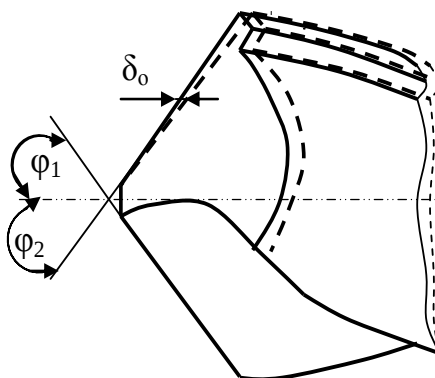


Рисунок 9.2 - Неравенство углов в плане φ

Погрешность заточки, представленная на рис. 3 является обобщающей комбинацией погрешностей, представленных на рис. 9.1 и рис. 9.2.

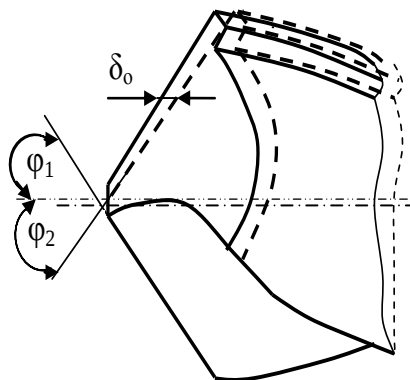


Рисунок 9.3 - Смещение поперечной кромки и неравенство углов в плане

В соответствии с ГОСТ 2034 - 80 несимметричность режущих кромок, в

результате погрешностей заточки, не должна превышать допуска осевого биения δ_o , представленного выше, проверяемого посередине режущих кромок. Но в этом случае при погрешностях заточки показанных на рис. 9.2 и рис. 9.3 осевое биение у уголков сверла будет значительно больше осевого биения посередине режущих кромок. В случае неравенства углов в плане ϕ (рис. 9.2) осевое биение у уголков сверла может увеличиться до двух раз от осевого биения посередине режущих кромок.

Известно, что конструкция спиральных сверл имеет ряд существенных недостатков неблагоприятно сказывающихся на их работоспособности, одним из которых является уголок [67], например максимальная температура резания имеет место на этом конструктивном элементе. Увеличение толщины среза на одном из уголков сверла в результате увеличения допуска осевого биения приведет к дополнительному увеличению температуры резания, ухудшению условий работы уголка и к снижению работоспособности инструмента. В эмпирической зависимости (1) для расчета скоростей резания при сверлении, представленной в справочнике технолога-машиностроителя [68], показатель степени при подаче равен 0,5.

$$V = \frac{9,8d^{0,4}}{T^{0,2}S^{0,5}}, \quad (1)$$

где T стойкость сверл.

Эта зависимость предназначена для интенсивных скоростей резания, в основном используемых в единичном и мелкосерийном производстве, рассчитанная по ней скорость резания для быстрорежущих спиральных сверл диаметром 10 мм равна 24 м/мин. Для сверл этого диаметра рекомендуемая справочником [68] подача 0,25 мм/об. Для случая, когда в результате погрешностей заточки сверло работает одним лезвием, т.е. толщина среза на этом лезвии удваивается, что можно считать пропорциональным увеличением подачи, то рассчитанная по зависимости (1) стойкость на скорости резания 24 м/мин снижается в 5,6 раза.

В работе [65] показано, что в автоматизированном массовом

производстве в основном используются более низкие скорости резания, соответствующие максимуму стойкостной зависимости 12-15 м/мин.

Для определения степени влияния подачи на стойкость сверл на этих скоростях резания использовалась зависимость, полученная на скорости резания 15 м/мин, представленная в работе [69] (рис.9.4).

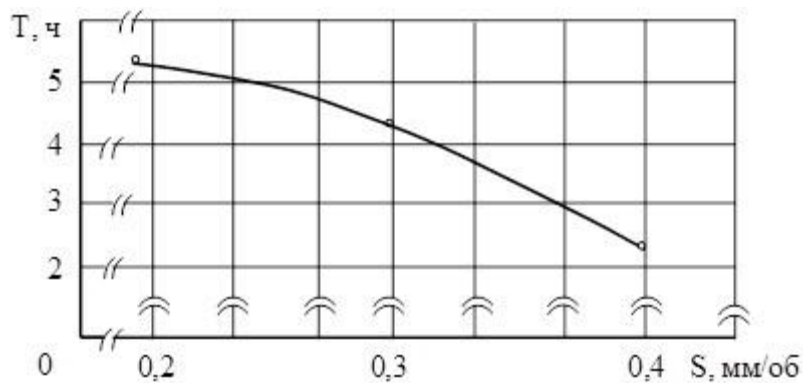


Рисунок 9.4 - Зависимость стойкости сверл диаметром 14,5 мм от подачи

Посредством аппроксимации кривой, представленной на рис. 9.4, в диапазоне подач от 0,18 до 0,3 мм/об получена следующая зависимость:

$$T = 2,72S^{-0,4}.$$

Для подач больших 0,3 мм/об зависимость имеет вид:

$$T = 0,28S^{-2,3}.$$

В работе [70] представлены результаты производственных испытаний сверл различных диаметров, которые позволили получить зависимость стойкости сверл от диаметра в условиях автоматизированного массового производства, имеющую вид:

$$T = 3,58d^{0,4}.$$

Тогда, зависимости стойкости сверл от диаметра и подачи будут иметь вид:

$$T = \frac{9,74d^{0,4}}{S^{0,4}}, \quad (2)$$

$$T = \frac{d^{0,4}}{S^{2,3}}, \quad (3)$$

где зависимость (2) для диапазона подач 0,18 - 0,3 мм/об, зависимость (3) для подач больших 0,3 мм/об.

Закономерности влияния осевого биения режущих кромок на

стойкость сверл

В работе [71] по результатам производственных испытаний определено, что распределения стойкости и износа партий сверл всех испытанных диаметров не противоречат нормальному распределению и позволяют принять для их описания закон Гаусса. Это позволило определить параметры распределений стойкости до отказа испытанных сверл, представленные в табл.2.

Таблица 2

Результаты производственных испытаний

Диаметр сверла, мм	9,8	10,5	11,5	12,0	13,8	17,5	21,0	35,0
Средняя стойкость до отказа, ч	8,1	1,87	8,73	8,57	10,24	11,95	2,17	2,81
Дисперсия стойкости σ , ч	2,65	0,28	1,38	1,98	2,24	1,63	0,65	0,87
Коэффициент вариации	0,33	0,15	0,16	0,23	0,22	0,14	0,3	0,3

Как видно в табл. 1 и табл. 2 условия обработки примерно в равной мере влияют на средние и среднеквадратические отклонения распределений стойкостей испытанных партий сверл. Поэтому, корреляционный анализ тесноты связи коэффициентов вариации с условиями обработки, представленными в табл.1, показал полное ее отсутствие, т.е. теснота группирования этих случайных переменных не зависит от условий обработки [72]. Однако, как видно в табл. 2 величина коэффициентов вариаций распределений стойкостей изменяется в широких пределах, от 0,14 до 0,33 для различных диаметров сверл. Наряду с тем, в работе [72] определена тесная корреляционная связь стойкости с подачей на оборот сверла. Поэтому причиной изменения коэффициентов вариации в столь широких пределах может быть величина разброса осевого биения режущих кромок в случайной выборке сверл одного диаметра, в результате которого, как показано выше, происходит увеличение толщины среза на одном из лезвий сверла до двух раз.

Известно, что величина $\pm 1,96\sigma$ покрывает 95 % площади под кривой нормального распределения [73]. Тогда для расчета минимальной стойкости

вполне достаточно воспользоваться 2σ . У сверл диаметром 9,8 мм минимальная стойкость, рассчитанная с применением значения двух сигма, наименьшая для твердости обрабатываемых заготовок до 200 НВ и составляет 2,8 ч., что не противоречит максимальному коэффициенту вариации распределения стойкостей этих сверл (табл. 2). Следовательно, вполне реально предположить, что в испытанной партии сверл этого диаметра разброс осевого биения режущих кромок был наибольший.

Рассчитанная по зависимости (2) стойкость для сверл диаметром 9,8 мм при подаче 0,22 мм/об в 2,7 раза выше стойкости, рассчитанной по зависимости (3) при подаче 0,44 мм/об. Тогда, при предварительном отборе данных сверл с минимальным биением режущих кромок их минимальная стойкость увеличится в 2,7 раза и станет равна 7,56 ч. Это, в свою очередь, приведет к уменьшению дисперсии до 1,4 ч., и увеличению средней стойкости до 11,73 ч., при этом коэффициент вариации уменьшится до 0,12. Повышение отношения между минимальной и максимальной стойкостями составит 2,7 раза, что близко результатам испытаний, представленным в работе [63].

Обоснование необходимости исключения из производства сверл с высокой погрешностью заточки

При расчете величины возможного увеличения минимальной стойкости в данной работе было использовано правило двух сигма, основанное на том, что $\pm 1,96\sigma$ покрывает 95 % площади под кривой нормального распределения [73]. Пять процентов при выборке сверл равной 25 шт. составляет 1,25 шт., что вроде бы несущественно. Однако из 25 сверл одного диаметра при коэффициентах вариации 0,33, 0,3 и 0,3 имеющих место у сверл диаметром 9,8, 21,0, 35,0 соответственно (табл. 2), одно сверло каждого диаметра может иметь стойкость 9 мин, 13 мин и 12 мин соответственно, что значительно ниже рекомендуемого периода стойкости [68]. Это приведет к преждевременному выходу сверла из строя, остановке автоматического оборудования и браку изготавливаемой детали. Этим обосновывается

необходимость исключения сверл с максимальным допуском осевого биения режущих кромок из производства.

Пути повышения стойкости сверл, связанные с качеством их заточки

1. Применение в автоматизированном массовом производстве сверл класса точности А1, допуск осевого биения режущих кромок которых не должен превышать 0,06 мм (табл. 6 ГОСТ 2034-80).

2. Контроль осевого биения сверл классов точности А, В1, В и отбор сверл с осевым биением не превышающим половину подачи на оборот сверла. При этом контроль осевого биения проводить на уголках сверла.

3. Значительно уменьшить погрешности заточки можно применением двухплоскостной заточки сверл, представленной на рис. 9.5.

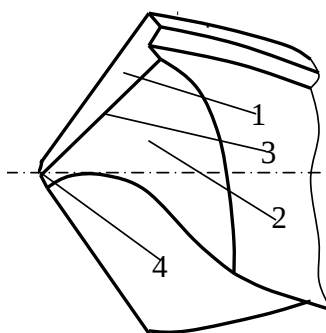


Рисунок 9.5 - Двухплоскостная заточка

Плоскость 1 затачивается под рабочим задним углом, плоскость 2 - под большим задним углом (ГОСТ 4010-77). Погрешности заточки исключаются, если ребро 3 пересечения плоскостей 1 и 2 каждого лезвия проходит через ось сверла. При такой заточке достаточен визуальный контроль качества. У двухплоскостной заточки есть еще одно существенное преимущество. Поперечная кромка 4 является ломаной линией с вершиной на оси сверла. Это исключает необходимость зацентровки отверстия перед сверлением, либо применения направляющих втулок.

Недостатком двухплоскостной заточки является большая трудоемкость по сравнению, например, с конической заточкой, выполняемой на специальных станках, но в условиях автоматизированного массового

производства преимущества двухплоскостной заточки могут быть экономически обоснованы.

Выводы и рекомендации

1. При максимальном допуске осевого биения режущих кромок толщина среза на одном из лезвий сверла увеличивается до двух раз, сверло практически работает одним лезвием, что приводит к значительному снижению стойкости сверл.

2. Применение в автоматизированном массовом производстве спиральных сверл с высокой симметричностью режущих кромок увеличивает минимальную стойкость в 2,7 раза.

3. Применение в автоматизированном массовом производстве спиральных сверл с высокой симметричностью режущих кромок не только повышает отношение между максимальной и минимальной стойкостью, но и повышает среднюю стойкость спиральных сверл.

4. При контроле осевого биения посередине режущих кромок осевое биение на уголках сверла может быть в два раза большим.

5. Контроль осевого биения необходимо проводить не посередине режущих кромок, а на уголках сверла.

6. Допуск осевого биения для сверл диаметром 10 мм и выше для классов точности А, В 1, В не должен превышать половины рекомендуемой подачи на оборот сверла.

7. В автоматизированном массовом производстве необходимо использовать двухплоскостную заточку сверл.

10. ПРОЦЕССЫ В ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ СПОСОБАХ УПЛОТНЕНИЯ

При динамических способах уплотнения формовочных смесей важнейшими признаками системы являются характер приложения внешней нагрузки, и состояния формовочной смеси перед уплотнением. Возникновение возмущений в уплотняемой смеси, их распространение, а также характер возникающих вслед за возмущениями течений, приводящих к уплотнению смеси, являются объектами дальнейшего рассмотрения.

Распространение возмущений в формовочной смеси может быть обусловлено передачей сил через контакты между твердыми частицами формовочной смеси или другими силами, действующими на частицы формовочной смеси.

Тогда система, описывающая динамику процессов в смеси при уплотнении может быть представлена как

$$DP = \langle D1; D2 \rangle,$$

где $D1 = \langle d_1^1; d_1^2 \rangle$ - наличие контактных сил между твердыми частицами формовочной смеси, которое может быть:

d_1^1 – нет; d_1^2 – есть.

$D2 = \langle d_2^1; d_2^2 \rangle$ - начальное состояние формовочной смеси, которое может характеризоваться как d_2^1 – нет ($v = 0$); d_2^2 – есть ($v \neq 0$), где v – скорость частиц формовочной смеси.

В табл. 1 представлены основные процессы, в которых распространение возмущений может характеризоваться рассмотренной выше системой.

Таблица 1

<D1:D2			
		d_2^1	d_2
	d_1^1	DP 1.1.	DP 1.2.
	d_1^2	DP 2.1.	DP 2.2.

Вариант DP1.1 характеризует пескодувный и пескострельный процессы на стадии транспортировки смеси в опоку или в стержневой ящик, а также SEIATSU процесс на стадии предварительного уплотнения. При этом предполагается, что силы на контактах между твердыми частицами формовочной смеси либо отсутствуют, либо в каждом сечении пренебрежимо малы по сравнению с силами, действующими со стороны воздуха на частицы формовочной смеси.

Вариант DP1.2 не имеет аналога среди распространенных процессов динамического уплотнения формовочных смесей.

Вариант DP2.1 может характеризовать процессы при импульсных методах уплотнения (GAS – IMPACT и AIR – IMPACT). При этом предполагается, что основные усилия передаются через контакты между частицами формовочной смеси, а силы, действующие со стороны газа или воздуха на частицы формовочной смеси отсутствуют или пренебрежимо малы по сравнению с контактными.

Для варианта DP2.2 наиболее характерный процесс – это встряхивание, когда все частицы смеси имеют начальную скорость перед ударом и в результате ударного взаимодействия элементов встряхивающей машины возникает возмущение в смеси, передающееся через контакты между частицами формовочной смеси.

Очевидно, что реальные процессы гораздо сложнее и в них могут иметь место различное комбинирование, выше рассмотренных случаев.

Рассмотрим силы, действующие в формовочной смеси при уплотнении, для рассмотренных выше вариантов. Для случая отсутствия силы на контактах между частицами формовочной смеси (варианты DP1.1 и DP1.2) уплотнение будет определяться в основном силой, приложенной со стороны газа (воздуха) к частицам смеси P_R . Наличие контактов, очевидно, до определенного предела будет влиять на значение P_R , затем, по мере уплотнения формовочной смеси, процесс уплотнения может определяться преимущественно контактными силами. В случае рассмотрения движения

отдельных частиц в потоке воздуха необходимо также определение сил аэродинамического сопротивления $F_{Aи}$ архимедовых сил F_{AD} , которые обуславливаются градиентом давления воздуха на поверхности частиц.

При представлении же перемещения формовочной смеси в опоке как целого массива, который уплотняется в процессе движения, контактные силы (варианты DP2.1 и DP2.2) можно учитывать по аналогии с данными работы [74] в виде среднего нормального напряжения σ , которое относится к сечению песчинок формовочной смеси, и среднего истинного напряжения σ_u , отнесенного к площади контактов. При этом полное описание процесса уплотнения требует установления зависимости σ от плотности рассматриваемого объема формовочной смеси ρ или пористости m , которые определяются деформационными характеристиками формовочной смеси.

Распространение возмущений в формовочной смеси при динамических методах нагружения носят волновой характер. Очевидно, что волновой подход при рассмотрении динамических процессов в смеси расширит наши представления о процессе уплотнения и позволит объяснить многие результаты традиционных исследований.

Для существующих систем динамического уплотнения формовочных смесей есть все основания предположить, что в уплотняемой формовочной смеси мы имеем дело с непрерывной волной сжатия, в которой параметры нарастают постепенно.

Основными характеристиками такой волны, которые должны определяться в различных точках уплотняемой формовочной смеси, являются:

- давления в прямом и боковом направлениях $P_1(t)$ и $P_2(t)$;
- скорость движения частиц в направлении распространения волны u .

При этом напряжения в волне равны

$$\sigma_1 = -P_1 \text{ и } \sigma_2 = -P_2 \quad (1.1)$$

Основные параметры волны, которые определяют процесс следующие:

1. Максимальные значения напряжений $\sigma_{1\max}$, $\sigma_{2\max}$;

2. Время действия волны T ;
3. Максимальные значения перемещений (s_{max}), скоростей (v_{max}) и ускорений (a_{max}) частиц формовочной смеси;
4. Импульс волны

$$I_1 = \int P_1(t) dt, I_2 = \int P_2(t) dt, \quad (1.2)$$

где пределы интегрирования выбираются от начала нарастания давления в данной точке до его падения до уровня начального значения.

