

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. На предприятиях машиностроения Украины сверлильные работы составляют до 30% , а по зарубежным данным – около 40% от общей трудоемкости механической обработки. Доля трудоемкости в тяжелом машиностроении принадлежит глубокому сверлению (когда глубина отверстия превышает 10 диаметров).

Существующий теоретико-экспериментальный подход к изучению процесса сверления отверстий, особенно глубоких, сопровождается значительными трудностями, связанными с определенными особенностями процесса резания при сверлении, а также конструкциями режущих инструментов.

За последние годы зарубежные фирмы предлагают новые конструкции инструментов для глубокого сверления, в выборе которых для конкретных условий производства существуют трудности, связанные с отсутствием количественных характеристик качества их конструкций и определенных их недостатков.

Поэтому исследование этих инструментов является актуальной задачей машиностроения.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Исследования, которые выполнены в магистерской работе, связаны с государственными бюджетными темами кафедры компьютеризированные мехатронные системы, инструмент и технологии Донбасской государственной машиностроительной академии Д03-13 «Разработка технологических систем для экологической обработки деталей энергетики на базе адаптивных многоцелевых тяжелых станков».

Цель и задачи исследования. Цель исследования – повышение эффективности глубокого сверления путем совершенствования качества конструкции сборных инструментов для глубокого сверления.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Осуществить анализ действующих систем обработки глубоких отверстий.
2. Исследовать качество конструкции инструментов для глубокого сверления с применением квалиметричного подхода.
3. Исследовать силы резания с целью определения нагрузки на инструмент при сверлении отверстий.
4. Разработать новую конструкцию инструмента для глубокого сверления.
5. Разработать технологический процесс изготовления сверлильной головки.

Объект исследования – процесс обработки глубоких отверстий.

Предмет исследования – конструкция головки для глубокого сверления.

Методы исследования. Работа выполнена на основе фундаментальных положений, технологии машиностроения, теории резания, проектирования режущих инструментов, теории квалитетрии, методов формообразования поверхностей инструментов, начертательной геометрии.

Научная новизна полученных результатов.

1. Впервые доказано, что на износ направляющих пластин сборной сверлильной головки влияет величина и направление результирующей нагрузки. Предложен способ изменения этой нагрузки, позволяющий увеличить долговечность направляющих пластин, повысить производительность и качество сверления отверстий.

2. Разработана иерархическая система свойств, составляющих качество, позволяющая количественно оценить качество конструкции.

Практическая ценность. Предложена новая конструкция головки для глубокого сверления, которая может быть применена на любом машиностроительном заводе, которая позволит уменьшить результирующую нагрузку в 1.1 раза, увеличить долговечность направляющих пластин в 2 раза, повысить производительность сверления в 2 раза.

Достоверность полученных результатов. Достоверность полученных результатов работы обеспечивается точностью постановки задач, использованием математически корректных методов исследования.

Личный вклад соискателя состоит в формулировке цели и задач работы; разработке методов их решения; проведении экспериментальных исследований. Вклад автора в работы, выполненные в соавторстве, состоял в непосредственном участии во всех стадиях работы, включая постановку задачи, выполнения теоретических и экспериментальных исследований.

Апробация результатов работы. Основные положения и результаты докладывались на конференциях: Всеукраинском конкурсе студенческих научных работ в области наук «Обработка материалов в машиностроении» (г. Кировоград, 2014г.); Международная научно-техническая конференция «Тяжелое машиностроение. Проблемы и перспективы развития» (г. Краматорск 2014г.)

Публикации. По результатам магистерской работы опубликовано 5 работ, из них: 4 в специализированных изданиях ВАК Украины, 1 тезисы доклада.

Структура и объем работы. Магистерская работа состоит из введения, восьми глав, общих выводов, списка использованных источников с 40 наименованиями и 3 приложения. Основной текст изложен на 129 страницах, содержит 59 рисунков, 32 таблиц. Общий объем работы содержит 169 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

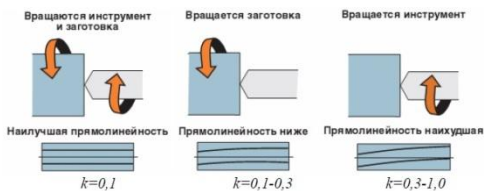
Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель и задачи исследования, научная новизна и практическое значение полученных результатов. Приведен уровень апробации работы, личный вклад соискателя и количество публикаций.

