

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 621.9 ; 658.51 ; 621.81

ЕРМАШКЕВИЧ
Дмитрий Брониславович

**ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН
ИЗ МЕТАЛЛОПРОКАТА НА ОСНОВЕ
СКВОЗНОГО КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения

Минск, 2017

Работа выполнена в Белорусском государственном аграрном техническом университете

Научный руководитель	Акулович Леонид Михайлович , доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технология металлов» Белорусского государственного аграрного технического университета
Официальные оппоненты:	Пашкевич Виктор Михайлович , доктор технических наук, доцент, проректор по научной работе ГУ ВПО «Белорусско–Российский университет»; Ковалева Ирина Львовна , кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры САПР, Белорусский национальный технический университет
Оппонирующая организация	УО «Белорусский государственный технологический университет»

Защита состоится «12» января 2018 г. в 15⁰⁰ часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.03 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, проспект Независимости, 65, корпус I, ауд. 202, телефон ученого секретаря (+375 17) 292-24-04.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан « 8 » декабря 2017 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций Д 02.05.03,
доктор технических наук, профессор



О.Г. Девойно

ВВЕДЕНИЕ

Частая сменяемость номенклатуры выпускаемых изделий, вызванная рыночной конкуренцией и являющаяся устоявшейся тенденцией развития современного машиностроения, ограничивает сроки, отводимые на технологическую подготовку производства. Поэтому для изготовления заготовок деталей машин становится наиболее рациональным использовать металлопрокат, доля которого в общем объеме заготовок непрерывно увеличивается и достигает 80 % в сельхоз- и станкостроении. Вместе с тем, расширение номенклатуры изготавливаемых изделий приводит к увеличению доли затрат на подготовку производства в себестоимости продукции. Например, по аналитическим данным подпрограммы «Станки и инструменты» ГНПП «Технологии и оборудование машиностроения» в станкостроении объем работ по технологической подготовке производстве составляет около 40 % от всего объема технической подготовки.

Возможность быстро освоить производство новых изделий с высокими показателями их качества и минимальной себестоимостью определяют конкурентоспособность машиностроительного предприятия. В этих условиях нет альтернативы использованию систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) изготовления изделий, которые осуществляют быстрый поиск оптимальных проектных решений, обеспечивающих высокое качество технологических процессов.

Существующие САПР ТП как отечественные (Pramen, TechCARD), так и зарубежные (Компас Автопроект и Вертикаль, T-Flex Технология и др.) достаточно эффективно решают задачи автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления деталей машин по различным технологическим пределам (механическая обработка, холодная штамповка и др.), различаются предметной ориентацией и уровнем автоматизации. Однако известные САПР ТП не позволяют производить сквозное проектирование технологических процессов и, как следствие, не могут комплексно учитывать возможности современного технологического оборудования на заготовительных операциях резки металлопроката, что приводит к увеличению припусков на обработку, неоправданному расходу металла, повышению себестоимости обработки резанием.

Решение проблемы кроется в сквозном компьютерном проектировании технологических процессов, учитывающем интегрированные связи различных технологических переделов (резки металлопроката, механической обработки, холодной штамповки, сварки, нанесения покрытий) и использование совместно с операциями механической обработки современных способов резки, обеспечивающих точность обработки $\pm 0,1$ мм, скорость резки листового металлопроката до 20 м/мин, формирование сложных контуров поверхностей.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами

Тема диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 годы (пункты 3 «Промышленные и строительные технологии и произ-

водство», 7 «Информационно–коммуникационные и авиакосмические технологии» Постановления Совета Министров Республики Беларусь от 12 марта 2015 г. № 190). Работа выполнялась в рамках задания 01.26 «Разработать и внедрить систему автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления корпусных деталей на машиностроительных предприятиях Витебской области» РНТП «Развитие Витебской области» (2009–2010 гг.) (№ ГР 20093237) и задания 2–16 «Разработать и внедрить автоматизированную систему подготовки производства предприятия по выпуску оборудования для механизации сельскохозяйственных работ» ГНТП «Информационные технологии» на 2014–2015 годы (№ ГР 20142830).