Также должны быть определены (обычно экспериментально):

1. Время нарастания напряжений до максимума - τ_{max} ;
2. Скорость фронта волны (скорость распространения возмущений) – D ;
3. Скорость распространения максимальных напряжений – D_{max} .

Предполагается также, что в существующих системах динамического уплотнения формовочных смесей, волна сжатия является плоской. Тогда по [75] в некоторой области вблизи центра сжатия и разгрузка формовочной смеси происходят без возможности бокового сжатия или расширения, т.е. в условиях одноосного деформированного состояния. На участках, близких к стенкам опоки, на волну сжатия накладывается волна разрежения, идущая от стенок опоки, действия которой приводят к снижению давления, т.е. напряжений, а значит и степени уплотнения. Волна у стенок опоки перестает быть плоской.

Сложность волновой картины при уплотнении формовочных смесей обуславливается также многократным отражением волн от модельной плиты (элементов модели) и свободной поверхности формы. Изменение плотности формовочной смеси в процессе уплотнения также вызывает изменение параметров волн, таких как скорость распространения и длительность их действия.

Первые зависимости, позволяющие определить численные характеристики процесса уплотнения, носили эмпирический характер. Так, средняя плотность формовочной смеси ρ по проф. Аксенову Н.П. [74] определялась для процесса встряхивания как

$$\rho = 1 + K * v^{0,3}, \quad (1.3)$$

где K – коэффициент уплотняемости формы встряхиванием, $K = 0,35 \dots 0,55$; v – удельная работа встряхивания. В более поздних исследованиях при математическом описании формовочную смесь рассматривают как сплошную среду, в которой под действием внешних нагрузок возникают деформации, которые могут быть определены из уравнений равновесия. Так, проф. Аксенов П.Н. предлагает определять вертикальные сжимающие напряжения в формовочной смеси (σ) на глубине u для процесса встряхивания по зависимости [74]:

$$\sigma = \frac{A}{\Pi} \frac{\rho_o}{\xi f} \left(\frac{a}{g} + 1 \right) \left(1 - e^{-\frac{u}{A} \xi f} \right), \quad (1.4)$$

где A, Π – площадь и периметр опоки; ξ – коэффициент бокового давления; f – коэффициент трения формовочной смеси о стенки опоки; ρ_o – начальная плотность формовочной смеси; a – ускорения рассматриваемого слоя смеси; g – ускорение силы тяжести.

Построенное по этой зависимости распределение вертикальных сжимающих напряжений при встряхивании в опоке размерами 1000 x 800 x 300 мм и значениях параметров, равных $\rho_o = 1150 \text{ кг/м}^3$, $\xi = 0,45$, $f = 0,65$ и $a = 100g$ представлено на рис. 1.

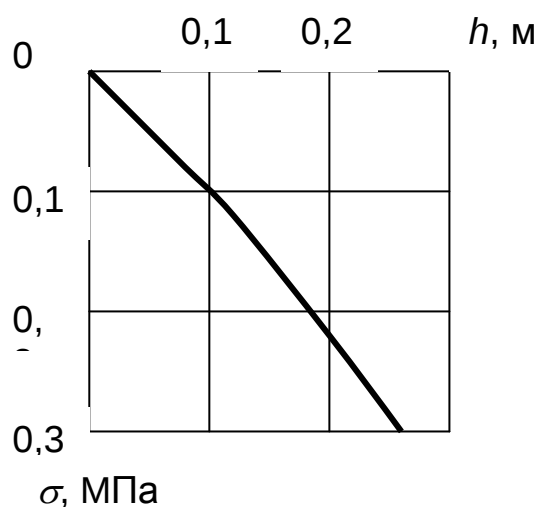


Рис. 10.1. Распределение сжимающих напряжений σ по высоте опоки h при встряхивании

Наиболее полное развитие данного подхода практически для всех существующих методов динамического уплотнения формовочных смесей представлено в работах проф. Орлова Г.М. и его учеников [76, 77]. На рис. 10.2 представлена расчетная схема, на основе которой предлагается следующее дифференциальное уравнение уплотнения формы:

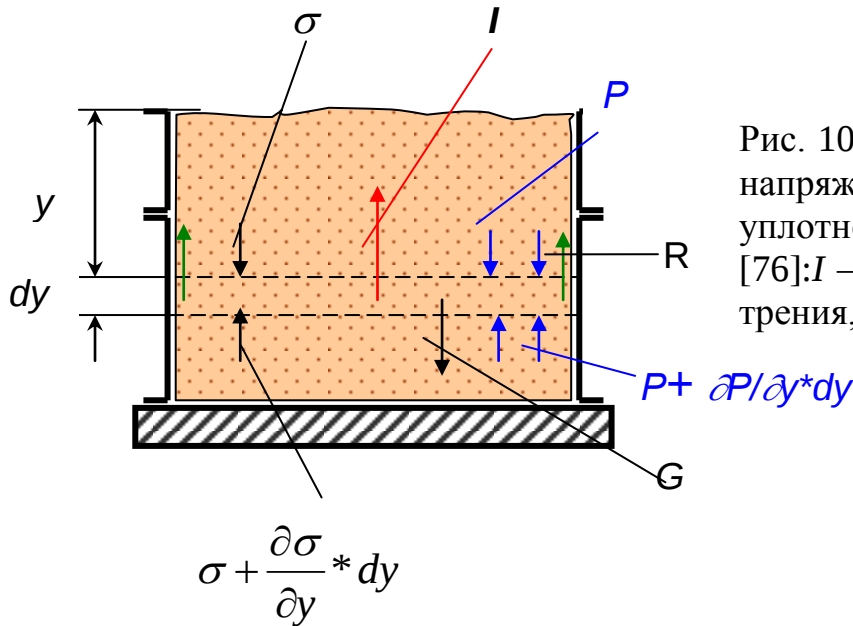


Рис. 10.2. Расчетная схема сил и напряжений при динамическом уплотнении литейных форм [76]: I – силы инерции, R – силы трения, G – силы тяжести.

$$\frac{\partial \sigma}{\partial y} = -(1-m) \frac{\partial P}{\partial y} - (a-g) * \rho - \xi * f * \frac{\Pi}{A} \sigma, \quad (1.5)$$

где σ - сжимающие напряжения;
 m – пористость формовочной смеси;
 a – ускорение рассматриваемого слоя смеси;
 g – ускорение силы тяжести;
 P – давление газа в порах;
 ξ - коэффициент бокового давления;
 f – коэффициент трения формовочной смеси о стенки опоки;
 A, Π – периметр и площадь опоки.

Распределение давления P при фильтрации воздуха предлагается при этом определять по следующей зависимости :

$$\frac{\partial P}{\partial t} = -n \frac{P}{m} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{u}{nP} * \frac{dP}{dy} - \frac{1}{\rho_1} * \frac{dP}{dt} \right), \quad (1.6)$$

где n – показатель политропы;

ρ - плотность рассматриваемого слоя формовочной смеси;

ρ_1 – плотность твердой компоненты (кварцевого песка) формовочной смеси.

При этом в работе [78] предлагается решение уравнений движения и формовочной смеси, как сыпучей вязкопластической сжимаемой среды, методом конечных элементов, расчетная схема и результаты которого для процесса высокоскоростного прессования представлены на рис. 10.3.

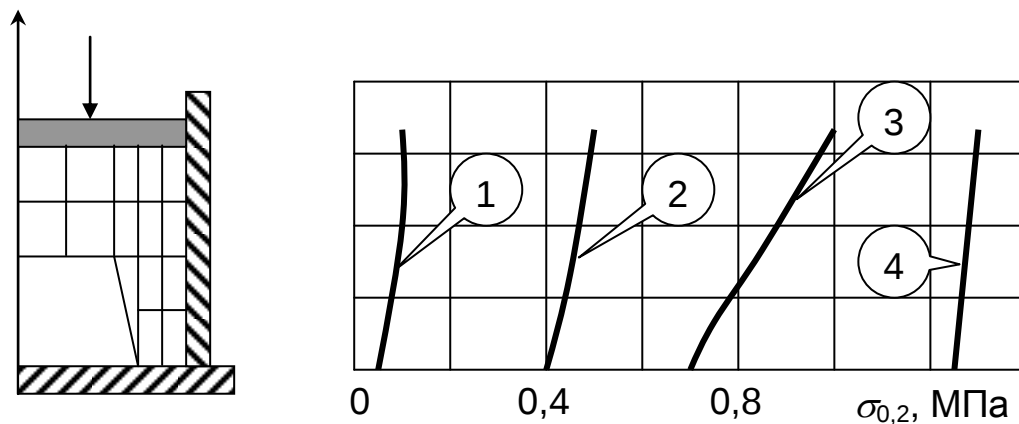


Рис. 10.3. Схема расчета и нормальные напряжения $\sigma_{0,2}$ в ячейках вертикального ряда: 1 – 4 соответственно времени $\tau = 0,005\text{с.}; 0,01\text{ с.}; 0,015\text{с. и } 0,02\text{ с.}$ [78].

Величина $\sigma_{0,2}$ определялась на специальном приборе трехосного сжатия и в соответствии с результатами испытаний авторами предложена зависимость изменения плотности уплотнения смеси ρ , равная

$$\rho = 1 + 0,45 \sigma_{0,2}. \quad (1.7)$$

Таким образом, уплотнение формовочной смеси может быть описано как уравнениями равновесия, так и уравнениями движения. В первом случае, учет изменения деформационных свойств формовочной смеси в процессе уплотнения может осуществляться изменением коэффициентов, определяющих деформацию смеси, например, жесткости и вязкости в различные периоды процесса. Во втором случае, уравнения движения замыкаются уравнениями, определяющими поведение формовочной смеси.

Моделирование процессов при уплотнении формовочных смесей является одним из главных направлений в проектировании и исследовании новых систем, выборе и обосновании оптимальных параметров и режимов, а также в анализе существующих технологий и оборудования. Модель процесса уплотнения формовочных смесей при том или ином методе должна быть согласована с общей системой изготовления отливки, т.е. должна стать подсистемой общей модели процесса изготовления отливки.

Объектом дальнейших исследований является процесс уплотнения формовочной смеси, определяющий основные служебные свойства (плотность и распределение плотности, прочность, газопроницаемость и др.), которые в свою очередь определяют качество отливки.

Моделирование процесса уплотнения песчаных форм при динамических нагрузках является комплексной задачей, включающей разработку аналитических описаний и проведение экспериментальных исследований. При этом основная сложность заключается в отсутствии единой и апробированной модели формовочной смеси, что связано как с недостаточной изученностью динамических процессов в уплотняемой форме, так и с изменением деформационных свойств формовочной смеси в процессе уплотнения по всему объему формы. Динамические процессы в уплотняемой формовочной смеси и элементах машины представляют разгон и торможение частиц и конгломератов формовочной смеси, а также их колебания и вибрации элементов машины. Аэро и газодинамические процессы в системах

уплотнения методами GAS – IMPACT, AIR – IMPACT и SEIATSU представляют формирование ударных газо-воздушных волн и их распространение. При этом имеют место в различной степени фильтрационные процессы, связанные с прониканием газо-воздушных смесей в уплотняемую форму, их удалением из формы, а также связанные с удалением внутрипорового воздуха.

С учетом выше отмеченного можно определить несколько подходов в аналитическом описании процесса уплотнения формовочных смесей. Волновой характер распространения деформаций и напряжений при уплотнении формовочной смеси динамическими способами очевиден. Возможность применения волнового подхода для описания процесса импульсного уплотнения форм представлена на рис. 10.4 (анализируются одномерные случаи без учета температурных эффектов).

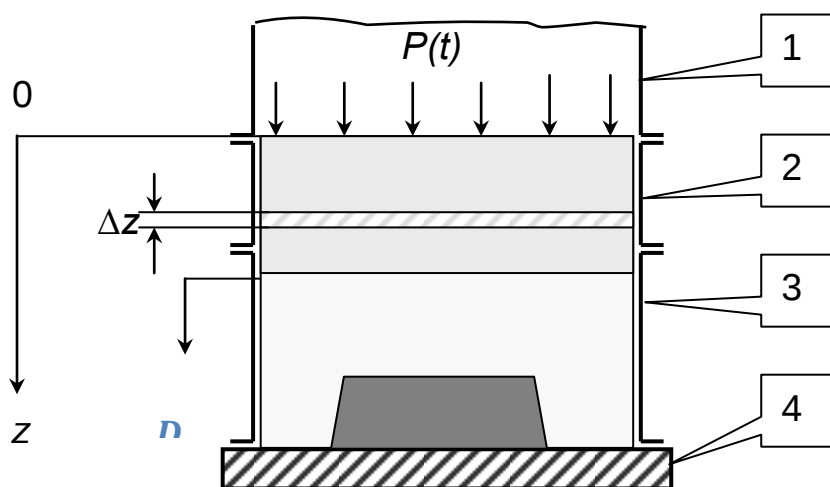


Рис. 10.4. Схема моделирования импульсного уплотнения формовочной смеси: 1 – герметичная камера (камера сгорания); 2 – наполнительная рамка; 3 – опока; 4 – модельная плита с моделью; $P(t)$ – давление воздуха (газа) над свободной поверхностью смеси; D – скорость распространения волны сжатия.

При этом основные уравнения, характеризующие движение формовочной смеси и уплотнение будут определены:
- Из закона сохранения массы

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho}{\partial z} * \frac{\partial s}{\partial t} = 0, \quad (1.8)$$

где ρ - плотность;

s – перемещение выделенного слоя смеси;

t – время.

- Из закона сохранения количества движения

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} * \frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial \rho}{\partial z} * \frac{\partial^2 s}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma}{\partial z}, \quad (1.9)$$

где σ - напряжения в смеси.

К этим основным уравнениям (1.8 и 1.9) добавляются уравнения, определяющие поведение формовочной смеси в данном процессе. В случае учета упруго – вязко – пластических свойств эти уравнения имеют вид [75]:

$$f(\sigma, \sigma_{np}, \varepsilon, d\varepsilon/dt)=0, \quad (1.10)$$

где σ, σ_{np} – нормальные и предельные напряжения в смеси;

$\varepsilon, d\varepsilon/dt$ – деформации и скорости деформаций в смеси.

Для рассматриваемой системы уравнений (1.8 – 1.10) деформация равна:

$$\varepsilon = ds/dz \quad (1.11)$$

Математическое описание уплотнения формовочной смеси, особенно в таких процессах, как SEIATSU или пескодупное (пескострельное) уплотнение, где важное значение имеет поток воздуха, также может быть опробовано использованием модели равновесного течения проф. Нигматуллина Р.И. [79], в которой среда рассматривается как псевдогаз с параметрами каждой из компонентов. Уравнения, описывающие данный

процесс, в этом случае имеют вид:

$$\frac{\partial P}{\partial t} + u \frac{\partial P}{\partial x} + a^2 \rho \frac{\partial u}{\partial x} = -u * a^2 \rho \frac{d \ln A}{dx}, \quad (1.12)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} = 0, \quad (1.13)$$

$$\frac{dS}{dt} = 0, \quad (1.14)$$

$$\rho = \rho_1 * m + \rho_2 * (1-m), \quad (1.15)$$

где P , u , ρ , ρ_1 , ρ_2 – давление, скорость и плотности среды и ее компонентов;

a – скорость распространения возмущений;

t – время;

x – продольная координата (в направлении распространения возмущений);

m – пористость;

A – площадь поперечного сечения канала (аналогично площади сжатия формовочной смеси в опоке);

S – энтропийная функция порового воздуха.

Очевидно, что применение выше указанных систем уравнений (1.8 – 1.11) и (1.12 – 1.15) к процессам динамического уплотнения песчаных форм требует дополнительных исследований, прежде всего экспериментальных.

Другим направлением моделирования процесса уплотнения является применение метода частиц, когда моделируется движение отдельной частицы (например, песка) или потока частиц. Так, в работе [80] представлены результаты моделирования движений частиц песка при уплотнении

воздушным импульсом и пескодувном методах. Как отмечается авторами, несмотря на относительно небольшое число моделируемых частиц – 1400 (при реальных числах частиц песка примерно $1,1 \cdot 10^8$ на 1 кг), полученные результаты подтверждаются экспериментальными данными. Описание движения песчинок формовочной смеси по методу частиц дает наглядные результаты и может стать эффективным средством для решения задач математического моделирования уплотнения формовочных смесей.

Оптимизация параметров и режимов уплотнения формовочных смесей составная часть процесса моделирования и может быть выполнена только после разработки модели процесса уплотнения. Параметром оптимизации может служить плотность в рассматриваемых точках объема формы. При этом принцип оптимального режима уплотнения формовочных смесей по проф. Аксенову П. Н. [74] об обеспечении соответствия сжимающих напряжений, уплотняющих формовочную смесь, сопротивлению смеси в каждый период уплотнения, остается актуальным.

Выводы:

1. Системное рассмотрение способов формирования нагрузок, характеристик процессов и оборудования позволяет не только систематизировать динамические методы уплотнения песчаных форм, но и сформировать основы для моделирования и оптимизации процесса уплотнения.
2. Параметром оптимизации может служить плотность в рассматриваемых точках объема формы, При этом необходимо обеспечение принципа оптимального режима уплотнения формовочных смесей по проф. Аксенову П. Н. об обеспечении соответствия сжимающих напряжений, уплотняющих формовочную смесь, сопротивлению смеси в каждый период уплотнения.

11. МОДУЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Сокращение сроков разработки и освоения выпуска новых конкурентоспособных изделий, пользующихся рыночным спросом, со всей очевидностью занимает преобладающее место в сегодняшнем экономическом развитии республики.

Обработка металла давлением (ОМД) является основой многих прогрессивных ресурсосберегающих технологий. Для реализации большинства технологических процессов ОМД необходимо реализовать давление инструмента или какой-либо среды на часть заготовки или нескольких определенным образом расположенных заготовок. Особое место в производстве занимает холодная объемная штамповка (ХОШ). Применение ХОШ совместно с другими штамповочными операциями позволяет получить готовые детали, не требующие или почти не требующие какой-либо механической доводки. Штампованные детали зачастую отличаются достаточной точностью и качеством поверхности, четким контуром, а также повышенной прочностью и жесткостью в результате упрочнения при пластической деформации.

Актуальность. В настоящее время в различных отраслях промышленности применяются изделия коробчатой формы. Данные изделия или их составные части в большинстве случаев изготавливают методами листовой штамповки. Листовая штамповка дает возможность получать легкие изделия и, благодаря упрочнению металла при деформировании, исключается дальнейшая термическая обработка изделий для выдерживания соответствующего давления в деталях.

В то же время в связи с постоянным ростом требований к качеству изделий и достаточно быстрой смене выпускаемой продукции неизменно увеличивается объем подготовки производства в единицу времени. Следовательно, инженер в современных условиях должен выполнять не

только большой объем работ, но и делать ее на высоком уровне.

Анализ процесса формирования изделий типа «Поддон» представляет теоретический и практический интерес. Этот процесс относится к числу недостаточно изученных. Недостаток фундаментального знания о процессе может стать причиной длительной разработки технологии и будет затруднять нововведение операции. Предсказание свойств изделий «Поддон» полученных штамповкой, а также проект и реализация процесса производится в большинстве случаев эмпирическим способом. Аналитические модели доступны, но не способны полностью охватить все явления. Численное моделирование – возможный ключ, чтобы получить большее количество знаний о процессе. Устойчивость заготовок не может быть точно предсказана эмпирическими моделями, потому что этот фактор, главным образом, определен пластическим разрушением. С производственной точки зрения – это наиболее важный параметр.

Исходя из выше указанных соображений, возникла необходимость решения **проблемы** автоматического определения напряженно-деформированного состояния рабочих органов штампов.

Направления исследования.

1. Поиск путей повышения надежности определения напряженно-деформационного состояния рабочих органов штампа.
2. Классификация модулей поверхностей исполнительных органов штампа.
3. Развитие основных положений модульных технологий на основе современного развития технологии штампового производства.
4. Совершенствование модульных технологий для рабочих органов штампа при разработке инструментальных блоков.
5. Моделирование исполнительных органов штампа на базе метода конечных элементов.
6. Экспериментальное исследование напряженно-деформационного процесса исполнительных органов штампа.

7. Разработка рекомендаций для проектирования модульных технологий и рабочих деталей штампов.

Цель и задачи. Создание математической конечно-элементной модели штамповки заготовки, описывающей механизм формообразования заготовки в штампе, позволяющей прогнозировать устойчивость заготовки.

Впервые поставлены и решались задачи:

1. Классификации модулей элементов штампов.
2. Разработка модулей поверхностей рабочих деталей штампов.
3. Анализ технических требований к рабочим деталям штампов и проектирование технологических блоков.
4. Разработка модели заготовки в процессе штамповки с помощью метода конечных элементов.
5. Анализ напряженно-деформированного состояния рабочих органов (матрицы и пуансона) теоретически и экспериментально в среде SolidWorks.

Научная новизна состоит в разработке математической модели заготовки и в изучении особенностей пластического формоизменения в процессе штамповки.

Методы исследования. Поведение материала при деформировании описывалось при помощи метода конечных элементов, аппарата математической статистики и метода планирования эксперимента. Решения задач базируются на теоретических разработках с их экспериментальным подтверждением, а также известных теоретических положениях технологии машиностроения, теоретической механики, теории сопротивления материалов и математического моделирования. Достоверность полученных результатов подтверждается корректностью разработанных математических моделей, их адекватностью по известным критериям оценки изучаемых процессов, использованием известных положений фундаментальных наук, сходимостью полученных теоретических результатов с данными эксперимента и результатами промышленной эксплуатации созданного технологического оснащения, а также с результатами исследований других

авторов.

В данной работе рассматривается реальная картина течения материала, с использованием метода конечных элементов. Также наибольшее внимание уделяется напряженно-деформированному состоянию заготовки.

Решение этой проблемы лежит в автоматизации труда инженера, а это, в свою очередь, требует дальнейшего развития научных основ проектных работ. Все это должно идти в направлении более глубокого изучения закономерностей процессов в производственных системах, повышения уровня обобщений, формализации результатов исследований, применения математических методов, совершенствования методов расчета и разработки технологических процессов, проектирования средств технологического оснащения, методов организации подготовки производства.

К настоящему времени в процессе эволюции производства от кустарных промыслов до традиционных методов сформировались различные формы организации производственных процессов, основу которых составляют три вида технологий: единичная, типовая и групповая, каждая из которых имеет свои достоинства и недостатки.

С начала становления машиностроения применялась единичная технология, когда под изготовление изделия разрабатывался единичный технологический процесс. Единичный технологический процесс позволяет учесть все особенности конкретного изделия и производственные условия, но требует много времени на его разработку. Штамповому производству характерна единичная форма организации.

В существующих источниках по определению параметров технологических процессов листовой штамповки, в частности вытяжки и отбортовки, расчеты сводятся к определению количества переходов для получения необходимой геометрической формы изделий и определению силовых режимов [81]. Практически отсутствуют достаточно простые методики расчетов оснастки по механическим свойствам деформированного

металла для указанных процессов.

С целью сокращения трудоемкости инженерных разработок проф. А.П. Соколовским [82] была предложена типовая технология. Развитием типовой технологии является групповая технология, основоположником которой является проф. С.П. Митрофанов [83], где разные изделия широкой номенклатуры объединяются в группы по признаку общности оборудования и оснастки для осуществления одной и той же операции, что повышает однородность труда при изготовлении разных изделий и позволяет поднять его производительность.

С расширением номенклатуры выпускаемых изделий, снижением жизненного цикла рассмотренные выше виды технологий уже не удовлетворяют требованиям производства, поэтому назрела острая необходимость поиска нового вида технологии, позволяющей существенно снизить сроки технологической подготовки производства и поднять ее эффективность.

Перспективным в этом отношении является новый вид технологии - модульная технология [84], базирующаяся на сквозном применении модульного принципа в конструкторско-технологической подготовке производства. Следует отметить, что в штамповых технологиях использование термин «модуль» отмечается в ряде отдельных публикаций, но не носит системного и теоретически обоснованного характера модульной технологии.

Рассматривая служебное назначение детали можно отметить, что ее функция обычно выполняется при помощи сочетаний поверхностей и, лишь в частных случаях, отдельных поверхностей. В соответствие с этим, в качестве объекта классификации проф. Базровым Б.М. [84] принял сочетание поверхностей, предназначенных для совместного выполнения законченной служебной функции детали. Такое сочетание поверхностей или отдельной поверхности Базровым Б.М. названо модулем поверхностей (МП). Тогда любая деталь можно представить в виде совокупности МП, каждый из

которых выполняет определенные служебные функции детали и может быть представлена своим кодом, что позволяет в дальнейшем записать геометрию конструкции изделия. Следующим шагом модульной технологии является разработка классификации МП.

Принципиальным отличием данной классификаций является то, что в качестве первого классификационного признака выступает служебное назначение МП [84]. Это позволяет однозначно разделить все поверхности любой детали на сочетания поверхностей, которые описываются такими характеристиками, как геометрическая точность, шероховатость, размеры заготовки.

При разработке модульных технологий не определяется последовательность обработки каждой поверхности детали, т. к. все поверхности объединяются в конструкторские МП, объединенные в технологические блоки обработки.

К достоинствам модульной технологии относим:

- ✓ упрощение и снижение трудоемкости проектирования технологических процессов изготовления деталей;
- ✓ при обработке поверхностей «внутри» каждого МПИ задача однозначно решается выбранным типовым технологическим блоком;
- ✓ формирование последовательности обработки МПИ резко сокращает количество вариантов маршрута их обработки;
- ✓ перераспределение по маршруту обработки в процессе проектирования или изготовления;
- ✓ позволит повысить загруженность станочного оборудования и снизить затраты времени на транспортирование и пролеживание деталей.

В то же время методика проектирования модульной технологии не включает вопросы технологического оснащения (модульные оборудование, инструментальные наладки и приспособления), что делает этот тип

организации производства незавершенным. Проф. Базровым Б.М [84] предлагается довольно сложный путь выявления технологического оснащения процесса посредством размерного анализа с применением теории базирования, что представляет научный интерес, но инженерное применение этого анализа является трудоемким и сложным.

Пользуясь современными компьютерными программами (средними САПР, к примеру, SolidWorks11 и более поздними версиями) можно провести в ручном режиме размерные анализы проектируемых МП и при помощи программного обеспечения SolidCam типовых технологий. В связи с этим, для совершенствования предлагаемой Базровым Б.М., следовало бы совершенствовать один из этапов технологической операций – выбор или разработка оснастки с последующей адаптацией для этих целей компьютерных программ.

Модульная технология предложена проф. Базровым Б.М [84] в основном для механической обработки резанием со снятием стружки может быть использована и для обработки металла давлением (ОМД), являющейся основой многих прогрессивных ресурсосберегающих технологий. Для реализации большинства технологических процессов ОМД необходимо реализовать давление инструмента или какой-либо среды на часть заготовки или нескольких определенным образом расположенных заготовок.

Инструментальное производство штампов отличается от станкостроения и других отраслей машиностроения высокими требованиями к точности и качеству поверхности и поверхностного слоя рабочих органов оснастки (точность соответствует 7-8, а иногда и 6 степеням точности стандартов ISO при шероховатости Ra 0,08 мкм и менее; твердость HRCэ 62...64).

На первых этапах проектная документация разрабатывается, как правило, ведущим специалистом. Сокращение трудозатрат возможно при использовании типовых МП, а при подготовке производства штампов появляется возможность по новому анализировать модульные технологии.

Характеристики точности, а также параметры качества поверхности и поверхностного слоя изделий позволяют разработать технологические модули (блоки).

При проектировании штампов, как правило, проводятся прочностные расчеты. При инженерном проектировании используются упрощенные методы расчетов. Это приводит к не оптимальному решению, выражающегося в выборе оборудования при увеличенных коэффициентов запаса; материалов матриц и пуансонов; геометрии рабочих деталей.

Недостаточная изученность названных технологических процессов обуславливает наличие значительного объема ручных доводочных работ при изготовлении штампа и необходимость интуитивного управления прессом при формировании детали «Поддон».

Добиться высокого и стабильного уровня качества формообразуемых деталей можно будет только при создании надежных математических моделей и научно-обоснованных методов расчета технологических параметров, позволяющих наиболее рационально управлять кинематикой исполнительных органов гидропресса, оснащенного системой числового программного управления.

Для решения поставленной задачи необходимо определить с помощью информационной технологии влияние радиуса закругления матрицы при отбортовке на конечную геометрическую форму горловины, напряженно-деформированное состояние в ней, упрочнение и степень использования ресурса пластичности деформированного металла. Поэтому, злободневным является использование современных методов для проведения численных экспериментов, которые дают возможность определять силовые режимы, конечную геометрию изделий и величины упрочнения деформированного металла. На кафедре ТМ КГТУ создана информационная технология для проектирования процессов холодной объемной штамповки и формообразующих операций листовой штамповки. Она основана на создании математических моделей и проведении моделирования указанных процессов

на базе метода конечных элементов (МКЭ) и разработанного фирмой SolidWorks пакета прикладных программ. Моделирование МКЭ способом начальных напряжений позволяет определить упруго-пластическое состояние металла при холодном деформировании из исходного состояния заготовки до получения конечной формы изделия с учетом конструктивных (геометрическая форма деформирующего инструмента), технологических (степень деформации, форма заготовки, тип смазки, смещение деформирующего инструмента, разгрузка после пластической деформации) и физико-механических (упругие свойства материала, диаграмма истинных напряжений, диаграмма пластичности) факторов, которые влияют на формообразование изделий. Информационная технология позволяет получить все данные для проектирования технологии деформирования и штамповой оснастки: силовые режимы, точное распределение удельных усилий на деформирующем инструменте, конечные размеры изделия с учетом разгрузки, степень упрочнения деформированного металла для прогнозирования или обеспечения механических свойств по объему заготовки.

На одном из этапов работы предполагается на основе численных экспериментов разработать технологический процесс получения составных деталей изделия «Поддон» объемом $0,01\text{м}^3$ с обеспеченными механическими свойствами деформированного металла в стенке изделия, спроектировать и изготовить штамповую оснастку, а также изготовить исследовательскую партию изделий. Решить все задачи, связанные с достижением поставленных целей, основываясь только на экспериментальных исследованиях или только на базе математического моделирования не удастся, поэтому в настоящей работе принят экспериментально-теоретический метод исследования, который предполагает формулировку основной гипотезы с ее экспериментальным подтверждением и последующей разработкой математической модели, описывающей весь класс исследуемых процессов.

Экспериментально-расчетный метод конечных элементов может быть

продемонстрирован определением напряженно-деформационного состояния рабочих деталей штампа (рис. 11.1, 11.2 и 11.3).

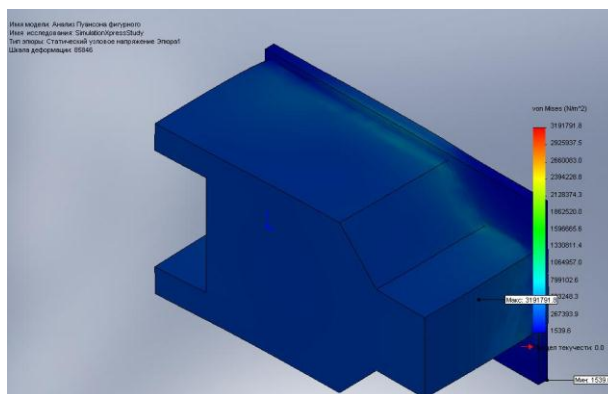


Рис. 11.1. Напряжения пуансона фасонного при вырубке крышки

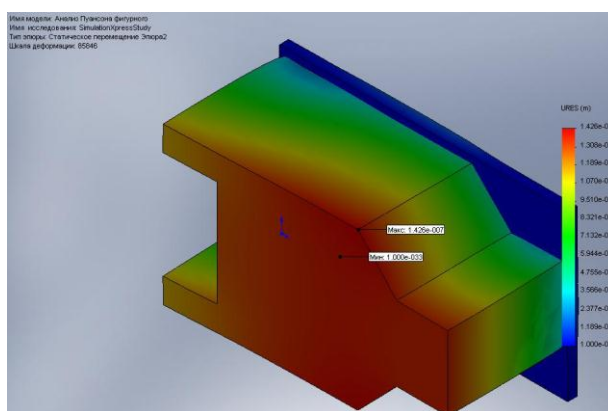


Рис. 11.2. Деформаций пуансона фасонного при действии нормальных сил

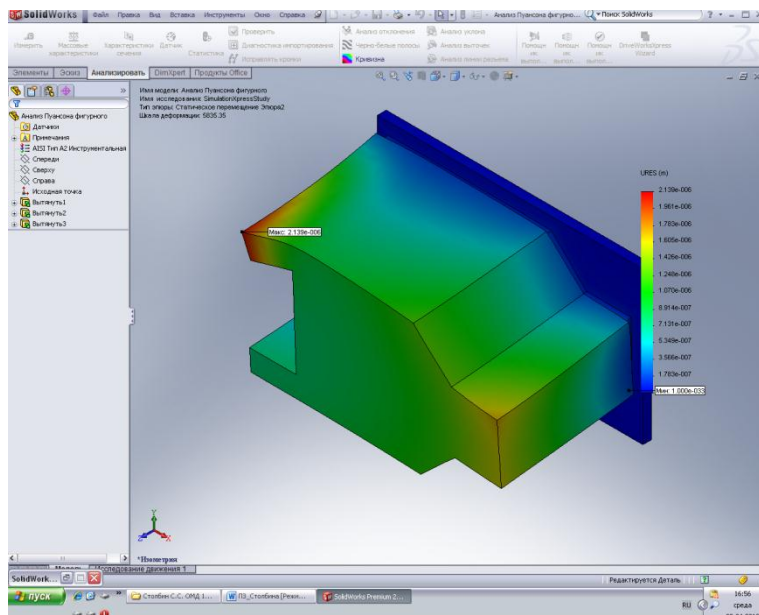


Рис. 11.3. Деформация пуансона фасонного при действии изгибающих сил

При эксплуатации вопросы качества и стойкости исполнительных органов приобретают первостепенное значение вследствие неуклонного

повышения требований и к конкурентоспособности изделий машиностроения. Одной из причин повышения трудоемкости их изготовления являются многочисленные характеристики качества. Наличие многообразия характеристик качества привело к появлению множества методов и средств проектирования, и тем самым повысило трудоемкость и стоимость изготовления оснастки.