Первый раздел посвящен анализу нынешнего состояния вопроса по теме. Осуществлен анализ условий и особенностей глубокого сверления, определены цель и задачи исследования.

Фундаментальные положения обеспечения качества инструмента для глубокого сверления освещены в исследованиях Вальчихина Ю.А., Васильченко Я.В., Веремейчука И.С., Кирсанова С.В., Клименко Г.П., Пашовкина С.А., Троицкого Н.Д. и других ученых.

Анализ состояния вопроса повышения качества инструмента для глубокого сверления показал, что существующий теоретико-экспериментальный подход к изучению процесса сверления глубоких отверстий сопровождается значительными трудностями, связанными с определенными особенностями процесса резания при сверлении, а также конструкциями режущих инструментов. В выборе новых конструкций инструментов для глубокого сверления для конкретных условий производства существуют трудности, связанные с отсутствием количественных характеристик качества их конструкций и определенных их недостатков.

Анализ условий и особенностей глубокого сверления определил четыре типа оборудования для глубокого сверления: станок токарного типа, вертлюжного типа, станок без вращения заготовки, станок двухстороннего сверления. Установ-



лено, что наилучшую прямолинейность обеспечивает встречное вращение инструмента и заготовки. Эти условия обеспечивают станок то-

Рис.1.– Выбор рациональной схемы обра-

ботки глубоких отверстий для минимиза-
Выявлены четыре основ-
ции

введенные системы обработки глу-

бокихотверстий: системару-

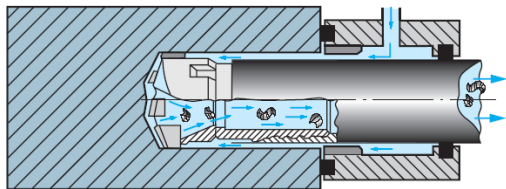
жейного сверления, эжекторная схема, открытая схема, закрытая схема

ВТА. Определено, что наиболее продуктивной системой обработки глу-

боких отверстий, обеспечивает наилучшее качество обработки, является

система ВТА.

боких отверстий, обеспечивает наилучшее качество обработки, является система ВТА.



СОЖ подаётся в зону резания через узкий кольцевой зазор между поверхностью борштанги и обрабатываемым отверстием, а затем вместе со стружкой

Рис.2 – Система обработки глубоких отверстий ВТА борштанге.

Исследование конструкций режущих инструментов проводилось с целью изучения возможных конструкций и выбора оптимальной конструкции режущего инструмента с точки зрения качества. В ходе анализа рассмотрено 5 базовых конструкций головок для глубокого сверления CoroDrill 800.20; T-MAX 424.10; T-MAX 424.31; 420.6.

Второй раздел магистерской работы посвящен рассмотрению методов исследования. Построена структура работы, описан квалиметрический подход к оценке качества конструкции, рассмотрены правила построения иерархического дерева, составлен алгоритм комплексной оценки уровня качества конструкции.

Оценка комплексного i свойства на j -м уровне рассматривания равна:

$$K_i^j = f\left(\frac{P_i}{P_i^{\text{эТ}}}\right),$$

где P_i и $P_i^{\text{эТ}}$ – производственные показатели качества i свойства соответственно фактические и эталонные.

Уровень качества (рассмотренный на уровне $j+1$) равен:

$$Y_{\text{э}}^{j+1} = \sum_{i=1}^n K_i^j \cdot B_i^j,$$

где B_i^j – весомость i свойства на j -м уровне рассматривания.

Рассмотрена методика нахождения сил резания при глубоком сверлении.

Глубины резания t для каждой из пластин определяется исходя из длины режущей кромки и угла в плане по формуле:

$$t_i = \frac{l_i \cdot \sin \varphi_i}{K};$$

где l_i – длина режущей кромки; φ – угол в плане пластины;

K – коэффициент, учитывающий необходимость перекрытия режущих кромок резцов.

Скорость резания на каждой из пластин изменяется по мере удаления от центра сверла. Для расчётов принимаем скорости в точках, соответствующих середине глубины резания для каждой из пластин. Тогда скорость резания для каждой пластины определяется по формуле:

$$v_i = \frac{\pi \cdot D_i \cdot n}{1000};$$

где n – число оборотов, соответствующее максимальной скорости резания на периферии; D_i – диаметр расположения средней точки глубины резания каждой из пластин.