Цель и задачи исследования

Целью исследований является разработка технологий изготовления деталей машин из металлопроката на основе сквозного компьютерного проектирования технологических процессов, комплексно учитывающего возможности новых методов обработки.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

- разработать концепцию функционирования интегрированной системы сквозного компьютерного проектирования технологий изготовления деталей машин из металлопроката, технологические алгоритмы объектно–ориентированных модулей и методы автоматизированного проектирования технологических процессов, обеспечивающие концентрацию обработки, автоматическое и интерактивное проектирование методом структурного синтеза;

- установить параметры геометрической точности и шероховатости поверхностей заготовок, изготавливаемых из листового металлопроката современными методами термической резки, определить граничные условия назначения операций раскроя и разработать библиотеку конструктивно–технологических элементов, содержащую массивы параметризованных функциональных модулей с операциями механической обработки и раскроя листового проката;

- разработать метод структурного синтеза технологических процессов изготовления деталей машин из металлопроката, основанный на использовании конструктивно–технологических элементов для операций механической обработки, термической и гидроабразивной резки, и методику выбора варианта технологии с минимальной трудоемкостью;

- разработать метод автоматизированного проектирования технологических процессов, обеспечивающий рациональное сочетание автоматического и интерактивного проектирования;

- разработать методику расчета показателей эффективности раскроя, учитывающую деловые отходы;

- провести промышленную апробацию результатов исследований, разработать и внедрить в производство систему компьютерного проектирования технологических процессов изготовления деталей из металлопроката.

Научная новизна

Научная новизна работы состоит:

- в разработке концепции создания и функционирования интегрированной системы компьютерного проектирования технологий изготовления деталей машин из металлопроката, отличающейся совмещением объектно–ориентированных моду-

лей автоматизированного проектирования технологических процессов раскроя металлопроката, механической обработки заготовок и других технологических переделов и обеспечивающей сквозное компьютерное проектирование технологических процессов изготовления деталей машин из металлопроката;

– в создании массивов параметризованных конструктивно–технологических элементов с операциями раскроя листового металлопроката и механической обработки, впервые учитывающих условия назначения этих операций по параметрам геометрической точности и шероховатости поверхностей и обеспечивающих максимальную концентрацию обработки;

– в разработке методики определения предпочтительного варианта маршрута обработки, отличающегося матричным представлением каждого из вариантов технологии обработки, отражающих связи конструктивно–технологических элементов (КТЭ), из которых состоит рассматриваемая деталь, с технологическими операциями их обработки, и поиском на орграфах пути (технологического маршрута) с минимальной трудоемкостью;

– в разработке технологического алгоритма функционирования комбинированного метода автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления изделий из металлопроката, отличающегося интерактивно–алгоритмическим подходом при структурном синтезе и позволяющего совмещать автоматическое и интерактивное проектирование.

Положения, выносимые на защиту

1. Концепция и алгоритмы функционирования интегрированной системы компьютерного проектирования технологических процессов и входящих в нее объектно–ориентированных модулей по технологическим переделам, обеспечивающие интеграцию операций раскроя, механической обработки, холодной штамповки, сварки, нанесения гальванических и лакокрасочных покрытий и позволяющие осуществлять сквозное компьютерное проектирование технологических процессов изготовления деталей машин из металлопроката.

2. Экспериментально установленные величины параметров точности и шероховатости поверхностей заготовок при плазменной и лазерной резке, позволившие определить граничные условия применения операций раскроя при сквозном проектировании технологических процессов, что технологически обеспечило разработку массивов параметризованных конструктивно–технологических элементов (КТЭ), создание их библиотеки и расширение традиционной области применения технологий резки металлопроката.

3. Метод структурного синтеза технологических процессов изготовления деталей машин из металлопроката, основанный на использовании конструктивно–технологических элементов (КТЭ), каждый из которых обладает иерархической структурой и представляет собой самостоятельный объект с набором рациональных типовых технологических маршрутов обработки, отличающийся возможностью использования в единых технологических процессах операций раскроя металлопроката современными способами и механической обработки, что позволило обосновать и впервые автоматизировать сквозное проектирование технологических процессов изготовления деталей машин из металлопроката.

4. Методика определения предпочтительного варианта технологического маршрута изготовления деталей машин из металлопроката при сквозном компью-

терном проектировании технологических процессов, основанная на матричном представлении каждого варианта и поиске на орграфах наименьшего пути (маршрута), позволяющего на этапе проектирования осуществлять сравнительный анализ вариантов и выбирать вариант технологии с минимальной трудоемкостью изготовления деталей, обеспечивающий при использовании предложенной методики расчета эффективности раскроя экономию металла на операциях раскроя круглого и листового проката.

5. Комбинированный метод автоматизированного проектирования технологических процессов, отличающийся сочетанием автоматического метода на базе комплексных технологических процессов и интерактивного метода на базе структурного синтеза и конструктивно–технологических элементов (КТЭ), что позволило повысить уровень автоматизации проектных процедур и уменьшить сроки подготовки производства.

Личный вклад соискателя ученой степени

Соискателем лично получены основные научные результаты, включающие алгоритм функционирования интегрированной системы сквозного компьютерного проектирования технологических процессов изготовления деталей машин из металлопроката, алгоритмы функционирования входящих в нее объектно–ориентированных модулей по технологическим переделам, методику определения предпочтительного варианта технологического маршрута изготовления деталей машин из металлопроката и методику расчета показателей эффективности раскроя с учетом деловых отходов.