Однако при подготовке производства технологической оснастки наталкиваются на ряд существенных трудностей таких, как недостаточное знание тех явлений, которые имеются при выполнении изделием служебных функций и влияние на процесс работы штампов погрешностей качества их сборочных единиц и отдельных деталей. Использование модульных технологий значительно упрощает и ускоряет подготовку инструментального производства.

Унификация представляет собой эффективный и экономичный способ создания на базе исходной модели ряда производных машин. В настоящее время существует несколько направлений решения этой задачи, что способствует сокращению номенклатуры изделий и стоимости изготовления, упрощению эксплуатации и ремонта машин. Одним из направлений унификации изделий (CAD) и их изготовления (CAM) является типизация.

Наиболее верным направлением развития CAD/CAM-систем является концепция автоматического распознавания конструктивных элементов детали с целью применения к ним оптимальных технологических процессов их обработки. Данной концепции напрямую соответствует модульная технология машиностроительного производства, которая успешно применяется во многих других отраслях.

Модульный принцип – особенность построения технических систем, заключающаяся в подчинении их размеров проектному модулю и в обеспечении возможности комплектования разнообразных, сложных, нестандартных технических систем с большим различием характеристик из небольшого, экономически обоснованного количества типов и типоразмеров

одинаковых первичных (типовых или стандартных) общих модуль-элементов (рис.11.4). Наиболее доступным является другое определение. Модульный принцип – это построение различных технических систем с разнообразными характеристиками путем компоновки их из типовых модулей ограниченной номенклатуры [84].



Рис. 11.4. Классификация модулей

Модульный принцип в машиностроении призван связать в единую систему проектирование изделий, разработку технологических процессов, создание средств технологического оснащения и организацию производственных процессов. Таким образом, все эти этапы должны отвечать определенным требованиям и обладать определенными свойствами, должны быть организованы на основе одной единой технологии - модульной технологии.

Началом использования модульной технологии в машиностроении явилось нахождение элементарных единиц, а именно конструктивных элементов деталей, названных как модуль поверхности или модуль поверхностей. Данные модули поверхностей представляют собой отдельные поверхности или совокупность поверхностей детали, обрабатываемые за один ее установ и обладающих определенными свойствами.

На сегодняшний день разработана и классификация модулей поверхностей [84], на верхнем уровне которой все модули разделены по служебному признаку на три группы (рабочие, базирующие, связующие). На следующих уровнях классификации модули поверхностей подразделяются

по признакам, характеризующим их конструктивно–геометрическое оформление (внутренние, наружные, тела вращения, цилиндрические, конические, плоские поверхности и т.д.). Каждому модулю поверхности должны соответствовать свои технологические процессы их обработки и соответственно свое технологическое оснащение.

Проектирование деталей методом компоновки из модулей поверхностей предполагает и иное оформление чертежа – теперь на чертеже детали должны быть указаны модули поверхностей, из которых она состоит, код каждого модуля поверхности в соответствии с их классификацией, порядковые номера и их граф. В спецификации детали также необходим ввод дополнительной информации, отражающей размерные связи модулей поверхностей, определяющие их положение, требования к точности размеров и т.д. Таким образом, конструкторский чертеж детали может быть представлен в более понятном для технолога виде, что значительно снизит время технологического проектирования.

На сегодняшний день наибольший интерес представляет автоматическое распознавание конструктивных элементов на 3D-модели детали, так как современные CAD/CAM-системы работают именно с трехмерными моделями. Для этого необходимо не только изменение представления чертежа детали, но и изменение свойств трехмерных моделей, их совершенствование. Например, отверстия трехмерной модели детали должны обладать точностью как диаметрального размера, так и относительного расположения оси, а кроме того и рядом других характеристик, для автоматического создания технологического процесса их обработки.

Такой подход к организации машиностроительных производств хорошо поддается автоматизации. Таким образом, для каждого распознанного конструктивного элемента на трехмерной детали автоматизированные системы смогут самостоятельно применить необходимый технологический процесс его обработки. Однако для этого необходимо создание четких и однозначных взаимосвязей между модулями поверхностей и

технологическими процессами. Необходимо создание классификации технологических процессов обработки модулей поверхностей. Определенную трудность в создании подобной классификации составляет существование большого разнообразия самих технологических процессов, что требует их предварительной унификации, а также выявления основных критериев, которые будут положены в основу классификации технологических процессов.

Кроме классификации технологических процессов необходимо также и создание классификации технологического оснащения, создание которой также связано с многочисленными трудностями. В первую очередь главной проблемой является существование большого разнообразия самого технологического оснащения, а также их независимое развитие различными производителями, предлагающими свои индивидуальные конструктивные решения, чем и конкурируют на рынке.

Все классификации должны быть взаимосвязаны и согласованы между собой. Создание подобных классификаций, их практическая реализация резко повысят рентабельность и эффективность машиностроительного производства. Таким образом, наиболее верным направлением развития машиностроительного производства, а также и автоматизированных систем является построение их на основе единой (типовой) модульной технологии.

ВЫВОДЫ:

1. Модульные технологии в производственных условиях весьма перспективны.
2. Модульные технологии охватывают все этапы подготовки производства: проектирование, изготовление и организацию производства.
3. Наибольшим соответствием требованиям подготовки производства отвечает программное обеспечение Solid CAD/CAM.

12. ЭКСТРУЗИЯ (ГОРЯЧЕЕ ПРЕССОВАНИЕ)

Принцип способа теплой деформации известен давно и наряду с ковкой и прокаткой является важным процессом в обработке металлов давлением. Состояние напряженного сжатия в зоне деформации особенно благоприятствует к способности материала поддаваться деформации. Высокие напряжения, действующие в области деформирования, позволяют обрабатывать трудно деформируемые материалы.

Из поперечного сечения прессованного образца и исходного поперечного сечения рассчитывается коэффициент вытяжки V_{Pr} :

$$V_{Pr} = \frac{S_0}{S} \quad (1)$$

Из логарифмического коэффициента вытекает степень коэффициента вытяжки φ .

$$\varphi = \ln \frac{S_0}{S} \quad (2)$$

Скорость выхода прутка и скорость подачи штампера связаны друг с другом по уравнению (3).

$$v_{Produkt} = V_{Pr} \cdot v_{Stempel} \quad (3)$$

Результаты исследований показывают, что при обычной деформации, и особенно в ходе гидростатической теплой деформации, структура сильно измельчается через динамическую рекристаллизацию.

Гидростатическое теплое прессование было применено в последние годы очень интенсивно K.U. Kainer и его сотрудниками для изготовления профилей из магниевых сплавов [85-89]. При этом были гидростатически прессованы различные магниевые сплавы для получения мелкозернистой структуры и, при условиях близких к промышленным, наблюдалось значительное измельчение зерна. Самое мелкое зерно со средним размером 1,8 мкм было достигнуто в деформируемом магниевом

сплаве ZE10, следуемым другими магниевыми сплавами AZ31, ZK30 и AZ61 с размером зерна от 2 до 4 мкм.

2. РКУП-процесс

Процесс интенсивной пластической деформации показал себя, в последние годы, как важный способ для получения УМЗ-материалов. Первые работы в области РКУП-процесса появились в пятидесятые годы XX-века и основываются на классические работы Бриджмана, в которых плоские образцы расплющивались и одновременно подвергались к скручиванию. Затем были разработаны и другие процессы интенсивной пластической деформации, из которых больше всего в данное время применяется равноканальное угловое прессование (РКУП). При этом заготовка продавливается через наклонные каналы с одинаковой площадью поперечного сечения (**рис. 12.1**). Вследствие этого в плоскости пересечения обоих каналов заготовка претерпевает сильную деформацию сдвига.

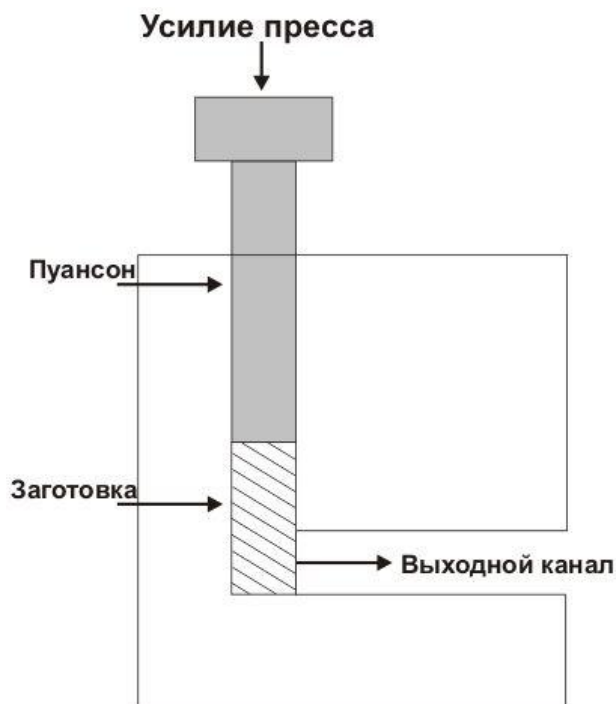


Рис. 12.1: Принцип РКУП-процесса

Заготовка может быть деформирована РКУП-процессом многократно, так как после выхода из матрицы поперечное сечение остается неизменным. Таким образом, в материал можно внести экстремально высокую

деформацию. На **рис.°12.2** показаны обычные четыре схемы РКУП-процесса: А, В_А, В_С и С [90].

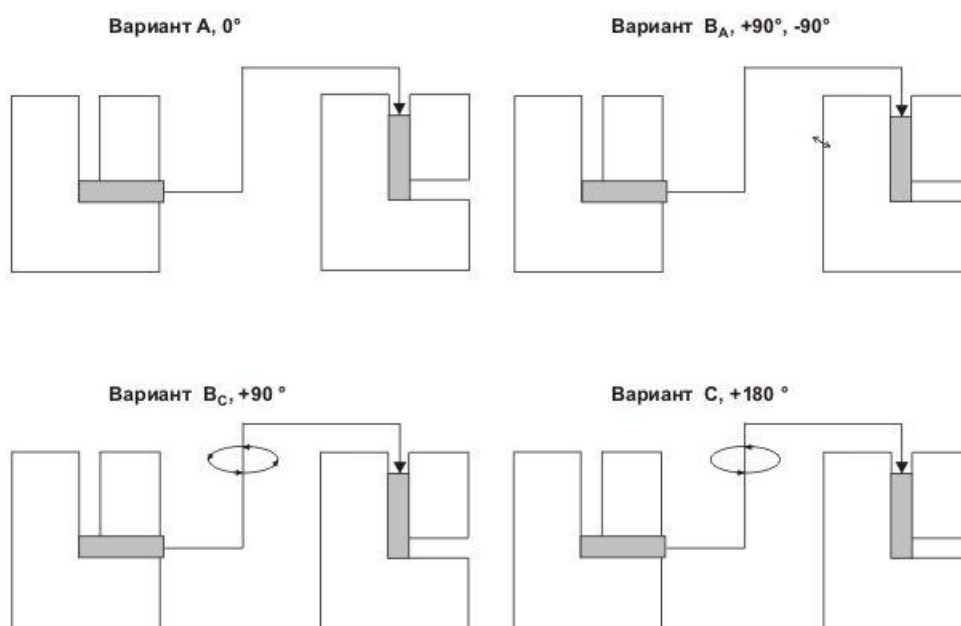


Рис. 12.2:Схематическое представление четырех обычных вариантов РКУП-процесса: А, В_А, В_С и С

По варианту А заготовка между двумя последовательными РКУП-проходами деформируется без вращения. В случае варианта В заготовку поворачивают по оси на 90°, причем в варианте В_А после каждого прохода направляют наоборот, а в варианте В_С держать без изменения. При последнем варианте С заготовку вращают после каждого прохода через матрицу вокруг своей длиной оси на 180°.

Измельчение зерна при РКУП-процессе объясняется эволюцией плотности дислокаций и, с этой связанной, переориентировкой единичных дислокаций. Однако до сих пор не существуют основательных гипотез, объясняющие достоверно механические и микроструктурные процессы интенсивной пластической деформации.

3. Ротационная ковка

Ротационная ковка определяется по DIN 8583 как свободная формование для уменьшение поперечного сечения прутков и труб из металлических материалов. При такой ковке два или более инструменты деформирования расположены концентрически вокруг заготовки.

Инструменты оказывают радиальное сжатие на заготовку в быстром темпе с высокой частотой, в котором они перпендикулярно к оси заготовки с маленькими шагами оказывают давление (**рис.°12.3**).

Частота хода, в зависимости от типа машин, составляет 1500 – 10000 min^{-1} , при этом длина хода варьируется от 0,2 до 5 мм. Ротационная ковка является инкрементальным способом, обеспечивающим деформацию с маленькими шагами. Инкрементальный способ имеет преимущество относительно непрерывного способа, позволяя проводить однородное деформирование материала.

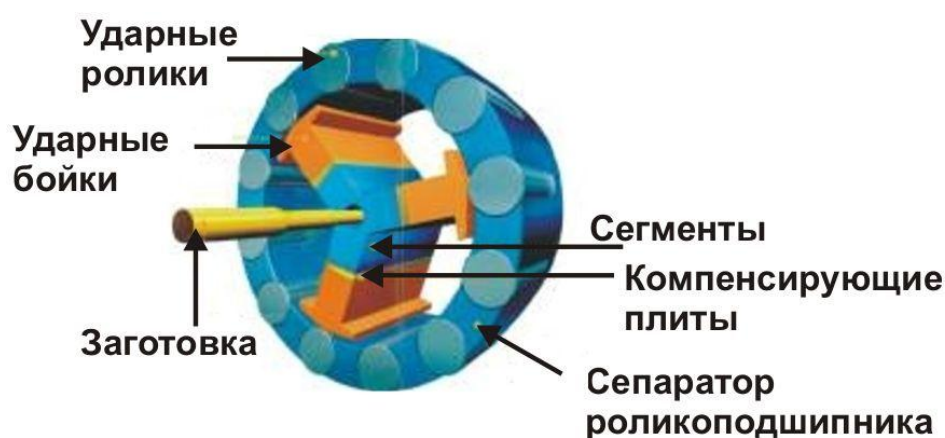


Рис. 12.3 Функциональный принцип ротационнойковки [7]

Так как при этом способность материала к деформированию по всему сечению заготовки используется полностью, в таком процессе может быть достигнуты большие степени деформации. В работах [92, 93] магниевые сплавы AZ80 и ZK60 были подвергнуты ротационной ковке и, таким образом получили мелкозернистую микроструктуру с размером зерна 0,5 – 1 мкм.

Мелко - и ультрамелкозернистые материалы отличаются многими особыми свойствами.

Эксперимент и методика

Материалы и геометрия проб

В качестве исследуемых материалов были выбраны промышленные магниевые сплавы из разных групп.

С целью достижения мелкозернистой микроструктуры в магниевых сплавах были использованы две схемы/два варианта (А и В) обработки.

Таким образом можно исследовать измельчение зерна и сверхпластические свойства выбранных сплавов целенаправленно, в зависимости от состояния микроструктуры, включающее морфологию грубых частиц β -фазы и тончайших стабильных интерметаллических фаз редкоземельных элементов и циркония.

4. Термомеханическая обработка

Термическая обработка

Слитки были гомогенизированы при температуре 515°C. При гомогенизации слитки были завернуты в алюминиевые фольги, чтобы предотвратить образование оксидных слоев на их поверхности. После отжига слитки охлаждались на воздухе. Так как диффузионные процессы в магниевых сплавах протекают медленно и температура гомогенизации одинакова с температурой растворения фаз для закалки, слитки магниевых сплавов претерпевают вовремя охлаждения квазизакалку и перестариваются при повышенных температурах. **Сплав AZ91.** Значительное влияние температуры перестаривания на размер зерна наблюдается в сплаве AZ91, **рис. 12.4.**

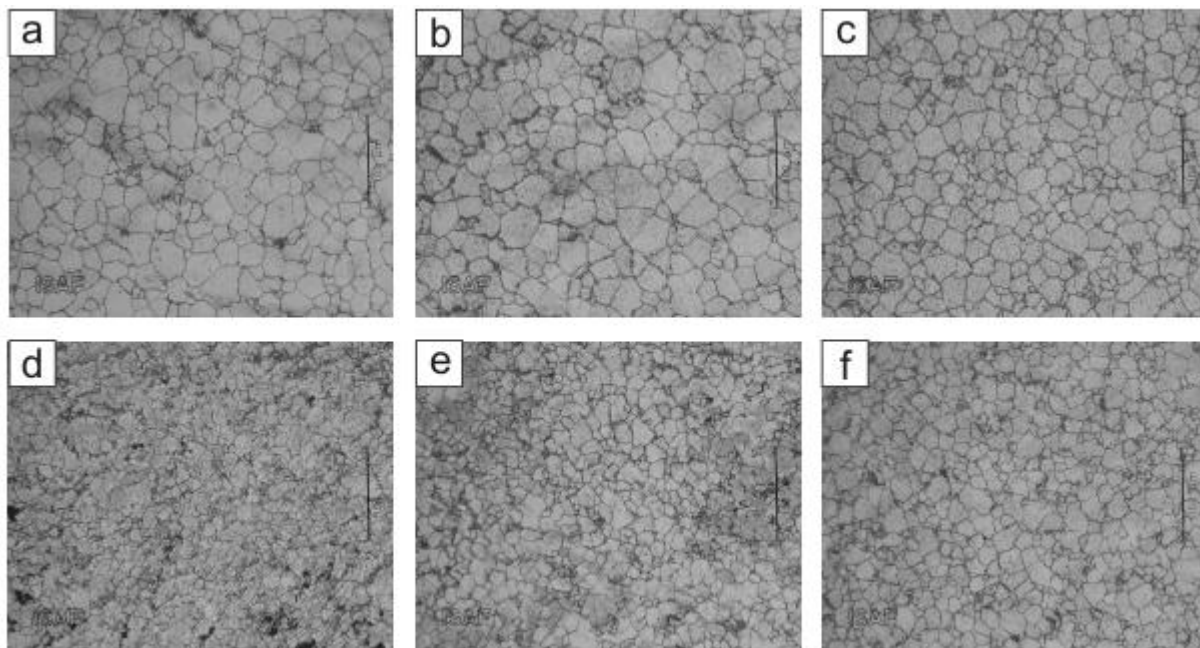


Рис. 12.4. Снимки микроструктуры прессованного сплава AZ91 после различных состояний: а) без предварительной термообработки;

перестаренные при температурах: b) 200 °C, c) 250 °C, d) 300 °C, e) 350 °C, f) 380 °C

Средние размеры зерен проб сплава AZ91, которые были прессованы по вариантам **A** и **B** при температуре перестаривания 200°C, почти равны (**рис. 12.5a,b**) и составляют, соответственно, 20,3 и 21 мкм (**рис. 12.5**). При этом перестаривающем отжиге атомы алюминия, по-видимому, еще находятся в матрице в растворенном состоянии, и механизмы деформации при прессовании идут без крупных выделений в строении, точно таким же образом, как в материале, который был деформирован без термообработки по варианту **A**. Обработка проб давлением после температуры перестаривания 250°C приводит к уменьшению размера зерна (**рис. 12.4c**), и средний размер зерна составляет 18,8 мкм, **рис. 12.5**.