Для центральной пластины $D1=t1$, для промежуточной – $D2=D1+t1+t2$, для периферийной пластины $D3=D2+t2+t3$.

Определяем силы резания, действующие на каждую пластину в плоскости, перпендикулярной оси инструмента.

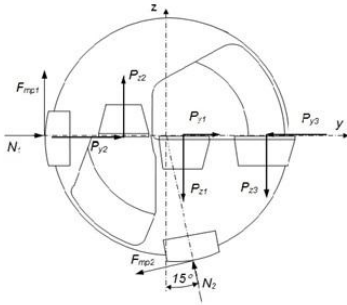


Рис.3 – Схема сил, действующих на инструмент

Тангенциальная сила резания:

$$P_{Z1} = 10C_p t^{x_p} S^y_p V^{n_p} K_p;$$

Радиальная сила резания:

$$P_{y1} = 10C_p t^{x_p} S^y_p V^{n_p} K_p$$

Полученные значения сил резания применяем для расчёта результирующей нагрузки и реакций на направляющих пластинах, необходимого для анализа результирующей нагрузки на различных этапах сверления.

Уравнение равновесия сил в проекциях на оси y, z .

$$\begin{cases} \sum F_z = 0; & \begin{cases} -P_{Z1} - P_{Z3} + P_{Z2} + F_{mp1} - F_{mp2} \cdot \sin 15^\circ + N_2 \cdot \cos 15^\circ = 0; \\ \sum F_y = 0. & \begin{cases} -P_{y3} + P_{y1} + P_{y2} + N_1 - F_{mp2} \cdot \cos 15^\circ - N_2 \cdot \sin 15^\circ = 0, \end{cases} \end{cases} \end{cases}$$

где P_{zi} – тангенциальная составляющая сил резания, P_{yi} – радиальная составляющая сил резания, N_i – реакция в направляющей пластине, F_{mpi} – сила трения на направляющей пластине.

$$\begin{cases} N_1 - N_2 \cdot \cos 75^\circ + R \cdot \cos \alpha = 0; \\ N_2 \cdot \cos 15^\circ - R \cdot \sin \alpha = 0. \end{cases}$$

Через реакции на направляющих пластинах определим величину и направление результирующей нагрузки R сил резания, действующей на инструмент.

В результате определения сил резания, действующих на инструмент, и определения направления результирующей нагрузки можно установить, как данная конструкция будет себя вести в процессе работы.

Также была рассмотрена методика эксплуатационных испытаний инструмента, целью которых является выявление фактических данных по надежности и эффективности инструмента, определение его эксплуатационных свойств, соответствие его функциональному назначению:

установлении различных нормативов, выявление достоинств и недостатков с целью разработки рекомендаций по совершенствованию.

Для лучшей наглядности по результатам расчетов необходимо построить графики и круговые диаграммы изменения вектора результирующей нагрузки. Для построения графиков воспользуемся программой для работы с электронными таблицами Microsoft Excel. Программа Excel позволяет анализировать данные с помощью диаграмм, создавать бланки документов, производить вычисления по формулам. Для построения круговой диаграммы изменения вектора результирующей нагрузки воспользуемся системой компьютерной алгебры Mathcad. Mathcad часто используется в крупных инженерных проектах, где большое значение имеет трассируемость и соответствие стандартам.

Третий раздел посвящен оценке качества конструкции. Определены преимущества и недостатки конструкций-аналогов, рассмотренных в первом разделе. При оценке качества конструкции использован квалиметрический подход, экспертный метод. Экспертная комиссия в составе 7 человек (специалисты ПАО НКМЗ и ДГМА) оценивала конструкцию по 5-балльной системе.

Составлена иерархическая структура свойств, составляющих качество инструмента для глубокого сверления на стадии его эксплуатации.



Рис.4 – Иерархическая структура свойств, составляющих качество инструмента для глубокого сверления на стадии его эксплуатации

Исследование конструкций головок для глубокого сверления и выбор оптимальных конструкций с учетом их качества показал, что наибольшие показатели качества имеет головка для глубокого сверления CoroDrill 800.20 фирмы «SANDVIK COROMANT».