Совместно с научным руководителем, доктором технических наук Л.М. Акуловичем, были определены основные направления концепции функционирования интегрированной системы сквозного компьютерного проектирования технологических процессов, методик исследований, метода структурного синтеза технологических процессов, комбинированный метод автоматизированного проектирования, а также сформулированы основные научные результаты диссертации.

Соавторы совместно опубликованных работ принимали участие в проведении экспериментальных исследований и разработке программ.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Основные положения и результаты работы доложены и обсуждены на МНТК «Совершенствование систем автоматизации технологических процессов» (г.Минск, БНТУ, 2010); МНТК «Автоматизация технологических процессов» (г.Минск, МИНСКЭКСПО, 2010); МНТК «Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки» (г.Минск, МИНСКЭКСПО, 2011); РНТС «Автоматизация технологических процессов и производств» (г.Минск, МИНСКЭКСПО, 2012), симпозиуме «Технологии. Оборудование. Качество» (г.Минск, ЭКСПОФОРУМ, 2014); 14–м МНТС «Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте» (г. Киев, Украина, 2014); МНТК «Информационные технологии в промышленности» (г.Минск, ОИ-ПИ НАН Беларуси, 2015); МНПК «Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК» (г. Минск, БГАТУ, 2014 и 2017). Результаты диссертации прошли производственную апробацию и внедрены на базовом предприятии ОАО «Минский Агросервис».

Опубликование результатов диссертации

По теме диссертации опубликовано 13 научных работ, в том числе: 4 статьи в журналах, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь общим объемом 1,43 авторского листа, 6 статей в сборниках научных трудов и материалах конференций, 3 тезисов докладов.

Структура и объем диссертации

Работа содержит введение, общую характеристику работы, пять глав, заключение, библиографический список и 9 приложений, оформленных отдельной книгой. Общий объем работы составляет 120 страниц, включающих 51 рисунок и 14 таблиц, 10 страниц библиографического списка (118 наименований, из них – 13 публикаций соискателя). Объем приложений составляет 261 страницу.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Первая глава посвящена анализу проблем сквозного компьютерного проектирования деталей машин из металлопроката. Приведены результаты анализа возможностей САПР ТП раскроя листового материала и механической обработки в машиностроении, сопоставления их характеристик и оценки инструментария проектирования технологических процессов при изготовлении деталей машин из металлопроката. Показано, что каждая из известных САПР ТП обеспечивает автоматизированное проектирование технологических процессов соответственно по конкретным видам обработки и ни одна из них не осуществляет сквозное проектирование технологических процессов. Известные отечественные и зарубежные САПР ТП реализуют следующие методы проектирования: автоматический, полуавтоматический, «по аналогу» и интерактивный (диалоговый), разновидностью которого является проектирование методом структурного синтеза с использованием конструктивно–технологических элементов (КТЭ).

Общим недостатком существующих САПР ТП механической обработки является невозможность комплексного использования одновременно нескольких методов проектирования. САПР раскроя металлопроката поставляются в «коробочном варианте» и не адаптированы под условия предприятий, ряд систем поставляются только в комплекте с технологическим оборудованием или входят в состав графических пакетов, что накладывает ограничения на интеграцию с САПР ТП. В САПР раскроя не решены вопросы формирования рациональных карт раскроя в зависимости от типа производства и производственных условий предприятия. Например, в модуле раскроя (ОАО «Институт Белорганкинпром») отсутствует решение для проектирования карт раскроя прутков, а методика расчета эффективности показателей раскроя листового проката не учитывает деловых отходов.

Показано, что существующие САПР ТП не учитывают возможностей современного технологического оборудования при изготовлении деталей машин из металлопроката. Не решены задачи автоматизированного проектирования технологии, рационально сочетающей термическую, гидроабразивную резку и механическую обработку. Указанные недостатки САПР ТП являются следствием отсутствия технологических решений, обеспечивающих сквозное компьютерное проектирование технологических процессов. Поэтому возникает потребность в разработке ин-

тегрированной системы для сквозного проектирования, что позволит избежать основного недостатка использования автономных модулей, а именно, исключить многократный «ручной» ввод одинаковых исходных данных и минимизировать возможные при этом ошибки, сократить время на проектирование. В результате проведенного анализа выявлены лучшие проектные решения, которые целесообразно заимствовать при разработке библиотеки КТЭ и алгоритмов функционирования объектно-ориентированных модулей по технологическим переделам при сквозном проектировании, в частности, из САПР ТП «Pramen», модуля «Раскрой» и САПР ТП Корпусных деталей (разработчики ОАО «Институт Белорганстанкин-пром» и УО «ВГТУ»). На основании проведенного анализа сформулирована цель работы и определены задачи, решение которых необходимо для достижения поставленной цели.