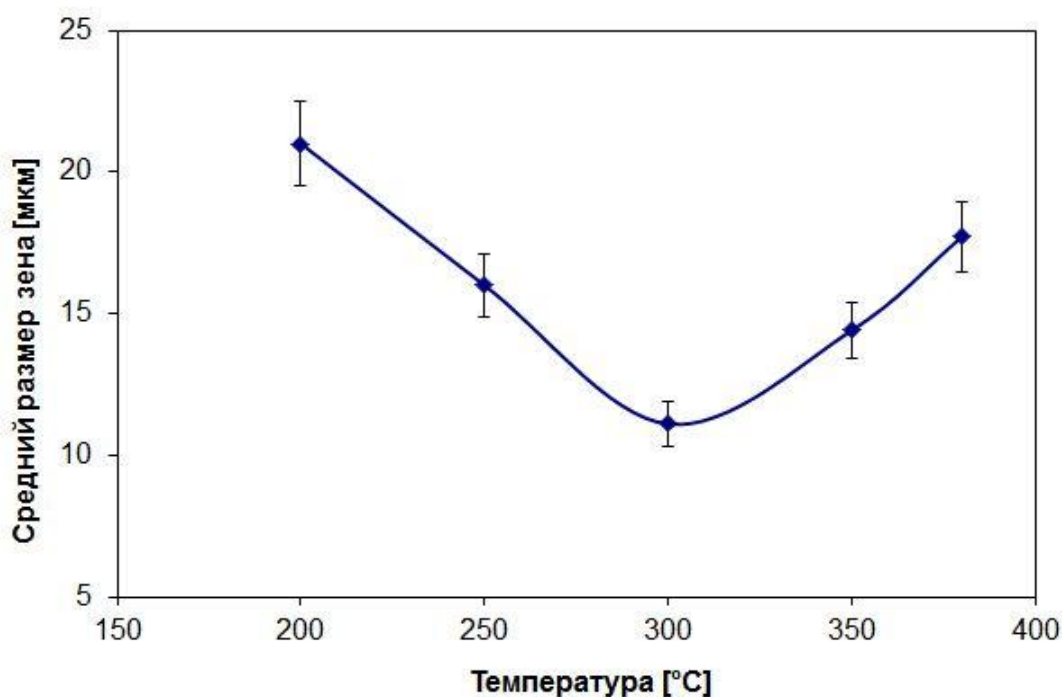


Рис. 12.5. Влияние температуры перестаривания на средний размер зерна сплава AZ91

Исследования прутков сплава АЕ42 на световом микроскопе, прессованные в литом состоянии по **варианту А** без предварительной термообработки при температуре 300°С, показывают неомогенную микроструктуру. В этой микроструктуре располагаются рядом с очень большими зернами ($d \sim 100$ мкм) и мелкие зерна ($d \sim 10$ мкм) (**рис. 12.6а**). Влияние термообработки на размер зерна прутков приведены на **рис. 6b-f**. В микроструктуре материала, прессованного только после гомогенизационного отжига, остается неомогенное распределение зерен (**рис. 12.6b**), хотя области с большими зернами становятся меньше, а области с маленькими зернами – больше. Влияние перестаривания на размер зерна сплава АЕ42 не так четко прослеживается как у сплава AZ91: минимальный средний размер составляет около 13 мкм при температуре 300°С и около 15,4 мкм и 14,9 мкм при температурах 250°С и 380°С, соответственно (**рис. 12.6**).

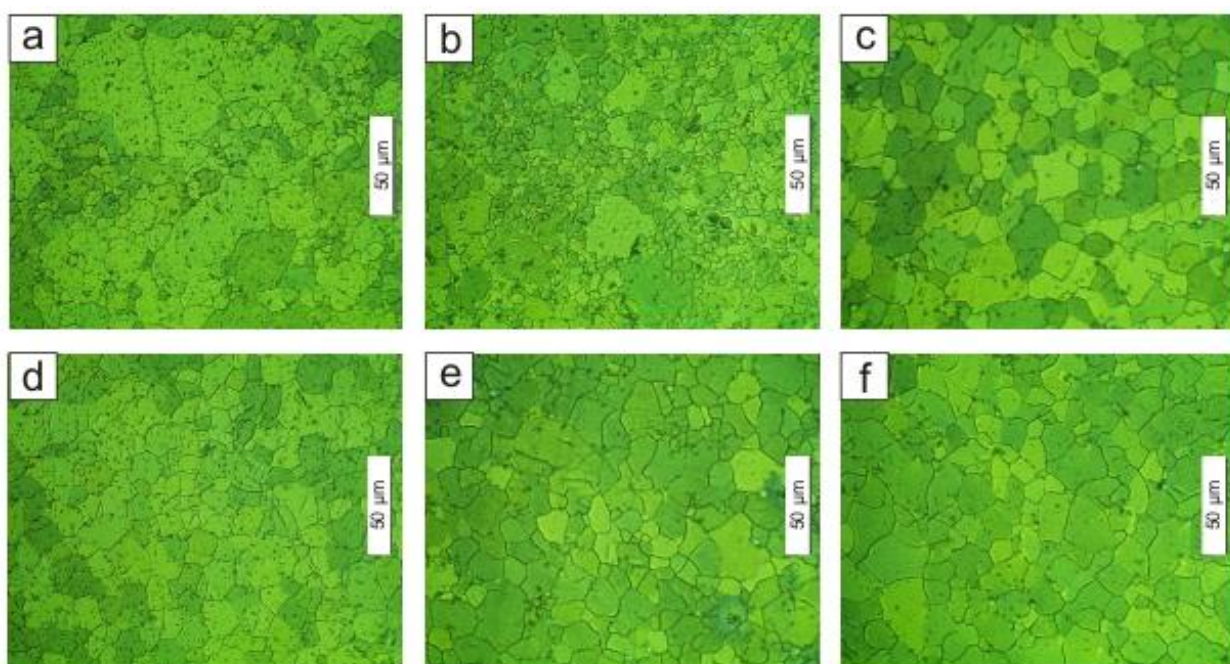


Рис. 12.6. Снимки микроструктуры прессованного сплава АЕ42 после различных состояний: а) литое; б) только гомогенизация; перестаренные при температурах: в) 250°С, г) 300°С, д) 350 °С, е) 380 °С
РЭМ-снимки сплава АЕ42 в литом состоянии и после гомогенизации при температуре 415 °С в течение 15 ч показывают схожее строение. В обоих состояниях возникает микроструктура, которая состоит из малого количества

Al,- Zn,- и Si- содержащих твердого раствора магния и выделений вторичных фаз (рис. 12.7).

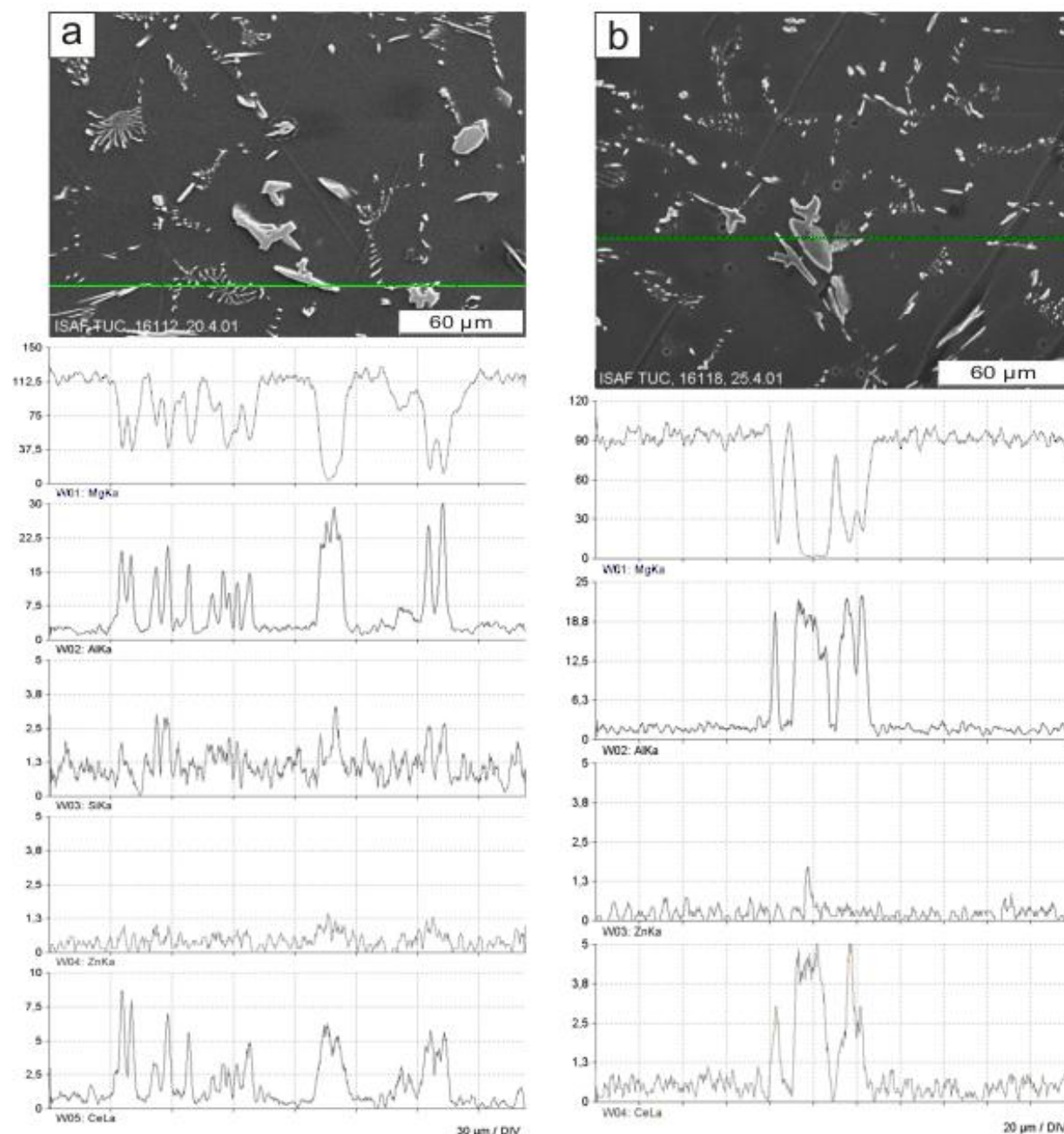


Рис. 12.7. Качественные линейные измерения (Line-Scan) для Mg, Al, Zn и Si сплава AE42 в двух состояниях: а) литом, б) гомогенизированном

Выводы:

В общем можно заключить, что через термомеханическую обработку в магниевых сплавах образуется совершенно новая микроструктура. Из первоначально грубой крупнозернистой литой структуры через термическую обработку и деформацию создается мелкозернистое строение.

Большая разница в размере зерен объясняется с помощью анализа выделений вторичных фаз, выделившихся при перестаривающем отжиге.

13. КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА МЕХАНИЧЕСКОГО МОЛОТА НА ОСНОВЕ МПС С ГИДРОПРИВОДОМ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Используя свойство механизма переменной структуры и опыта создания гидравлических отбойных молотков МРГ-1, МРГ-2 и МРГ-3 разработана кинематическая схема, и конструкция механического молота М-70 с большей энергией удара.

Кинематическая схема механического молота, представлена на рис.13.1. Он состоит из следующих основных частей: гидромотора 1, муфты 2, вал-шестерни 3, зубчатого колеса 4, кривошипа 5, шатуна 6, коромысла с бойком 7, волновода 8 и инструмента 9.

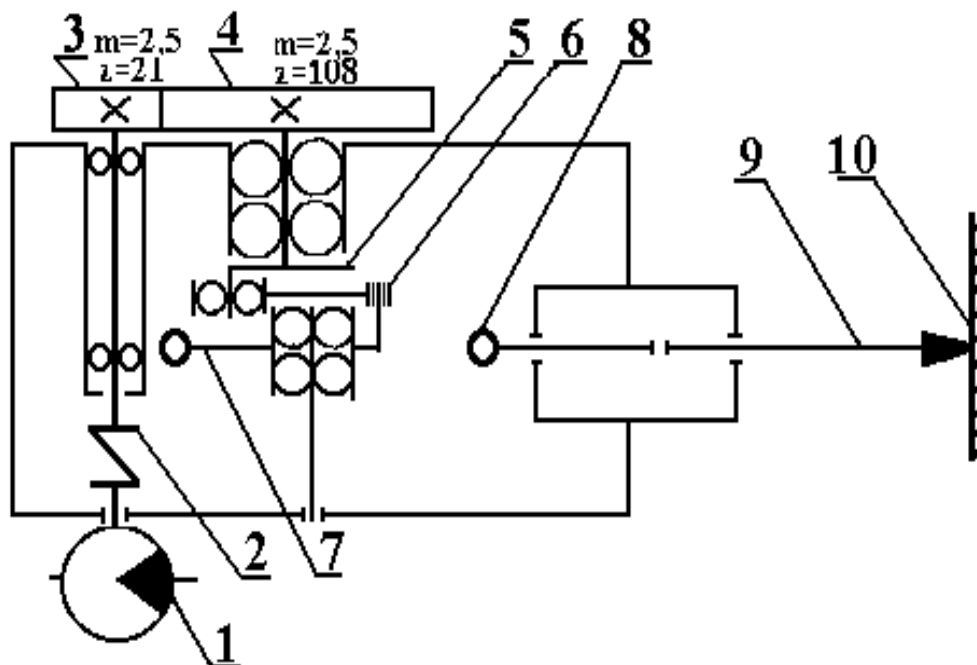


Рис.13.1. Кинематическая схема механического молота на основе МПС с гидроприводом вращательного движения

Принцип работы механического молота М-70 заключается в следующем: вращающий момент гидромотора через муфту передается на вал-шестерню, которая в свою очередь входит в зацепление с колесом. Колесо посажено на вал кривошипа. Вращательное движение кривошипа так же, как в аналогичных ударных машинах, через шатун передается к коромыслу и за каждый оборот кривошипа коромысло производит один удар по хвостовику волновода. При этом ударная волна, проходя по волноводу

через инструмент, передается к обрабатываемой среде для выполнения полезной работы. Таким образом, разработанная высоко мощная ударная машина на основе МПС с гидроприводом преобразовывают энергию движения жидкости в механическую энергию, которая в дальнейшем используется для разрушения обрабатываемой среды для выполнения полезной работы.

В конструкции молота в качестве привода был использован обычный шестеренчатый гидравлический насос НШ-32, в наибольшей степени удовлетворяющий требованиям по мощности, частоте вращения, массогабаритным показателям невысокие требованиям к качеству рабочей жидкости, относительно низкой рыночной стоимостью (широко представлена на рынках Кыргызстана). Гидромотор НШ-32 имеет возможность плавного регулирования мощности в диапазоне $5,7 \div 8,55$ кВт.

В табл. 12.1. приведены технические характеристики гидронасоса НШ-32 используемого в качестве гидродвигателя.

В графике рис. 13.2. приведено характеристика насоса НШ-32. Кривой 1 показывают зависимость объемного к.п.д. от скорость вращения приводного вала насоса при давлении $98,1 \times 10^5$ н\м² (100 кг\см²) и работе на масле марки ДП-11 ГОСТ 5304-54 при температуре 50⁰С. Прямая 2 показывает действительную производительность этого насоса при тех же условиях. Когда гидронасос используется в качестве гидромотора производительность должен соответствовать потребному расходу гидромотора при заданной скорости вращения выходного вала.