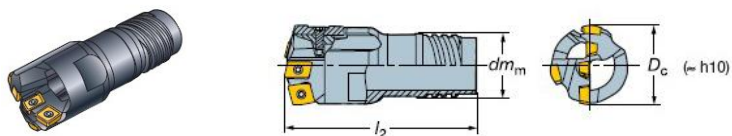
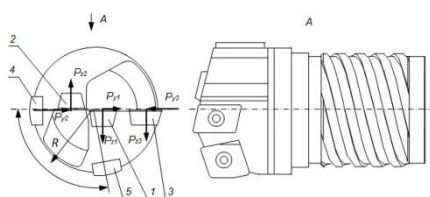


Рис. 5– Конструкция головки для глубокого сверления CoroDrill 800.20

В четвертом разделе описана концепция определённости базирования инструмента, выполнен расчет сил резания и результирующей нагрузки.



В процессе резания на режущие пластины в поперечном сечении инструмента действуют тангенциальные и радиальные силы резания, которые преобразуются в результирующую нагрузку постоянную по величине и направ-

Рис.6 – Принципиальная схема головки к лению. Расположение и геометрия для глубокого сверления режущих и направляющих пластин рассчитываются таким образом, чтобы результирующая нагрузка R была направлена по биссектрисе угла между направляющими пластинами 4 и 5. Таким образом, реализуется концепция определённости базирования инструмента в обрабатываемом отверстии. Инструмент прижимается направляющими пластинами к стенкам обрабатываемого отверстия, что исключает поперечные колебания и смещение в процессе резания. Это позволяет достичь высокой точности прямолинейности оси глубокого отверстия и низкой шероховатости поверхности.

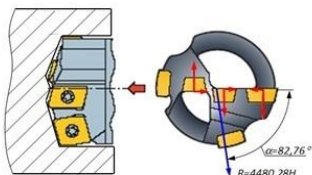


Рис.7 – Направление результирующей нагрузки в процессе резания

Результирующая нагрузка была определена в процессе сверления, засверливания и выхода инструмента. Такое направление результирующей нагрузки (рис.7) приводит к неравномерному износу направляющих пластин.

Ввиду расположения режущих пластин в корпусе с осевым смещением и наличия некоторого угла в плане при засверливании и окончании реза режущие пластины начинают и заканчивают резание вследствие чередности: центральная – промежуточная – периферийная. На первом этапе, при врезании центральной пластины, на инструмент действуют только силы резания на центральной пластине. На втором этапе в резании участвуют 2 пластины – центральная и промежуточная. На этапе 3 – все 3 пластины участвуют в резании.

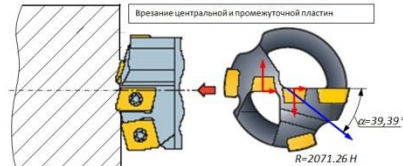
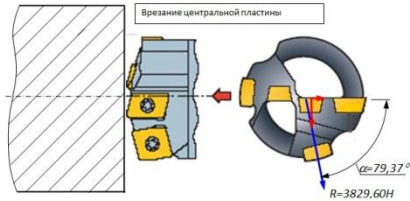


Рис.8 – Направление результирующей нагрузки на первом этапе засверливания
Рис.9 – Направление результирующей нагрузки на втором этапе засверливания

По результатам анализа результирующей нагрузки при засверливании построим графики и круговую диаграмму изменения вектора результирующей нагрузки R.

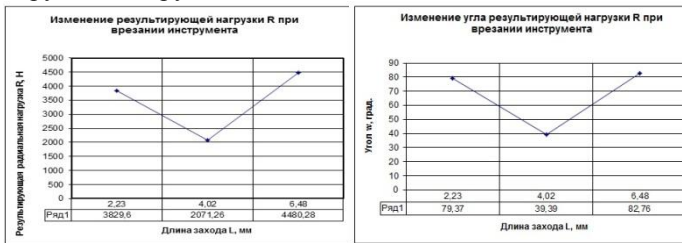
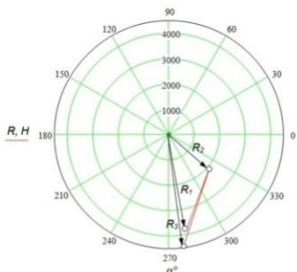


Рис.10 – Графики изменения вектора результирующей нагрузки R при засверливании



Вектор результирующей нагрузки при

Рис.11 – Диаграмма изменения вектора результирующей нагрузки R при засверливании

врезании инструмента изменяется его направление в диапазоне от $320,61^\circ$ до $277,24^\circ$ в абсолютных угловых координатах. Такое направление приводит к быстрому износу нижней направляющей пластины, разбивке отверстия.