Во второй главе приведены методики исследований, применяемое оборудование и материалы.

Известные САПР ТП, в основе работы которых лежит метод структурного синтеза, не учитывают технологических операций раскройного производства. В этой связи потребовалось разработать схемы обработки и определить граничные условия назначения операций раскроя при формировании маршрута изготовления деталей из металлопроката, которые необходимы для разработки массивов параметризованных функциональных модулей и библиотеки КТЭ, расширяющих традиционную область применения технологий резки металлопроката. Для определения граничных условий выбора операций раскроя при формировании маршрута изготовления деталей из металлопроката требуется информация по параметрам геометрической точности и шероховатости поверхностей, формируемых при резке металлопроката современными способами. Геометрическая точность обработанных поверхностей характеризуется качеством точности, определяемым через величины отклонения от номинальных размеров и допуски. При экспериментальных исследованиях геометрическая точность обработанных поверхностей оценивалась по величине действительного диаметрального размера. Шероховатость поверхностей реза оценивалась по параметру Ra (среднее арифметическое отклонение профиля).

При проведении экспериментальных исследований для вырезки заготовок использовали оборудование плазменной и лазерной резки:

- портальный станок для плазменной и газовой резки VanadProxima (Portal) HDSeries;
- консольный станок для лазерной резки VANAD MIRON LASER (Fiber).

Поскольку поверхности, получаемые гидроабразивной и лазерной резкой, имеют близкие показатели точности и шероховатости, то для определения граничных условий назначения операций гидроабразивной резки были использованы результаты экспериментальных исследований, полученные при лазерной резке, и данные, содержащиеся в литературе.

Из листового металлопроката 345–09Г2С–св–2 ГОСТ 19281–89 различной толщины плазменной и лазерной резкой вырезали заготовки деталей круглой формы определенных диаметров (по 5 штук на определенный диаметр из листов каждой толщины), на которых измеряли диаметральный (D_{ϕ}) размер и параметр Ra шероховатости поверхности реза. Варьируемые факторы: толщина листа S , и радиус реза R . По фактической величине диаметров вычисляли отклонения Δ от номи-

нальных размеров. Измерение действительных диаметральных размеров производили по ГОСТ 26433.1–89 с использованием штангенциркуля электронного ШЦЦ–1–300 (цена деления 0,01 мм). Шероховатость поверхности измеряли профилетром MITUTOYO SJ–201P.

Описана общая концепция интегрированной системы сквозного компьютерного проектирования технологических процессов изготовления деталей машин из металлопроката. На рисунке 1 приведен фрагмент структурной схемы интегрированной системы с ее основными компонентами.



Рисунок 1. – Фрагмент структурной схемы интегрированной системы

Определен набор основных функций, выполняемых при компьютерном проектировании технологических процессов изготовления деталей машин из металлопроката:

- возможность интеграции с графическими пакетами разных производителей (AutoCAD, T–FLEX, Компас и др.);
- ведение автоматизированного архива деталей и сборочных единиц (управление составом изделий);
- ввод информации с электронных чертежей и 3D–моделей, созданных в разных графических системах (AutoCAD, T–FLEX, Компас и др.);
- создание и ведение единой базы данных (БД) технологического назначения, обеспечивающей передачу данных модулям, выполняющим основные функции системы, и обмен информацией с информационными системами предприятий;
- сквозное проектирование технологических процессов автоматическим и диалоговым методами (в том числе методом структурного синтеза с использованием КТЭ), методом «по аналогу» и комбинированным методом;
- проектирование карт раскроя всех видов с расчетом их показателей эффективности;
- проектирование управляющих программ (УП) для оборудования с ЧПУ;
- формирование комплектов стандартной технологической документации.

Программные модули по запросу выбирают состав изделия, характеристики узлов и деталей из архива изделий интегрированной системы. Далее для разработки документации по технологическим переделам используются условно–постоянные параметры единой базы данных технологического назначения, с возможностью их дополнения и (или) редактирования.

Результаты работы модулей передаются в архив технологических процессов интегрированной системы.

Архивы интегрированной системы содержат информацию о результатах работы модулей:

- структуру изделий;
- характеристики изделий, узлов, деталей;
- расход материалов на изделия;
- технологические процессы изготовления изделий, узлов и деталей.

Определены состав и структуры входных и выходных данных интегрированной системы (рисунок 2).