При использовании шестеренного насоса НШ-32 в качестве гидромотора необходимо соблюдение следующих условий:

1. Жидкость под напором можно подводить только в нагнетательный фланец;
2. Направление вращения при этом получается обратным указанному на табличке насоса;

3. Подбор во всасывающем фланце по которому масло отводится в бак, должен быть не более $(0,196 \div -,294) \times 10^5 \text{ н\м}^2$ ($0,2 \div 0,3 \text{ кг\см}^2$) во избежание выхода из строя манжетного уплотнения вала;
4. Реверсирование не допускается;

Техническая характеристика насоса НШ-32

Табл. 13.1.

№	Параметры		Един. изм.	Значения
1.	Рабочий объем насоса		См ³	31.7
2.	Номинальное давление на выходе из насоса		МПа	10
3.	Объемная подача насоса		Л\мин.	
4.	Частота вращения насоса	Минимальная	Об\мин.	1100
		Номинальная		1500
		максимальная		2000
5.	Объемный к.п.д. насоса не менее		-	0,9
6.	К.п.д. насоса не менее		-	0,8
7.	Давление на входе в насос	Минимальное (абсолютное)	МПа	0,074
		Максимальное (избыточное)		0,2
8.	Оптимальная вязкость рабочей жидкости		сСт	60÷70
9.	Масса (без присоединительной арматуры)		кг	6,65
10.	Направление вращения ведущего вала насоса по ГОСТ 1630-46		-	Правое или левое

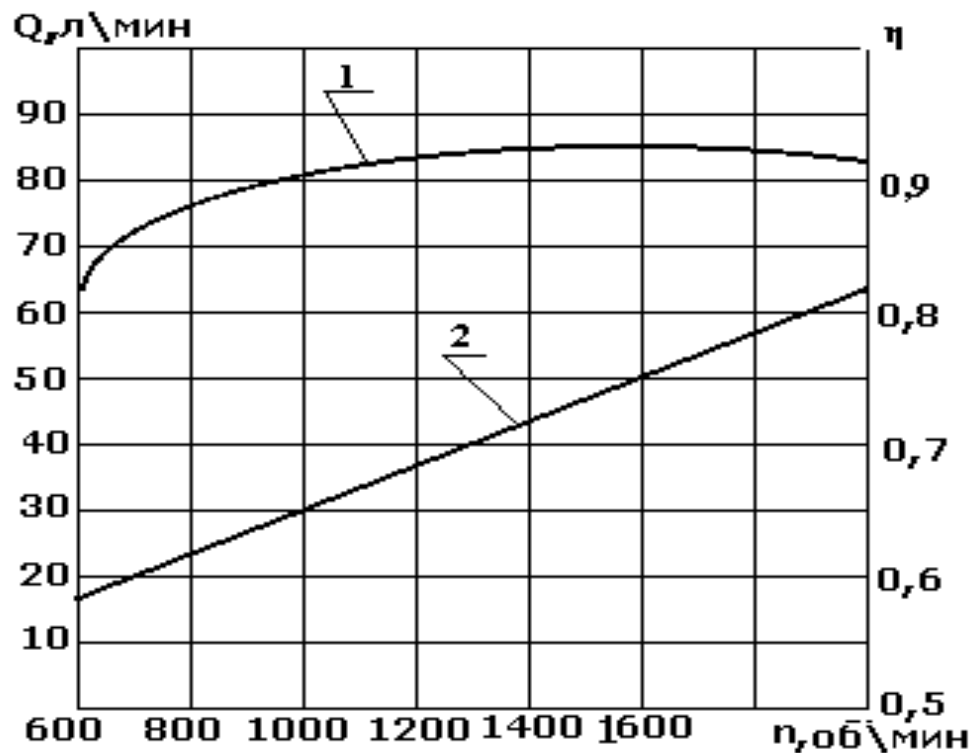


Рис.13.2. Характеристика насоса НШ-32

Расчет характеристики гидродвигателя НШ-32

Мощность на валу гидродвигателя

$$N = M \times \omega,$$

где M – момент на валу гидродвигателя, $\text{н} \times \text{м}$;

ω - Угловая скорость вала гидродвигателя, с^{-1}

Угловая скорость вала гидродвигателя определяется по формуле

$$\omega = \frac{\pi \times n}{30} = \frac{3,14 \times (1100 - 2000)}{30} = (115,3 - 209,33) \text{с}^{-1}$$

где n - число оборотов вала насоса, об/мин

Момент на валу гидродвигателя определяется по формуле

$$M = \frac{P \times q}{2 \times \pi} = \frac{9,81 \times 10^6 \times 31,7 \times 10^{-6}}{2 \times 3,14} = 49,52 \text{н} \times \text{м};$$

Тогда, при рабочем диапазоне угловой скорости гидродвигателя мощность получается $N = (115,13 - 209,33) \times 49,52 = 5,7 - 10,4 \text{квт}$

Потребляемая мощности гидродвигателя определяется по формуле

$$N_n = \frac{P \times Q}{60}, \text{квт}$$

где Q - удельный расход гидродвигателя (при $n = 1100 \div 2000$ об/мин) л/мин

Удельный расход гидродвигателя определяется по формуле

$$Q = \frac{q \times n}{1000} = \frac{31,7 \times (1100 - 2000)}{1000} = 34,8 - 63,4 \text{ л/мин};$$

Тогда, при $P = 9,81 \text{ МПа}$

$$N_n = \frac{9,81 \times (34,8 - 63,4)}{60} = (5,7 - 10,4) \text{ кВт}$$

Расчет приводного узла молота

Выбираем для шестерни и колеса одну и ту же марку стали (в нашем случае выбрали СТ.45 по ГОСТу 4543-71) с различной термообработкой.

Допускаемые контактные напряжения $[\delta]_H$ определяют при проектном расчете по формуле $[\delta]_H = \frac{[\delta]_{\text{lim}} b \times K_{HL}}{[n]_H}$;

Где $K_{HL} = 1$ - коэффициент долговечности,

$[n]_H = 1,75$ - коэффициент запаса прочности,

Для углеродистых качественных сталей с твердостью поверхностей зубьев менее HB200 и термообработкой (улучшение)

$$\delta_H \text{ lim} = 2\text{HB} + 70$$

Принимаем допускаемое напряжение по колесу

$$[\delta]_H = \frac{(2 \times 200 + 70) \times 1}{1,15} = 408 \text{ Н/мм}^2$$

Вращающий момент на валу шестерни

$$M_1 = \frac{N_1}{\omega_1}$$

где N_1 - требуемая мощность гидродвигателя; кВт

ω_1 - угловая скорость вала гидродвигателя; с^{-1}

Требуемая мощность гидродвигателя определяется по формуле

$$N_1 = \frac{P \times Q}{60} = \frac{10 \times 47,55}{60} \approx 8 \text{ кВт}$$

где P - рабочее давление; $P = 98,1 \times 10^5 \text{ Н/мм}^2$ или 100 кг/см^2 или 10 МПа

Q - удельный расход гидродвигателя при номинальном режиме работы,

л/мин

$$Q = \frac{q \times n}{1000} = \frac{31,7 \times 1500}{1000} = 47,55 \text{ л / мин}$$

где q - рабочий объем гидродвигателя, см³/об;

n - число оборотов вала гидродвигателя;

Угловая скорость вала гидродвигателя определяется по формуле

$$\omega_1 = \frac{\pi \times n}{30} = \frac{3,14 \times 1500}{30} = 157 \text{ с}^{-1}$$

По полученным данным момент на валу шестерен будет равен

$$M_1 = \frac{8 \times 10^3}{157} = 50,9 \times 10^3 \text{ Н} \times \text{мм}$$

Вращающий момент на валу колеса

$$M_2 = M_1 \times i_p = 50,9 \times 4,9 = 249,4 \text{ Н} \times \text{мм}$$

где i_p - передаточное отношение приводного узла молота;

Межосевое расстояние из условия контактной выносливости активных поверхностей зубьев

$$a_w = (u + 1) \sqrt{\left(\frac{310}{[\sigma]_H \times u} \right)^2 \times \frac{M_2 \times K_H}{\psi_{ва}}}$$

Коэффициент нагрузки $K_H = K_{H\alpha} \times K_{H\beta} \times K_{Hv}$

$K_{H\alpha}$ - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки между зубьями, для прямозубых колес $K_{H\alpha} = 1,0$

$K_{H\beta}$ - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки по ширине венца, $K_{H\beta} = 1,1$

K_{Hv} - динамический коэффициент определяют в зависимости от окружной скорости V колес и степени точности их изготовления, $K_{Hv} = 1,1$

$$K_H = 1,0 \times 1,1 \times 1,1 = 1,21$$

$\psi_{ва}$ - для прямозубых передач принимаются $0,125 \div 0,25$

u - передаточное отношение приводного узла молота ($u = i_p$);

$$a_{\omega} = (4,9 + 1) \sqrt{\left(\frac{310}{408 \times 4,9}\right)^2 \times \frac{254,5 \times 10^3 \times 1,21}{0,25}} = 162,5 \text{ мм}$$

Нормальный модуль зацепления

$$m_n = (0,01 \div 0,02) \times a_{\omega} = (0,01 \div 0,02) \times 162,5 = 1,625 \div 3,25$$

принимаем $m_n = 2,5 \text{ мм}$

Принимаем предварительно угол наклона зубьев $\beta = 10^\circ$ и определим число зубьев шестерни и колеса

$$Z_1 = \frac{2 \times a_{\omega} \times \cos \beta}{(u + 1) \times m_n} = \frac{2 \times 162,5 \times \cos 10^\circ}{(4,9 + 1) \times 2,5} = \frac{325 \times 0,985}{14,75} = 21,7$$

принимаем $Z_1 = 22$

$$\text{тогда, } Z_2 = Z_1 \times u = 22 \times 4,9 = 107,8$$

принимаем $Z_2 = 108$

Уточненное значение угла наклона зубьев

$$\cos \beta = \frac{(Z_1 + Z_2) \times m_n}{2 \times a_{\omega}} = \frac{(22 + 108) \times 2,5}{2 \times 162,5} = 1$$

$$\beta = 90^\circ$$

Основные размеры шестерни и колеса:

Диаметры делительные

$$d_1 = \frac{m_n}{\cos \beta} \times Z_1 = \frac{2,5}{1} \times 25 = 55 \text{ мм}$$

$$d_2 = \frac{m_n}{\cos \beta} \times Z_2 = \frac{2,5}{1} \times 108 = 270 \text{ мм}$$

Проверяем правильности расчета

$$a_{\omega} = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{55 + 270}{2} = 162,5 \text{ мм}$$

Диаметры вершин зубьев:

$$d_{a1} = d_1 + 2m_n = 55 + 2 \times 2,5 = 60 \text{ мм}$$

$$d_{a2} = d_2 + 2m_n = 270 + 2 \times 2,5 = 275 \text{ мм}$$

$$\text{Ширина колеса } b_2 = \psi_{ba} \times a_{\omega} = 0,25 \times 162,5 = 40,6 \text{ мм}$$

$$\text{Ширина шестерни } b_1 = b_2 + 5 \text{ мм} = 40,6 + 5 = 45,6 \text{ мм}$$

Определяем коэффициент ширины шестерни по диаметру:

$$\psi_{ed} = \frac{e_1}{d_1} = \frac{45,6}{55} = 0,83$$

Окружная скорость колес и степень точности передачи

$$V = \frac{\omega_1 \times d_1}{2} = \frac{157 \times 55}{2 \times 10^3} = 4,32 \text{ м/с}$$

При такой скорости следует принять 8-ю степень точности.

Проверка контактных напряжений по формуле

$$\delta_H = \frac{310}{a_\omega} \sqrt{\frac{K_H \times M_2 \times (u+1)^3}{e_2 \times u^2}} \leq [\delta]_H$$

$$\delta_H = \frac{310}{162,5} \sqrt{\frac{1,21 \times 254,5 \times 10^3 \times (4,9+1)^3}{40,6 \times 4,9^2}} = 486 \text{ Н/мм}^2$$

Силы, действующие в зацеплении

$$\text{Окружная } P = \frac{2 \times M_1}{d_1} = \frac{2 \times 50,9 \times 10^3}{55} = 1851 \text{ Н}$$

$$\text{Радиальная } P_v = P \times \frac{\tan \alpha}{\cos \beta} = 691 \text{ Н}$$

$$\text{Осевая } P_\alpha = P \times \tan \beta = 410 \text{ Н}$$

Проверяем зубья выносливость по напряжениям изгиба по следующей формуле

$$\delta_f = \frac{P \times K_f \times Y_f \times Y_\beta \times K_{f\alpha}}{e \times m_n} \leq [\delta]_f$$

Здесь коэффициент нагрузки $K_f = K_{f\beta} \times K_{fv}$

По табл.3.7.[] при $\psi_{ed}=1,275$, твердости <HB350 и несимметричном расположении зубчатых колес относительно опор $K_{f\beta}=1,33$. По табл. 3.8. [] $K_{fv}=1,3$. Таким образом, коэффициент $K_f=1,33 \times 1,3=1,73$

Y_f -коэффициент прочности зуба по местным напряжениям, зависящий от эквивалентного числа зубьев Z_v

$$\text{у шестерни } Z_{v1} = \frac{Z_1}{\cos^3 \beta} = \frac{22}{1^3} = 22$$

$$\text{у колеса } Z_{v2} = \frac{Z_2}{\cos^3 \beta} = \frac{108}{1^3} = 108$$

При этом $Y_{f1}=4,05$ и $Y_{f2}=3,6$

Допускаемое напряжение определяем по формуле 3.24 []

$$[\sigma]_f = \frac{\sigma_f^0 \times \lim \sigma}{[n]_f}$$

По табл.3.9. для стали 45 улучшенной при твердости $\leq \text{HB350}$ $\sigma_f^0 \lim \sigma = 1,8 \text{HB}$

Для шестерни $\sigma_f^0 \lim \sigma = 1,8 \times 230 = 415 \text{ Н/мм}^2$

Для колеса $\sigma_f^0 \lim \sigma = 1,8 \times 200 = 360 \text{ Н/мм}^2$

Коэффициент запаса прочности принимаем $[n]_f = 1,75$;

Допускаемые напряжения:

Для шестерни $[\sigma]_{f1} = \frac{415}{1,75} = 237 \text{ Н/мм}^2$

Для колеса $[\sigma]_{f2} = \frac{360}{1,75} = 206 \text{ Н/мм}^2$

Находим отношение $\frac{[\sigma]_f}{Y_f}$

Для шестерни $\frac{237}{4,05} = 58,52 \text{ Н/мм}^2$

Для колеса $\frac{206}{3,6} = 57,5 \text{ Н/мм}^2$

Дальше определяем коэффициенты Y_β и $K_{f\alpha}$

$$Y_\beta = 1 - \frac{\beta}{140} = 1 - 0,64 = 0,36$$

для средних значений коэффициента торцового перекрытия $\varepsilon_\alpha = 1,5$ и 8-й

степени точности $K_{f2} = 0,75$

Проверяем прочности зуба по формуле (3.25) []

$$\sigma_{f2} = \frac{1852 \times 1,73 \times 3,6 \times 0,91 \times 0,75}{40,6 \times 2,5} = \frac{7867,9}{101,5} \approx 77,5 < [\sigma]_{f2} = 206 \text{ Н/мм}^2$$

Как видим, условие прочности выполнено. По определенным данным вычерчиваем конструкцию приводного узла (вал-шестерня и зубчатое колесо) молота.

14. ТЕХНОЛОГИЯ СОЕДИНЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ СВАРКОЙ С МАЛОЙ ТЕПЛОТОЙ

Сварка алюминиевых сплавов один из актуальных вопросов в промышленности Кыргызской Республики. В моей работе рассматриваются технология и соединение алюминиевых сплавов сваркой с малой теплотой именно рассматривалось мелкозернистые алюминиевые сплавы 5000 и 6000 серии такие как: AW5083 и AW6082. Российским аналогом сплавов являются AW5083-АМг4,5; AW6082-АД35. На практике были сварены алюминиевые листы с толщиной 6мм. Химический состав элементов:

AlMg4,5	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
	0,40	0,40	0,10	0,40-1,0	4,0-4,9	0,05-0,25	0,25	0,15	остальное

AlSi1MgMn	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
	0,7-1,3	0,5	0,1	0,40-1,0	0,6-1,2	0,25	0,2	0,1	остальное

На данный момент, особое внимание уделяется проведению эксперимента и оптимизация параметров сварки. Были сварены несколько образцов AW5083 и AW6082. В ходе сварки столкнулись с такими проблемами как оксидирование, так как сварка алюминия, так и его сплавов осложнена тем, что в процессе сварки на поверхности расплавленного слоя моментально образуется тугоплавкая пленка оксида алюминия. Эта пленка препятствует процессу сплавления отдельных частиц металла. Дело в том, что оксид алюминия плавится при температуре 2050°C, а сам алюминий — 658°C, чтобы преодолеть эту технологическую трудность, применяли ряд специальных способов. Особенности сварки стыкового шва и подготовки

кромки под сварку определяются толщиной основного металла. При небольшой толщине металла — до 5—6 мм — кромки соединяемых листов не требуют особой подготовки и должны быть лишь обрезаны достаточно правильно, чтобы обеспечить взаимную параллельность и постоянство зазора между ними на всём протяжении сварного шва. Операция сварки при этом сходна с наплавкой валика, нужно лишь обращать особое внимание на равномерность расплавления обеих кромок, для чего концу электрода сообщается поперечное колебательное движение. Сечение шва получается со значительным усилением, составляющим от 50 до 100% толщины основного металла. Основной трудностью сварки стыкового соединения является правильное формирование обратной стороны шва. В этом случае при отступлениях от нормального режима сварки возникают следующие дефекты. При недостаточном подводе тепла вся толщина листов не проплавляется и получается непровар сечения (рис. 14.1а). При чрезмерном подводе тепла получается сквозное проплавление металла, и расплавленный металл вытекает из объёма шва, образуя с обратной стороны натёки, а иногда и сквозные отверстия — прожоги.