Для уменьшения величины разбивки при врезании инструмента предложено:

1. Изменить направление действия результирующей загрузки путём изменения геометрии режущей части;
2. Изменить геометрию направляющей части инструмента для равномерной загрузки направляющих пластин и восприятия результирующей нагрузки при врезании;
3. Занижение режимов резания при врезании с целью уменьшения величины результирующей нагрузки.

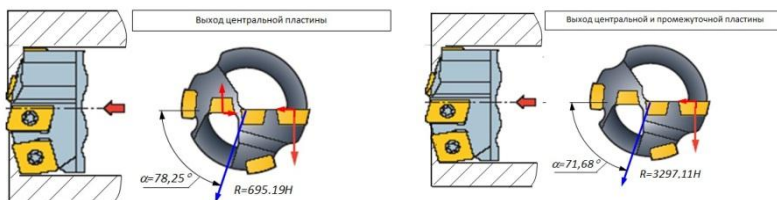
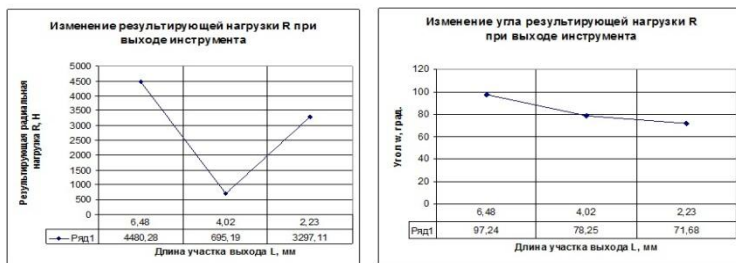


Рис.12 – Направление результирующей нагрузки в процессе резания промежуточной и периферийной пластины

На первом этапе, при выходе центральной пластины, на инструмент действуют силы резания на промежуточной и периферийной пластинах. На втором этапе в резании не участвуют 2 пластины – центральная и промежуточная. На этапе 3 – все 3 пластины участвуют в процессе резания.

По результатам анализа построим графики и круговую диаграмму изменения вектора результирующей нагрузки R при



выходе инструмента.

Рис.14 – Графики изменения вектора результирующей нагрузки R при выходе головки

Как видно из диаграммы, вектор результирующей нагрузки при выходе инструмента изменяет своё направление в диапазоне от $277,24^\circ$ до $251,68^\circ$ в абсолютных угловых координатах. Такое направление приводит

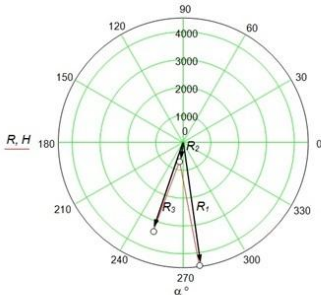


Рис.15 – Диаграмма изменения вектора результирующей нагрузки R при выходе инструмента

к быстрому износу нижней направляющей пластины.

Для уменьшения износа нижней направляющей пластины при выходе инструмента предложено:

1. Изменить направление действия результирующей нагрузки путём изменения геометрии режущей части;
2. Занижение режимов резания при выходе головки с

целью уменьшения величины результирующей нагрузки.

Пятый раздел посвящен разработке новой конструкции инструмента. Определены оптимальные параметры инструмента с точки зрения качества конструкции, разработаны технические требования, осуществлен статический и термический анализ новой конструкции

В результате анализа сил резания, рассмотренного в предыдущем разделе, выявлены два недостатка существующей конструкции:

1. При засверливании инструмента результирующая нагрузка действует в направлении между нижней направляющей пластиной и режущей кромкой периферийной пластины, что приводит к разбивке отверстия.
2. В процессе резания и выхода инструмента результирующая нагрузка направлена преимущественно в направлении нижней направляющей пластины, что приводит к неравномерному износу направляющих пластин и преждевременному износу нижней направляющей пластины.

Для устранения первого недостатка введём в конструкцию инструмента третью направляющую пластину, расположенную в первой четверти по направлению вращения инструмента, как показано на рис.16.

Таким образом, результирующая нагрузка, возникающая при засверливании в плоский торец либо по неровностям, воспринимается двумя направляющими пластинами 5 и 6, что препятствует врезанию периферийной режущей пластины в обрабатываемый материал и разбивке отверстия.