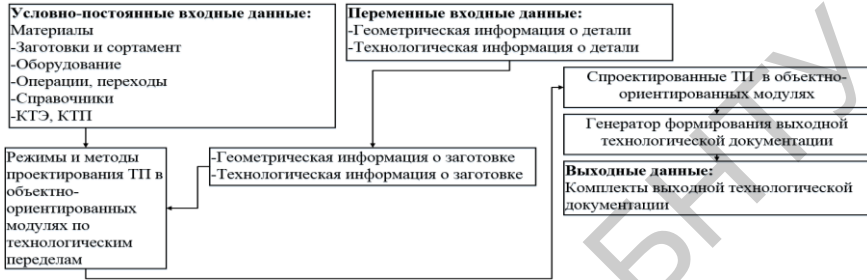


Рисунок 2. – Структура входных и выходных данных

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям и разработке технологических решений для сквозного компьютерного проектирования технологических процессов изготовления заготовок деталей машин из металлопроката. Исследования проводили по программе центрального композиционного ротационного планирования второго порядка с обработкой их результатов методами математической статистики с использованием табличного процессора MS–Excel 2010.

Получены уравнения регрессии второго порядка (или математико-статистические модели), определяющие зависимость величин отклонений диаметральных размеров Δ_l (мм) от толщины листа S (мм) и радиуса реза R (мм):

$\Delta_l = 0,177 + 10^{-3} \cdot (16,9 \cdot S - 0,34 \cdot R - 0,018 \cdot S \cdot R - 0,04 \cdot S^2 + 0,003 \cdot R^2)$ – для плазменной резки;

$\Delta_l = 0,065 + 10^{-3} \cdot (1,3 \cdot S + 0,5 \cdot R + 0,2 \cdot S^2 + 0,002 \cdot R^2)$ – для лазерной резки, графическая интерпретация которых показана на рисунке 3.

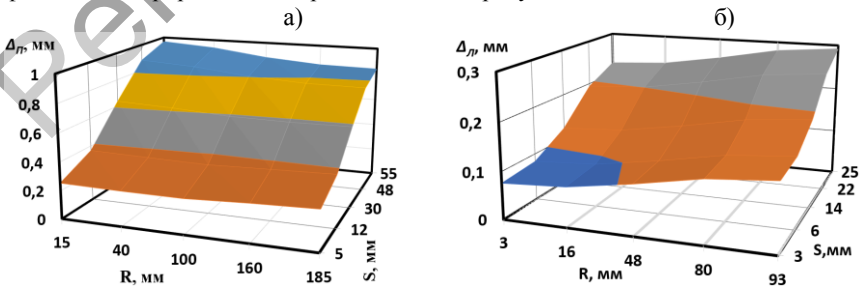


Рисунок 3. – Влияние толщины листа S и радиуса реза R на величину отклонений от номинального размера Δ_l при плазменной (а) и лазерной (б) резке

Уравнения регрессии второго порядка, определяющие зависимость величин параметров Ra (мкм) шероховатости поверхности реза от толщины листа S (мм) и радиуса реза R (мм) имеют вид:

$Ra_{П} = 15,40 + 10^{-3} \cdot (64,3 \cdot S - 135,9 \cdot R - 0,4 \cdot S \cdot R + 16,1 \cdot S^2 + 0,6 \cdot R^2)$ – для плазменной резки;

$Ra_{Л} = 2,545 + 10^{-3} \cdot (432,7 \cdot S - 32,4 \cdot R + 0,2 \cdot S \cdot R - 7,2 \cdot S^2 + 0,2 \cdot R^2)$ – для лазерной резки, графическая интерпретация которых показана на рисунке 4.

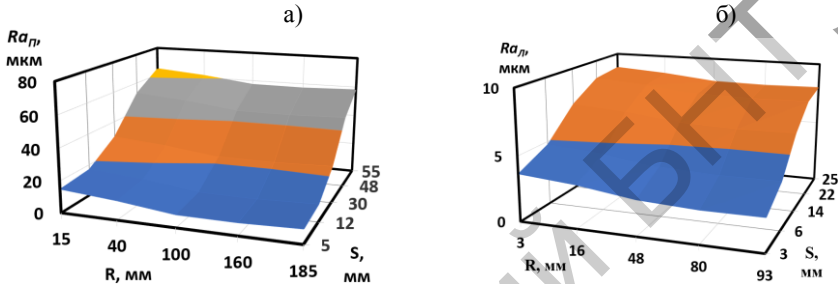


Рисунок 4. – Влияние толщины листа S и радиуса реза R на величину параметров Ra шероховатости поверхности реза при плазменной (а) и лазерной (б) резке

Адекватность полученных моделей проверяли сравнением расчетного критерия Фишера с табличным. Все полученные четыре модели являются адекватными при 5% уровне значимости.