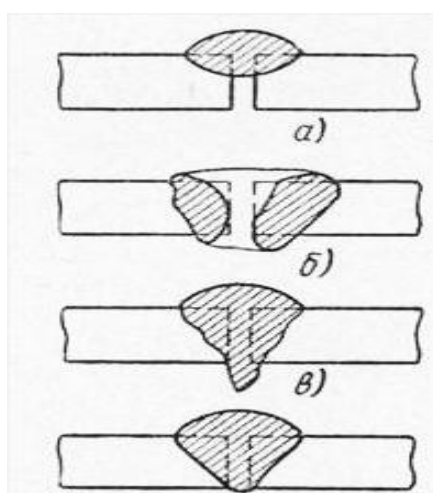


Рис.14.1.Стыковой шов без скоса кромок:

а- не провар сечения;

б-прожог и натёки;

в-хорошо сформированный шов

Идеальное сечение шва с полным проплавлением сечения листов и отсутствием натёков с обратной стороны получить при сварке довольно трудно. Сварщику не видна обратная сторона шва, поэтому достаточно

незначительных отступлений в режиме сварки, чтобы вызвать появление непровара или натёков с обратной стороны. Опасаясь прожогов и натёков, сварщик обычно работает на режиме, вызывающем появление непровара сечения шва. Средняя величина непровара в значительной степени зависит от квалификации сварщика. У малоквалифицированного сварщика величина непровара может достигать 50 и более процентов от толщины листа. Многое зависит также от качества применяемых электродов.

Швы с непроваром сечения при статическом испытании часто показывают удовлетворительную прочность, поэтому как исключение подобные швы могут быть допущены в мало ответственных конструкциях, работающих при статической нагрузке. Влияние непровара в этом случае компенсируется усилением шва со стороны сварки. При более ответственных конструкциях, в особенности работающих при переменной или ударной нагрузке, швы с непроваром сечения недопустимы и неоднократно служили причиной аварий и разрушений сварных изделий. Непровар действует как надрез и ведёт к быстрому разрушению конструкции. Поэтому для швов ответственных сварных изделий необходимо принимать меры, гарантирующие отсутствие непровара сечения шва. Непровар может быть устранён подваркой обратной стороны или применением подкладок. Подварка состоит в наложении дополнительного валика уменьшенного сечения с обратной стороны шва рис.14.2

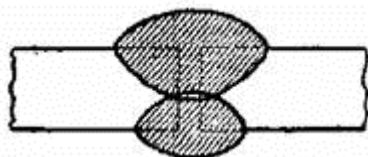


Рис.14.2 Подварка

В большинстве случаев при толщине металла свыше 5 мм прибегают к предварительной разделке или скосу кромок; при этом различают швы односторонние и двусторонние. Нормальная разделка кромок под односторонний стыковой шов, так называемая V-образная разделка, показана на рис.14.3.

Собранный и подготовленный под сварку шов характеризуется тремя основными размерами: Углом разделки α (иногда даётся половинная его величина — скос кромки $\alpha/2$), притуплением кромки или несокошенной частью a и зазором между кромками. Увеличение угла разделки или раскрытия кромок облегчает сварку и доступ к нижним слоям металла, но увеличивает количество наплавленного металла и трудоёмкость выполнения шва. Притупление кромки облегчает сборку и уменьшает возможность прожога металла в вершине шва. Зазор облегчает доступ к нижним слоям металла и провар всего сечения.

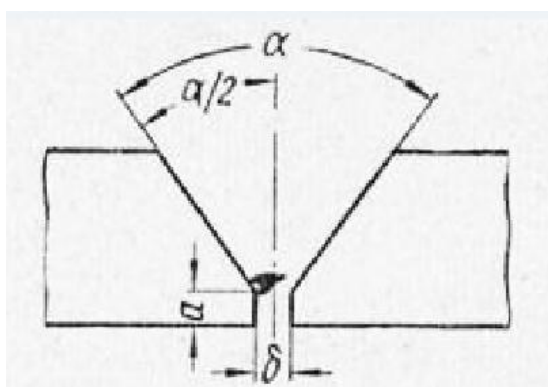


Рис.14.3. V-образная разделка кромок под стыковой шов

На основании многолетней практики наших заводов общепринятыми являются следующие размеры элементов разделки кромок под односторонний шов. Угол разделки $\alpha = 60—70^\circ$ или угол скоса кромки $\alpha/2 = 30—35^\circ$. Притупление кромки равно 2—3 мм, а на толщинах свариваемого металла свыше 20 мм — до 4—5 мм. Зазор принимается от 2 до 4 мм, возрастающая с увеличением толщины металла. Указанный шов может быть применён для толщины металла от 5 до 40 мм и выше. При значительной толщине металла шов выполняется в несколько слоев. Толщина слоя обычно делается около 5—6 мм. Наиболее трудной является сварка первого слоя, в котором возможны те же дефекты, что и при сварке листов без скоса кромок, т. е. непровар сечения, натёки и прожоги.

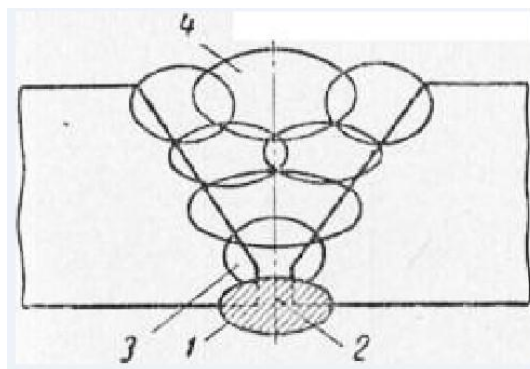


Рис.14.4. Сечение V-образного шва: 1-контрольный (подварочный) валик; 2-контрольная канавка; 3-первый слой; 4-усиление.

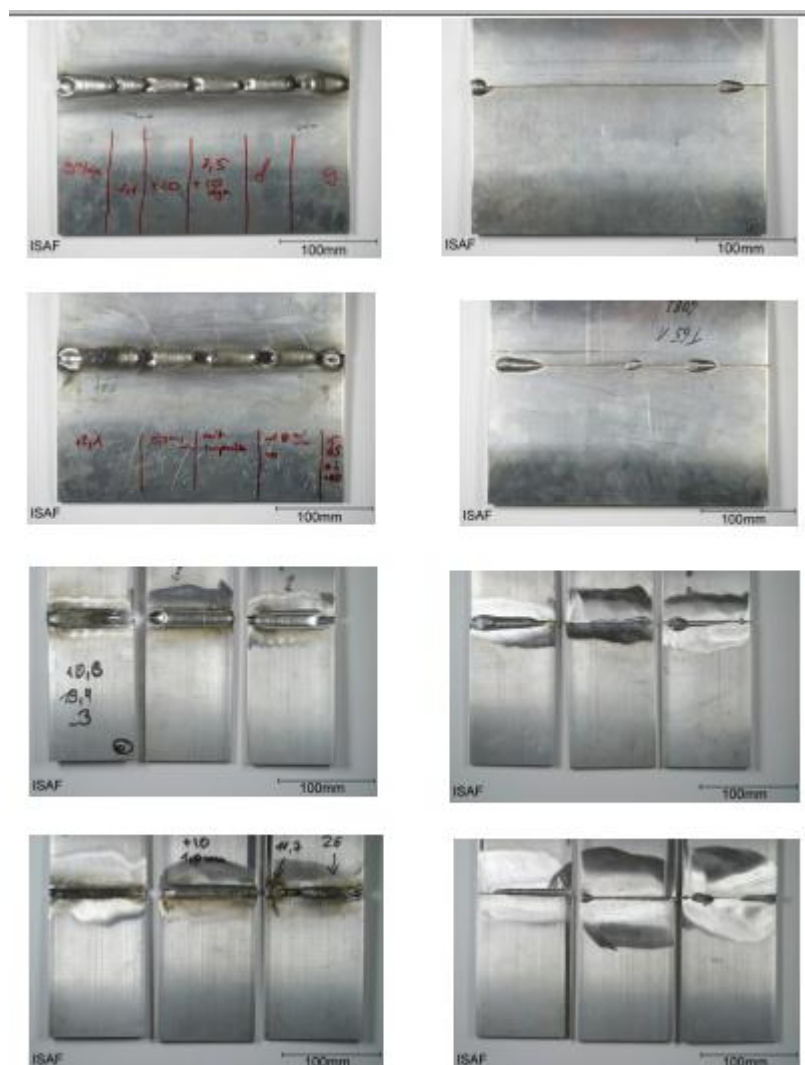


Рис.14.5. Сваренные образцы алюминия AW6082

Основные параметры сварки:

- Основной материал - 6082Т6;
- Присадочный материал- 5087;
- Диаметр проволоки - 1,2мм;
- Сила тока - 227А;
- Напряжение - 21В;
- Скорость подачи проволоки – 11м/мин;
- Скорость сварки – 0,417 м/мин;
- Газ Ar He 30 -15 л/мин



Рис.14.6.Сваренный образец алюминия АW6082

Микроструктура шва 6082 Т6

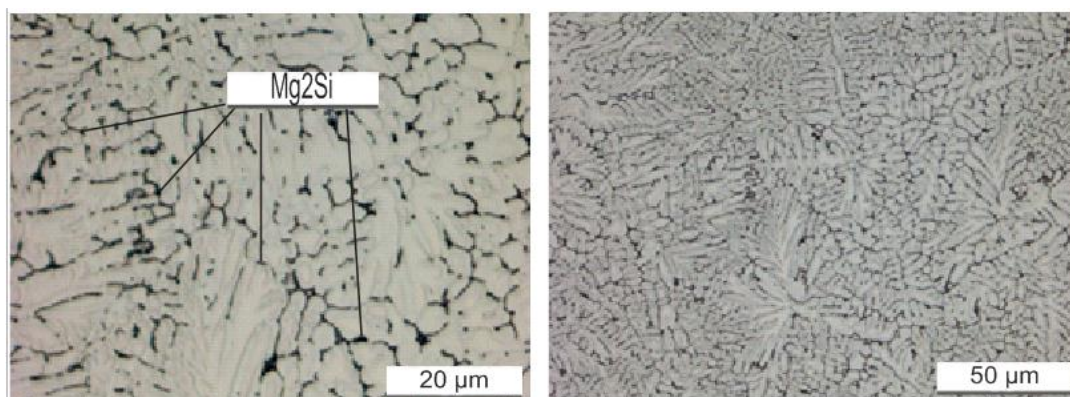


Рис.14.7. Микроструктура сплаваAlSi1MgMn6082Т6 после сварки

Сплавы системы Al-Mg-Si (в России эти сплавы называют авиалами, а за рубежом – сплавами 6XXX серии) представлены сплавами АВ, АД31, АД33. Избыток кремния в сплавах этой группы по сравнению с тем его количеством, которое необходимо для образования силицида магния, значительно повышает прочность состаренного сплава (рис.14.2). Применяются для деталей средней прочности, работающих при температурах

от -70 до $+50^{\circ}\text{C}$, отличаются удовлетворительной обрабатываемостью резанием в закаленном и состаренном состоянии, что связано с присутствием добавок свинца и висмута. Максимальные механические свойства алюминиевых профилей достигают при жестком контроле температуры в процессе всего их производства. Именно от температуры зависят характеристики частиц Mg_2Si . Ключевыми элементами этих алюминиевых сплавов являются магний (Mg) и кремний (Si), которые образуют частицы Mg_2Si . Эти частицы могут принимать несколько форм, которые обычно объединяют в три основных категории:

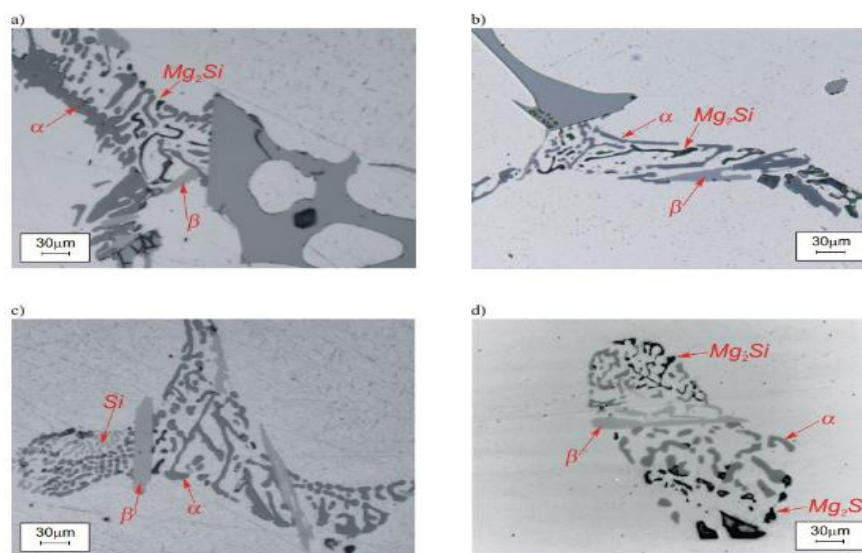


Рис.14.8. Микроструктура сплава 6082 в литом состоянии: а-б) тройная эвтектика, в-г) четвертная эвтектика

Выводы:

В заключении можно сделать следующие выводы:

1. β'' - Mg_2Si – самые мелкие частицы Mg_2Si , которые имеют стержневидную форму и вносят основной вклад в прочностные свойства, когда имеют большую плотность распределения;

2. β' - Mg_2Si – укрупненная версия стержневидных выделений, которые вырастают из β'' -категории. Эти частицы дают пренебрежимо малый вклад в повышение прочностных свойств;

3. β - Mg_2Si – самые крупные частицы Mg_2Si , которые имеют кубическую форму и из-за своих больших размеров не дают никакого вклада в повышение прочностных свойств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

1. Из полученных данных видно, что зависимость Y от P_y линейна, но имеет не равную величину в точках измерения из-за разных величин жесткости закрепляющих устройств станка и типа ее закрепления (консольно или в центрах). В месте крепления детали к кулачковому патрону упругое смещение минимальна, а в максимально отдаленной точке от опор она максимальна.
2. Полученные данные могут быть использованы при разработке аналогичных систем, а также при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Основы технологии машиностроения».
3. Использование скорректированных коэффициентов Y_{*i}^{BP} в расчетах предельных параметров вязкости разрушения K_{ci} по формуле (1) позволяет:
 - Устанавливать реальные зависимости $K_{ci}=f(L_*/B_*)$ для относительно небольших длин трещин (см., например, часть зависимости $K_{ci}=f(L_*/B_*)$, представленную кривой 2' на рис.6).
 - Исключить получение сильно завышенных (аномальных) расчетных значений параметра **, представленных на рис.6 кривой 1'
4. Существующие стойкостные модели не учитывают твердость материала заготовок и случайный характер процессов изнашивания инструментов и не позволяют рассчитывать стойкость спиральных сверл на скоростях резания их максимальной стойкости и выше точки перегиба правой ветви графика зависимости стойкости от скорости резания.
5. Получена стойкостная модель для расчета стойкостей спиральных сверл на скоростях резания максимумаи правой ветви графика зависимости стойкости от скорости резания, с необходимой вероятностью безотказной работы, учитывающая производительность оборудования, твердость материала заготовок и случайный характер процессов изнашивания.

6. Рассчитанные с помощью стойкостной модели минимальные стойкости на интенсивных скоростях резания соответствуют периодам стойкости, рекомендуемым справочником технолога машиностроителя.
7. Таким образом, медный полый катод относится к «холодным» катодам, и высокую температуру имеет только та часть поверхности, на которую опирается пятно дуги. Кроме того, скорость процесса распространения тела в телах зависит от отношения поверхности тел к их объему. Известно, что чем меньше отношение поверхности тела к его объему, тем и скорость протекания процесса будет меньше. Известно, также, что для шара скорость охлаждения больше, чем для любого другого тела. Что позволяет уменьшить глубину термического воздействия. Влияние нагрева теплотой дуги сказывается только в непосредственной близости от пятна в связи с высокой скоростью перемещения пятен, а также вращением электрода.
8. Разработана классификация, включающая отказы, причины, виды и критерии отказов, и их взаимосвязи.
9. Проведен анализ критериев отказов быстрорежущих спиральных сверл в зависимости от условий их эксплуатации, и предложены критерии отказов не вошедшие в число регламентированных ГОСТом.
10. Представлен критерий отказа быстрорежущих спиральных сверл, не зависящий от условий их эксплуатации.
11. Современные методы ускоренного искусственного старения осуществляются путем: а) статической перегрузки, б) вибрационного нагружения, термоудара и ускоренного отжига. Базовые детали машины чаще изготавливаются из чугуна, ввиду чего их стабилизация имеет наибольшее значение.
12. При максимальном допуске осевого биения режущих кромок толщина среза на одном из лезвий сверла увеличивается до двух раз, сверло практически работает одним лезвием, что приводит к значительному снижению стойкости сверл.
13. Применение в автоматизированном массовом производстве спиральных

сверл с высокой симметричностью режущих кромок увеличивает минимальную стойкость в 2,7 раза.