Для устранения второго недостатка зададим такое расположение направляющих пластин, при котором вектор результирующей нагрузки будет смещён по направлению биссектрисы угла между направляющими 4 и 5. Для этого изменим угол поворота β промежуточной режущей пластины 2. Для определения оптимального значения угла поворота β точки зрения качества конструкции воспользуемся программой для работы с электронными таблицами Microsoft Excel.

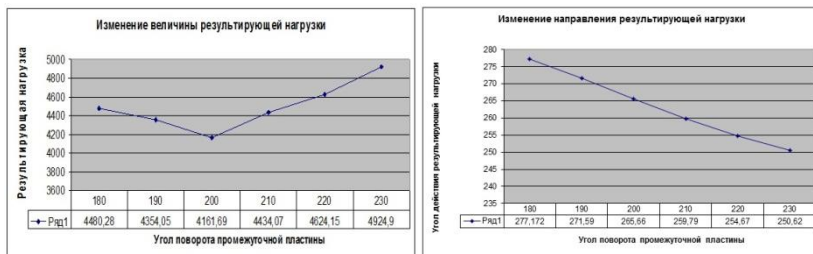


Рис.16 – Изменение величины и направления действия результирующей нагрузки в зависимости от угла поворота промежуточной режущей пластины

С увеличением угла поворота β угол действия результирующей нагрузки ω приближается к значению биссектрисы угла между направляющими пластинами 4 и 5 (рис.17), чем обеспечивается более равномерное распределение нагрузки на направляющих пластинах. Увеличение угла поворота β промежуточной режущей пластины более 210° приведёт к сильному уменьшению размера отверстия для схода стружки. В то же время, наименьшее значение величины результирующей нагрузки соответствует углу поворота 200° (рис.16). Результирующая нагрузка снизится с 4480,28Н до 4161,69Н.

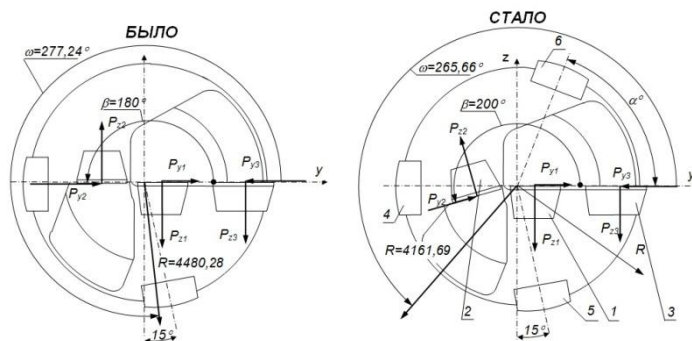


Рис.17 – Схема новой конструкции инструмента для глубокого сверления отверстий

Технические требования:

Для обеспечения точности просверленного отверстия, радиальное биение на твердосплавных колодках не должно превышать 0,02 мм.

Для обеспечения долговечности корпуса не допускаются зазоры между пластинами и опорными базовыми поверхностями.

Так же что бы обеспечить долговечность посадочных отверстий в корпусе, необходимо обеспечить твердость порядка 34..37 HRC.

В качестве защитного покрытия корпуса применяется химическое оксидирование.

Шероховатость поверхностей под пластину должна быть не выше Ra 2,5.

Шероховатость базовой поверхности корпуса Ra 0,8; ходовой резьбы и посадочного отверстия под оправку Ra 1,6; остальных поверхностей не должна превышать значения Ra 3,2.

Неуказанные предельные отклонения корпуса должны составлять: валов h11, отверстий H11, остальные IT11/2.

Статический и термический анализ был проведен с целью осуществить расчёт напряжённого состояния конструкции под действием приложенных к системе постоянных во времени сил, оценки температурного поведения изделия под действием источников тепла и излучения, оценить прочность разработанной конструкции по допускаемым напряжениям, определить наиболее слабые места.

Нагрузим головку рассчитанными в четвертом разделе силами и определим напряжения, смещения и деформации, возникающие в конструкции.