Экспериментально установлено, что плазменной резкой можно обрабатывать поверхности по 10...14-му качеству точности (ГОСТ 25346–89) с шероховатостью Ra 8,0...63,0 мкм, а лазерной резкой – по 10...12-му качеству точности с шероховатостью Ra 2,5...10,0 мкм.

По результатам экспериментальных исследований, сформулированы основные условия выбора операций резки в технологии обработки КТЭ. Для плазменной резки: $S \leq 55$ мм, качество не точнее 14-го, шероховатость поверхности $Ra \geq 16,0$ мкм (при $S \leq 12$ мм), $D1 \geq (0,9..1,4)S$ (при обработке цилиндрических поверхностей), $D3 \geq (0,9..1,4)S$ при условии $D3 \geq 3$ мм (при обработке конических поверхностей). Для лазерной резки: $S \leq 25$ мм, качество не точнее 12-го, шероховатость поверхности $Ra \geq 10,0$ мкм, $D1 \geq (0,3..0,4)S$ (при обработке цилиндрических поверхностей), $D3 \geq (0,3..0,4)S$ (при обработке конических поверхностей). Для гидроабразивной резки: $8 \text{ мм} \leq S \leq 100$ мм, качество не точнее 12-го, шероховатость поверхности $Ra \geq 4,0$ мкм, $D1 \geq 2$ мм (при обработке цилиндрических поверхностей). Принятые обозначения: S – толщина обрабатываемой поверхности, мм; $D1$ – диаметр обрабатываемого сквозного цилиндрического отверстия, мм; $D3$ – меньший диаметр обрабатываемого сквозного конического отверстия, мм.

На основании результатов экспериментальных исследований, а также анализа поверхностей деталей–представителей, изготавливаемых из металлопроката, разработана библиотека КТЭ, содержащая 45 КТЭ различных типов (поверхности, отверстия, пазы, окна, канавки и другие) со схемами их обработки, включая опера-

ции лазерной и плазменной резки, а также условиями выбора оптимальных схем обработки в зависимости от требуемой точности. Фрагмент библиотеки КТЭ приведен на рисунке 5.

Поскольку КТЭ являются обобщением повторяющихся элементов деталей, у которых могут быть изменены размеры (при этом не изменяется соотношение между размерами) или технологические характеристики, то они по определению являются параметризованными элементами. Параметры КТЭ разделены на два вида: геометрические (длина, ширина, диаметр и т.п.) и технологические (точность обработки и шероховатость поверхности).

Эскиз КТЭ	Условия выбора схемы обработки поверхностей КТЭ	Схемы обработки поверхностей КТЭ
<p>КТЭ - окно в сплошном материале на плоской поверхности</p>	<p>Шероховатость $Ra \geq 3,2$ мкм Квалитет точности: не точнее 12-го</p>	<ul style="list-style-type: none"> - фрезерование концевой фрезой или долбление (сквозные) - фрезерование концевой фрезой
	<p>Шероховатость поверхности окна $Ra \geq 4,0$ мкм $8 \text{ мм} \leq L5 \leq 100 \text{ мм}$ Квалитет точности: не точнее 12-го</p>	<ul style="list-style-type: none"> - гидроабразивная резка - фрезерование концевой фрезой или долбление (сквозные) - фрезерование концевой фрезой
	<p>Шероховатость поверхности окна $Ra \geq 10,0$ мкм $L5 \leq 25 \text{ мм}$ Квалитет точности: не точнее 12-го</p>	<ul style="list-style-type: none"> - фрезерование концевой фрезой или долбление (сквозные) - фрезерование концевой фрезой - лазерная (или гидроабразивная при $L5 \geq 8$ мм) резка
	<p>Шероховатость поверхности окна $Ra \geq 16,0$ мкм $25 \text{ мм} < L5 \leq 55 \text{ мм}$ Квалитет точности: не точнее 14-го</p>	<ul style="list-style-type: none"> - фрезерование концевой фрезой или долбление (сквозные) - фрезерование концевой фрезой - плазменная резка

Рисунок 5. – Фрагмент библиотеки КТЭ

Библиотека КТЭ использована при разработке программного обеспечения базы данных (БД). Разработанная БД КТЭ позволяет интегрировать подпрограммы конструкторско–технологической модели в программное обеспечение создаваемой системы и обеспечить формирование технологических процессов методом синтеза операций.

Разработана методика расчета показателей эффективности раскроя с учетом деловых отходов, позволяющая осуществлять рациональный раскрой деталей и экономить металл на операциях раскроя.