14. Применение в автоматизированном массовом производстве спиральных сверл с высокой симметричностью режущих кромок не только повышает отношение между максимальной и минимальной стойкостью, но и повышает среднюю стойкость спиральных сверл.

15. При контроле осевого биения посередине режущих кромок осевое биение на уголках сверла может быть в два раза большим.

16. Контроль осевого биения необходимо проводить не посередине режущих кромок, а на уголках сверла.

17. Допуск осевого биения для сверл диаметром 10 мм и выше для классов точности А, В 1, В не должен превышать половины рекомендуемой подачи на оборот сверла.

18. В автоматизированном массовом производстве необходимо использовать двухплоскостную заточку сверл.

19. Системное рассмотрение способов формирования нагрузок, характеристик процессов и оборудования позволяет не только систематизировать динамические методы уплотнения песчаных форм, но и сформировать основы для моделирования и оптимизации процесса уплотнения.

20. Параметром оптимизации может служить плотность в рассматриваемых точках объема формы, При этом необходимо обеспечение принципа оптимального режима уплотнения формовочных смесей по проф. Аксенову П. Н. об обеспечении соответствия сжимающих напряжений, уплотняющих формовочную смесь, сопротивлению смеси в каждый период уплотнения.

21. Модульные технологии в производственных условиях весьма перспективны.

22. Модульные технологии охватывают все этапы подготовки производства: проектирование, изготовление и организацию производства.

23. Наибольшим соответствием требованиям подготовки производства

отвечает программное обеспечение Solid CAD/CAM.

24. β'' - Mg_2Si – самые мелкие частицы Mg_2Si , которые имеют стержневидную форму и вносят основной вклад в прочностные свойства, когда имеют большую плотность распределения;

25. β' - Mg_2Si – укрупненная версия стержневидных выделений, которые вырастают из β'' -категории. Эти частицы дают пренебрежимо малый вклад в повышение прочностных свойств;

26. β - Mg_2Si – самые крупные частицы Mg_2Si , которые имеют кубическую форму и из-за своих больших размеров не дают никакого вклада в повышение прочностных свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шубин И.Н., Ткачев А.Г. и др. Типовые процессы в машиностроении.- Тамбов: Из-во ТГТУ, 2007.-84 с.
2. Муслимов А.П., Карпушевич З.Г., Трегубов А.В. Универсальная автоматическая система управления режимами работ станка при черновой и чистовой механической обработке. Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова № 9, Бишкек, 2006 г.
3. Стрельцов В.А. Повышение эффективности обработки точных отверстий в машиностроении. Фрунзе: Кыргызстан, 1970
4. Веремейчук И.С. Сплошное сверление глубоких отверстий М: Оборонгиз, 1940
5. Вершинская А.Д. Сверление титановых и жаропрочных сплавов. Сб. Высокопроизводительный режущий инструмент М: 1961
6. Галей М.Т. Точность обработки отверстий сверлением в зависимости от геометрии сверла и режимов резания. – Приборостроение №2 1964
7. Гарина Т.И. и др. Повышение точности расположения отверстий при сверлении. Станки и инструмент №9, 1972
8. Глухов И.А. Исследование погрешностей обработки отверстий на вертикально-сверлильных станках. Диссертация, М. 1951
9. Синельников А.К. Некоторые факторы, влияющие на некруглость отверстия и отклонение от соосности при сверлении. Сб. ВНИИ, №3, 1970
10. Хамитов Д.Х. Влияние погрешностей заточки сверла на точность обработки отверстий на revolverных станках. Ташкент, 1967
11. Galoway D.F. Some experiments on the influence of various factors on drill of various factors on drill performance «Translation on ASME» 79, №2, 1957
12. Тонамура Сакдзи Исследования влияния заточки сверл на точность обработки отверстий «Machinery» 33, №495, 1970
13. Соколовский А.П. Курс технологии машиностроения М-Л, 1949
14. Терентьев Н.С. Сверлильные станки и работа на них М-Л Машина, 1960

15. Тиллес С.А. Точность обработки на токарных и сверлильных станках М. Машины, 1949
16. Шеметов М.Г. Исследование точности и производительности обработки отверстий сверлением на станках с ЧПУ Диссертация, М: МВТУ, 1974
17. Забродский А.В. Конструкции, технология изготовления сверл для сверления точных отверстий на станках с ЧПУ, Киев, 1984
18. ГОСТ 25.506-85. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. М.: Изд. Стандартов. 1985.
19. Srawley J.E, B. Gross. Mat. Res. and Sids. 7(1967), S. 155.
20. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. – М. : Высшая школа, 1985. - С. 143-144.
21. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. - М.: Машиностроение, 1975. - С315-316.
22. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 2. / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Сулова, А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. - 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. - С 176-279.
23. Рагрин Н.А. Применение теории корреляции для получения зависимостей наработки от условий обработки сверлением. // Машиностроение и инженерное образование. – М., 2013. - № 3. - С. 21-29
24. Рагрин Н.А. Обеспечение безотказности быстрорежущих спиральных сверл в условиях автоматизированного производства // Машиностроитель. – М., 2012. - № 7. - С. 37-39.
25. Рагрин Н. А. Влияние условий обработки на физическую модель износостойкости инструмента при сверлении. // Технология машиностроения. – М., 2013. № 12. - С.15-24.
26. Рагрин Н.А., Самсонов В.А. Особенности влияния подачи на стойкость и наработку спиральных свёрл // Техника машиностроения – М., 2013. - № 4(88). - С. 18-19.

27. Рагрин Н. А. — Математическая модель стойкостной зависимости при сверлении. // Технология Машиностроения. – 2014. № 1. - С.49-54.
28. Рагрин Н. А. Влияние условий обработки на физическую модель износостойкости инструмента при сверлении. // Технология Машиностроения. – 2013. № 12. - С.15-24.
29. Муслимов А.П., Рагрин Н.А., Стародубов И.И. Расчет стойкости быстрорежущих спиральных сверл. // Известия КГТУ им. И. Раззакова. – Бишкек, 2013. № 30. - С. 13 - 16.
30. Рагрин Н.А., Самсонов В.А. Особенности влияния подачи на стойкость и наработку спиральных свёрл. // Техника машиностроения. – М., 2013. № 4(88). - С. 18-19.
31. Эсибян Э.М. Воздушно-плазменная резка: состояние и перспективы.// Автоматическая сварка, № 12, 2000г., стр. 6-16.
32. Васильев К.В. Плазменно-дуговая резка. – М.: Машиностроение, 1974. – 110с.
33. Быховский Д.Г. Плазменная резка. – Л.: Машиностроение, 1972. – 168с.
34. Ширшов И.Г., Котиков В.И. Плазменная резка. – Л.: Машиностроение, 1987- 192 с.
35. Кесаев И.Г. Катодные процессы электрической дуги. М., Изд-во «Наука», 1968, 244с.
36. Приэлектродные процессы в дуговых разрядах. Жуков М.Ф., Козлов Н.П., Пустогаров А.В. и др. - Новосибирск: Наука, 1982. - 157.
37. Грановский В.Л. Электрический ток в газе. Установившийся ток.- М.:Наука,1971.-543с
38. Бейлис И.И. К теории эрозионных процессов катодной области дугового разряда. //Докл. АН СССР, 1982 – 262, №6, стр. 1356-1361.
39. Финкельбург В., Меккер Г. Электрические дуги и термическая плазма. – М. ИЛ, 1961.-369 с.
40. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. Научное издание-3-е изд. – Долгопрудный: Изд. дом. «Интеллект», 2009.- 736 с.

41. Лесков Г.И., Электрическая сварочная дуга. М., Машиностроение, 1970, 335с.
42. Жуков М.Ф., Коротеев А.С., Урюков Б.А. Прикладная динамика термической плазмы. – Новосибирск: Наука, 1975. - 293.
43. WWW.energotechnika.ru
44. Жумалиев Ж..М. Разработка плазмотрона с вращающимся медным шаровым катодом.//Вестник КГТУ, №, 2006, с.
45. Болотов А.В., Борисова Т.В. Эрозия легкоплавких электродов. – В кн. Физика, техника и применение низкотемпературной плазмы. Алма-Ата, 1970, с. 298 – 300.
46. Рагрин Н. А. Физическая модель стойкостной зависимости при сверлении // Технология машиностроения. М., – 2012. - № 11. - С. 11–17.
47. Рагрин Н.А. Обеспечение безотказности быстрорежущих спиральных сверл в условиях автоматизированного производства //Машиностроитель. - М., – 2012. - №7. - С. 37-39.
48. Рагрин Н.А. Признаки потери работоспособности быстрорежущих спиральных сверл в условиях автоматизированного производства. Материалы III Международной научно-практической конференции «Техника и технология: новые перспективы развития».- М., 2011. - С. 55-58.
49. ГОСТ 2575-83 Инструменты режущие. Термины и определения общих понятий.
50. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение, 1985. – 344 с.
51. Общемашиностроительные нормативы по износу, стойкости и расходу спиральных сверл. – М.: НИИМАШ, 1980. – 40 с.
52. Рагрин Н.А. Влияние износа отдельных рабочих элементов на характер формирования отказа быстрорежущих спиральных сверл// Известия КГТУ им. И. Раззакова. – Бишкек, 2009. - № 19. – С.19-24.
53. Рагрин Н.А. Влияние скорости резания и износа рабочих элементов быстрорежущих спиральных сверл на динамические характеристики

- процесса сверления // Известия КГТУ им. И. Раззакова. – Бишкек, 2008. - № 14. – С. 51-53.
54. Самсонов В.А. Рагрин Н.А., Стародубов И.И. Особенности износа ленточек и уголков быстрорежущих спиральных сверл // Известия КГТУ им. И. Раззакова. – Бишкек, 2013. - № 29. - С. 160-163.
55. Рагрин Н.А. Критерий технологического износа быстрорежущих спиральных сверл // Известия КГТУ им. И. Раззакова. – Бишкек, 2010. - № 21. – С. 55-59.
56. Рагрин Н.А. Критерий оптимального износа быстрорежущих спиральных сверл // Известия КГТУ им. И. Раззакова. – Бишкек, 2010. - № 21. – С. 43-45.
57. Коцюбинский О.Ю. Стабилизация размеров чугунных отливок. М.: Машиностроение, 1974.
58. Крагельский И.В. Молекулярно-механическая теория трения. в кн. - Трение и износ в машинах т.3. М.-Л.: АН СССР, 1949.
59. Основы материаловедения. Под ред. А.В. Смирнова. М.: Машиностроение, 1976.
60. Современные высокопроизводительные методы старения чугунных деталей металлообрабатывающих станков. Рекомендации по применению. Герчиков А.М., Адоян Г.А., Коцюбинский О.Ю и др. М.: ЭНИМС, 1975.
61. Хенкин М.Л., Локшин И.Х. Размерная стабильность металлов и сплавов в точном машиностроении и приборостроении. М.: Машиностроение, 1974.
62. Рагрин Н.А. Обработка материалов и инструменты : Учебник / КГТУ им. И. Раззакова. – Бишкек : Текник, 2012. – С. 84.
63. Грановский Г.И., Баклунов Е.Д. Панченко К.П. Стабильность работы режущего инструмента на автоматических линиях // Автоматизация и механизация производственных процессов в машиностроении. - М. : Машиностроение, 1967. - С. 62-85.
64. Режимы резания металлов : Справочник / Под ред. Барановского Ю.В. Изд.3-е, переработанное и дополненное. - М.: Машиностроение, 1972. -

С.110.

65. Древаль А.Е., Рагрин Н.А., Самсонов В.А. Формирование отказов спиральных сверл в условиях автоматизированного производства. Электронное научно-техническое издание // МГТУ им. Баумана. – М., 2011. - №10. - 10 с.
66. Мартынов А.Д. О контроле симметричности заточки режущих кромок спиральных сверл // Спиральные сверла. - Вильнюс, 1964. - 15 с.
67. Самсонов В.А. Рагрин Н.А., Стародубов И.И. Особенности износа ленточек и уголков быстрорежущих спиральных сверл // Известия КГТУ им. И. Раззакова. – Бишкек, 2013. № 29. - С.160-163
68. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 2. / Под ред. Дальского А.М., Сулова А.Г., Косиловой А.Г., Мещерякова Р.К. - 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение -1, 2001. - С. 381 - 383.
69. Рагрин Н.А., Самсонов В.А. Особенности влияния подачи на стойкость и наработку спиральных свёрл // Техника машиностроения – М., 2013. - № 4(88). - С. 18-19.
70. Рагрин Н. А. Влияние условий обработки на физическую модель износостойкости инструмента при сверлении. // Технология машиностроения. – М., 2013. № 12. - С.15-24.
71. Рагрин Н.А. Обеспечение безотказности быстрорежущих спиральных сверл в условиях автоматизированного производства // Машиностроитель. – М., 2012. - № 7. - С. 37-39.
72. Рагрин Н.А. Применение теории корреляции для получения зависимостей наработки от условий обработки сверлением. // Машиностроение и инженерное образование. – М., 2013. - № 3. - С.21-29
73. Закс Л. Статистическое оценивание. - М.: Статистика, 1976. - С. 67.
74. Аксенов П.Н. Оборудование литейных цехов. – М.: Машиностроение, 1977, – 510 с.

75. Вербицкий В.И. Анализ эффективности встряхивающих формовочных машин путем имитационного моделирования. – Литейное производство, 1985, №11, с. 26 – 28.
76. Орлов Г.М. Автоматизация и механизация процесса изготовления литейных форм. – М.: Машиностроение, 1988. – 264 с.
77. Орлов Г.М. Благоднаров Б.П. Механизм импульсного уплотнения. – Литейное производство, 1992, №10, с. 4 – 5.
78. Матвеев И.В., Юсуфович А.Б. Исследование процесса уплотнения песчаных форм при скоростном прессовании, Литейное производство, 1983, № 10, с.17-18.
79. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. – ч. 1. – М.: Наука, 1987. – 464 с.
80. H. Tillmanns, A. Dietz, F. Weber, J. Bast, D. Renker. Untersuchungen und mathematische Modellierung zur pneumatischen Verdichtung tongebundener Formstoffes. CIATF Technical Forum 99, Düsseldorf, 1999, Paper №30, p. 228 – 236.
81. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1979. -520 с.
82. Соколовский А.П. Расчеты точности обработки на металлорежущих станках. – М-Л.: ГНТИ МЛ, 1952. –289с.
83. Митрофанов С.П. Научная организация серийного производства. – М-Л.: Машиностроение, 1970.- 768с.
84. Базров Б.М. Модульная технология в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2001–368с.
85. K.U. Kainer: „Microstructure, Mechanical Properties and Deformation Behavior of Extruded Magnesium Alloys“, Magnesium Alloys and their Applications, Weinheim, Wiley-VCH, 2000
86. J. Swiostek, J. Bohlen, D. Letzig, K.U. Kainer: „Hydrostatic and Indirect Extrusion of AZ-Magnesium Alloys“, Materials Science Forum Vols. 488-489 (2005) pp 491-494

87. W.H. Sillekens, J. Bohlen: „The MAGNEXTRUSCO Project: European Community Research on Hydrostatic Extrusion of Magnesium“, Proceedings of the 6th International Conference Magnesium Alloys and Their Applications; (Ed.: K.U. Kainer), Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2004, pp. 1046–1051.
88. W.H. Sillekens, D. Letzig: „The MAGFORGE Project: European Community Research on Forging of Magnesium Alloys“, Proceedings of the 7th International Conference on Magnesium Alloys and their Applications; Dresden, Germany (2006) pp. 999-1005
89. J. Swiostek: „Erweiterung der Prozessgrenzen beim Strangpressen von Magnesiumknetlegierungen der AZ-Reihe durch das hydrostatische Strangpressverfahren“, Dissertation, GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH, Geesthacht, 2008
90. M. Furukawa, Y. Iwahashi, Z. Horita, M. Nemoto, and T.G. Langdon: Review, „Processing of metals by equal-channel angular pressing“, Mater. Sci. Eng. A 257 (1998) pp. 328-332
91. Rundkneten für den Leichtbau, in: BLECH ROHRE PROFILE, 6-7/2010 Juni, <http://www.felss.de>
92. M.Z. Oo, J. Müller, M. Janecek, L. Wagner: „Annealing effects after various thermo-mechanical treatments on microstructure and mechanical properties of the wrought magnesium alloy AZ80“, Int. J. of materials research, (2009), 3, pp. 374-377, Hanser, München
93. T. Laser: „Einfluss von intermetallischen Phasen in der Magnesiumknetlegierung AZ31 auf Rekristallisation, Texturausbildung und mechanischen Eigenschaften“, Dissertation, Shaker Verlag, (2009), Aachen
94. Алюминий и его сплавы: Учебное пособие / Сост. А.Р.Луц, А.А. Суслина. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – 81 с.:ил.
95. Белов, А.Ф. Строение и свойства авиационных материалов [Текст]/ А.Ф. Белов, Г.П. Бенедиктова, А.С. Висков и др.; учеб. для вузов; М.: Металлургия, 1989.-368 с.

96. Елагин, В.И. Пути развития высокопрочных и жаропрочных конструкционных алюминиевых сплавов в XXI столетии [Текст]/ В.И. Елагин / Металловед. и терм. обр-ка металлов: науч.-техн. и произв. журн.,- №9.-2007. С. 3-11.
97. Фридляндер, И.Н. Перспективные высокопрочные материалы на алюминиевой основе [Текст]/ И.Н. Фридляндер и др. Металлов-е и терм. обработка мет-ов: науч.-техн. и произ. журнал, №7, 2005.- С.17-21/