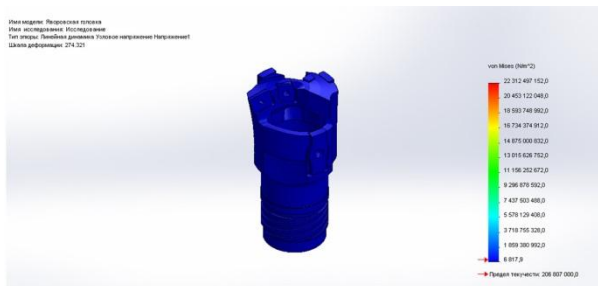


Рис.18– Эпюра напряжений, действующих на инструмент

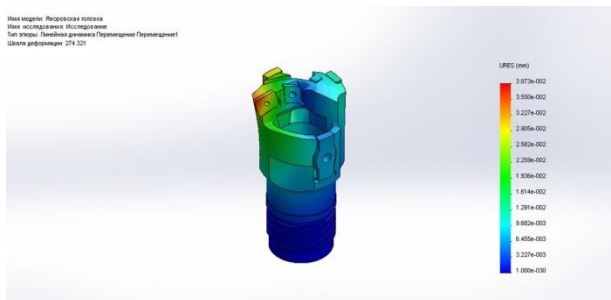


Рис.19 – Эпюрасмещений, действующих на инструмент

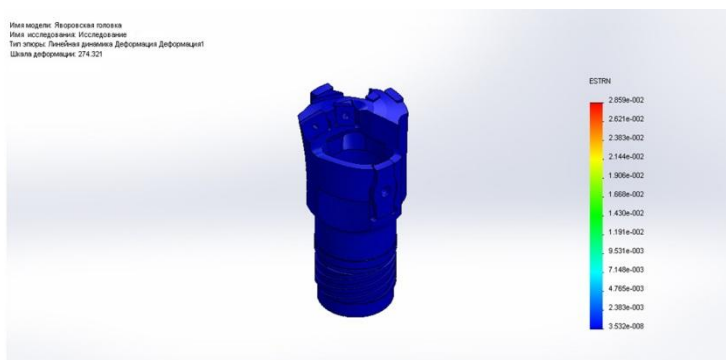


Рис.20 – Эпюрадеформаций, действующих на инструмент

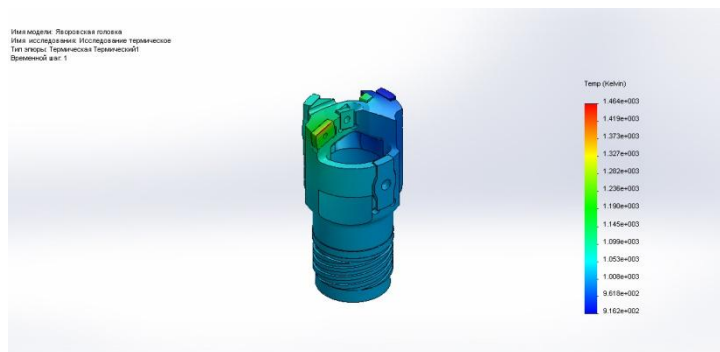


Рис.21 – Эпюра температур, действующих на инструмент

Статический и температурный анализ новой конструкции головки показал, что максимальное напряжение возникает на периферийной пластине головки, но оно находится в пределах допустимого и не вредит инструменту. Максимальная деформация, перемещение и температура соответствуют нормам. В результате расчетов в системе

SolidWorksSimulation установлено, что данное изделие удовлетворяет требованиям и заданному качеству.

В шестом разделе рассмотрено назначение и техническая характеристика изделия. Выполнен анализ конструкции изделия на технологичность. Выбран и обоснован тип производства. Спроектирован маршрутный технологический процесс. Выполнен анализ мероприятий по сокращению трудоемкости изготовления инструмента. Выбран и экономически обоснован тип заготовки. Выполнен расчет припусков и режимов резания при изготовлении инструмента. Выбран оптимальный вариант технологического процесса на основе технико-экономического анализа. Определена трудоемкость изготовления инструмента по оптимальному технологическому процессу. Спроектирован операционный технологический процесс изготовления головки для глубокого сверления.

Седьмой раздел является экономической частью магистерского дипломного проекта, в которой рассчитана себестоимость единицы продукции, оптовая и отпускная цена единицы инструмента, рентабельность производства.

Строим график денежных потоков.

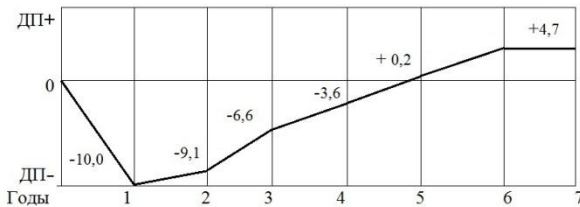


Рис.22 - График денежных потоков (млн.грн.)