В существующих методиках на лист раскладывают детали одного наименования, а нормы расхода и коэффициент использования металла (КИМ) вычисляют как отношение массы листа к количеству деталей каждого наименования, которое удалось разложить на лист. Однако, на практике в раскрое участвуют детали разных наименований, поэтому предложенная методика позволяет рассчитывать нормы расхода металла и КИМ для нескольких наименований деталей при раскрое на разрезных станках (пило– и ленточно–отрезных), гильотинных ножницах, машинах термической резки и установках гидроабразивной резки.

При раскрое на гильотинных ножницах, машинах термической резки и установках гидроабразивной резки учитываются доля площади каждой детали в общей площади листа и площадь делового отхода в конкретном заказе (рисунок 6).

Норма расхода материала на деталь 1 массой m_1 , кг:

$$A_{n1} = m_1 \cdot (1 + ((S_{Л1} - S_{O1} - s_1 \cdot N_1 - s_2 \cdot N_2 - \dots - s_N \cdot N_N) : (s_1 \cdot N_1 + s_2 \cdot N_2 + \dots + s_N \cdot N_N))),$$

коэффициент использования металла:

$$\text{КИМ} = s_1 : A_{n1} = s_2 : A_{n2} = \dots = s_N : A_{nN} = (s_1 \cdot N_1 + s_2 \cdot N_2 + \dots + s_N \cdot N_N) : (S_{\text{Л}} - S_{\text{О}}),$$

где $S_{\text{Л}}$ – площадь листа, мм²; $S_{\text{О}}$ – площадь делового отхода, мм²; $s_1 \dots s_N$ – площади деталей, раскладываемых на листе, мм²; $N_1 \dots N_N$ – количества деталей каждого наименования, шт.

При раскросе на разрезных станках учитываются доля длины каждой детали в общей длине прутка и длина делового отхода в конкретном заказе на раскрой.

Норма расхода материала на деталь 1 массой m_1 , кг:

$$A_{n1} = m_1 \cdot (1 + ((L_{\text{П}} - L_{\text{О}} - l_1 \cdot N_1 - l_2 \cdot N_2 - \dots - l_N \cdot N_N) : (l_1 \cdot N_1 + l_2 \cdot N_2 + \dots + l_N \cdot N_N))),$$

коэффициент использования металла:

$$\text{КИМ} = m_1 : A_{n1} = m_2 : A_{n2} = \dots = m_N : A_{nN} = (l_1 \cdot N_1 + l_2 \cdot N_2 + \dots + l_N \cdot N_N) : (L_{\text{П}} - L_{\text{О}}),$$

где $L_{\text{П}}$ – длина прутка, мм; $L_{\text{О}}$ – длина делового отхода, мм; $l_1 \dots l_N$ – длины раскладываемых деталей, мм; $N_1 \dots N_N$ – количества деталей каждого наименования, шт.



Рисунок 6. – Схема для расчета норм расхода материала при раскросе на гильотинных ножницах, машинах термической резки и установках гидроабразивной резки

Четвертая глава посвящена разработке методов принятия технологических решений и алгоритмов их функционирования при сквозном компьютерном проектировании процессов изготовления деталей машин из металлопроката.

Разработан укрупненный алгоритм функционирования интегрированной системы, который предусматривает следующую последовательность действий (рисунок 7).

1. Конструктор (группа конструкторов) разрабатывает КД на проектируемое изделие с использованием графического пакета. Структура и состав проектируемого изделия из рабочего пространства графического пакета автоматически заносятся в

Архив изделий интегрированной системы. В Архиве изделий к деталям и узлам проектируемого изделия привязываются соответствующие чертежи и 3D-модели.

2. Автоматическая передача состава изделия и конструкторской информации в Архив технологических процессов.

3. Технолог (группа технологов) с использованием соответствующих объектно-ориентированных модулей выполняет автоматизированное проектирование технологических процессов механической обработки, холодной штамповки, сварки, нанесения гальванических и лакокрасочных покрытий, раскроя фигурного металлопроката.

4. Автоматическая передача спроектированных технологических процессов в структурированном виде в Архив технологических процессов.

5. Формирование комплектов стандартной технологической документации.

6. Передача технологической документации в производство.