Восьмой раздел посвящен вопросу охраны труда. Проведен анализ опасных и вредных производственных факторов, мероприятия по промышленной санитарии, технике безопасности. Выполнен расчет освещения помещения инструментального цеха, рассчитана система защитного заземления.

ВЫВОДЫ

1. Анализ состояния вопроса повышения качества инструмента для глубокого сверления показал, что существующий теоретико-экспериментальный подход к изучению процесса сверления глубоких отверстий сопровождается значительными трудностями, связанными с определенными особенностями процесса резания при сверлении, а также конструкциями режущих инструментов.

Установлено, что наиболее важные свойства, составляющие качество режущих инструментов: свойства назначения, прочность; надежность; технологичность; патентно-правовые свойства.

2. Анализ условий и особенностей глубокого сверления определил 4 типа оборудования для глубокого сверления: станок токарного типа, вертлюжного типа, станок без вращения заготовки, станок двухстороннего сверления. Установлено, что наилучшую прямолинейность обеспечивает встречное вращение инструмента и заготовки. Эти условия обеспечивает станок токарного типа КЖ-1920. Выявлены четыре основные системы обработки глубоких отверстий: система ружейного сверления, эжекторная схема, открытая схема, закрытая схема ВТА. Определено, что наиболее продуктивной системой обработки глубоких отверстий, обеспечивает наилучшее качество обработки, является система ВТА.

3. Исследование конструкций головок для глубокого сверления квалитетическим методом и выбор оптимальных конструкций с учетом их качества показал, что наибольшие показатели качества имеет головка для глубокого сверления CoroDrill 800.20 фирмы «SANDVIK COROMANT».

4. Анализ сил, действующих на инструмент в процессе врезания, сверления и выхода из заготовки показал, что при врезании инструмента действие результирующей нагрузки приводит к разбивке отверстия. В процессе резания и выхода инструмента направление результирующей нагрузки приводит к неравномерному износу направляющих пластин и преждевременному износу нижней направляющей пластины.

5. Предложены и обоснованы способы устранения выявленных недостатков, рассчитан оптимальный угол расположения промежуточной режущей пластины, использование которого в конструкции головки позволяет снизить результирующую нагрузку с 4480,28 Н в 4161,69 Н, а также обеспечить минимизацию и равномерность износа направляющих пластин. Предложенные изменения позволяют увеличить долговечность направляющих пластин, благодаря меньшей и равномерной нагрузке, а также повысить производительность и качество сверления отверстий.

6. Рассчитаны основные конструктивные параметры и спроектирована головка для глубокого сверления с $D=50\text{мм}$, материал корпуса – сталь 5ХНМ, позволяющая повысить точность обработки отверстия и стойкость инструмента.

7. Спроектирован прогрессивный технологический процесс изготовления головки для глубокого сверления $\varnothing 50\text{мм}$, выбраны модели оборудования, оснастка, режущие и мерительные инструменты, необходимые для изготовления изделия, позволяющие снизить

трудоемкость изготовления на 30% и снизить себестоимость обработки на 20%.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ МАГИСТЕРСКОГО ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

1. Клименко Г.П., Коноплицкий Е.В., Яворовская Я.И. Исследование напряженного состояния сверл для глубокого сверления / Важкемашинобудування, проблеми та перспектив розвитку. Матеріали ХІ міжнародної науково-технічної конференції «Важкемашинобудування». – Краматорськ : ДДМА, 2013.-с.63.
2. Клименко Г.П., Яворовская Я.И. Исследование конструкций сборного инструмента для глубокого сверления / Надежность режущего инструмента и оптимизация технических систем. – Краматорск : ДГМА, №33, 2014. -с.45-50.
3. Клименко Г.П., Пациора А.П., Яворовская Я.И. Анализ качества конструкций сборного инструмента для глубокого сверления / Матеріали ХІ міжнародної науково-технічної конференції «Важкемашинобудування». – Краматорськ : ДДМА, 2014.-с.18.
4. Клименко Г.П., Яворовская Я.И. Повышение качества сборных сверлильных головок / Вестник ДГМА №3 .
5. Яворовская Я.И. Совершенствование конструкций и исследование качества сборных инструментов для глубокого сверления / Студенческий Вестник. –Краматорск : ДГМА, 2014 .-55с.