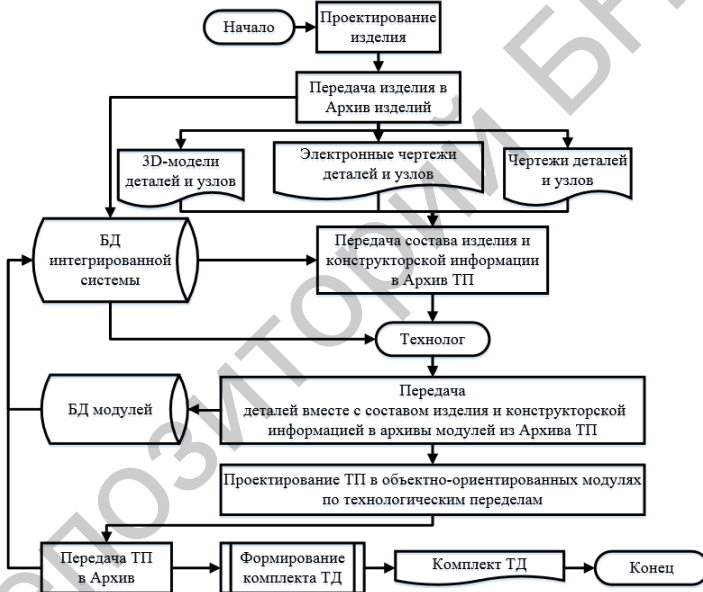


Рисунок 7. – Блок-схема алгоритма функционирования интегрированной системы

Разработан метод структурного синтеза конструкторско-технологической модели технологического процесса изготовления деталей машин из металлопроката (рисунок 8). Каждую деталь представляют в виде совокупности ее КТЭ. Соответственно, конструкторско-технологическая модель детали – совокупность входящих в нее КТЭ. Для каждого КТЭ должны быть определены геометрические параметры варианты технологии обработки, а также условия выбора требуемого варианта технологии обработки. На основании фактических значений геометрических параметров для каждого КТЭ происходит выбор требуемого варианта технологии его обработки. Технологический процесс изготовления детали синтезируется из выбранных вариантов технологии обработки всех входящих в эту деталь КТЭ.

После сравнения фактических значений геометрических параметров с условиями выбора требуемого варианта технологии обработки, количество подходящих вариантов технологии обработки может все равно оказаться более одного.

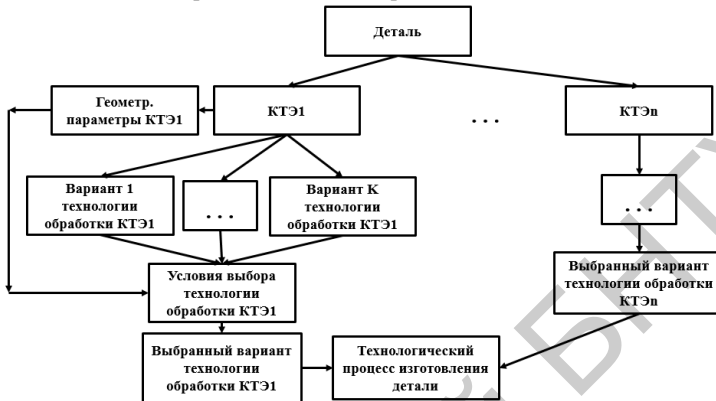


Рисунок 8. – Схема формирования технологического процесса изготовления детали методом структурного синтеза

Поэтому предложена методика определения предпочтительного варианта технологии обработки, базирующаяся на использование орграфов, построенных на основе матриц допустимых сочетаний КТЭ и технологических операций их обработки. В вершинах орграфа указываются номера и времена технологических операций обработки КТЭ в соответствии с построенной матрицей. Вершины орграфа соединяются ребрами в последовательности, соответствующей варианту маршрута обработки. Общий вид матрицы приведен в таблице 1.

Таблица 1. – Матрица допустимых сочетаний КТЭ и технологических операций их обработки в общем виде

КТЭ		КТЭ1	КТЭj	КТЭn
Техн. операции				
№ опер.	Наименование операции			
1	Техн. операция №1	X(T ₀₁₁)	X(T _{01n})
....	X(T _{0ij})
N	Техн. операция №N		X(T _{0Nn})

Предпочтительный вариант маршрута обработки выбирается исходя из двух условий:

1) орграф имеет наименьший путь (маршрут). Данное условие отражает необходимость максимальной концентрации обработки на одном рабочем месте;

2) минимум штучного времени всех входящих в него технологических операций.

Для автоматического формирования технологического процесса изготовления деталей машин из металлопроката при сквозном компьютерном проектировании применен метод, основанный на использовании комплексных технологических

процессов (КТП). По своей сути КТП представляет собой избыточный типовой технологический процесс для любой детали, входящей в группу с общими конструктивными и технологическими признаками. С другой стороны, КТП представляет собой формализованный технологический алгоритм, содержащий операции, модели оборудования и переходы на определенную группу деталей с условиями их назначения. КТП является основой для организации проектирования технологических процессов обработки деталей в автоматическом режиме.

Предложен комбинированный метод автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления деталей машин из металлопроката, который позволяет использовать достоинства рассмотренных методов проектирования. Блок-схема алгоритма функционирования комбинированного метода в составе интегрированной САПР ТП приведена на рисунке 9.

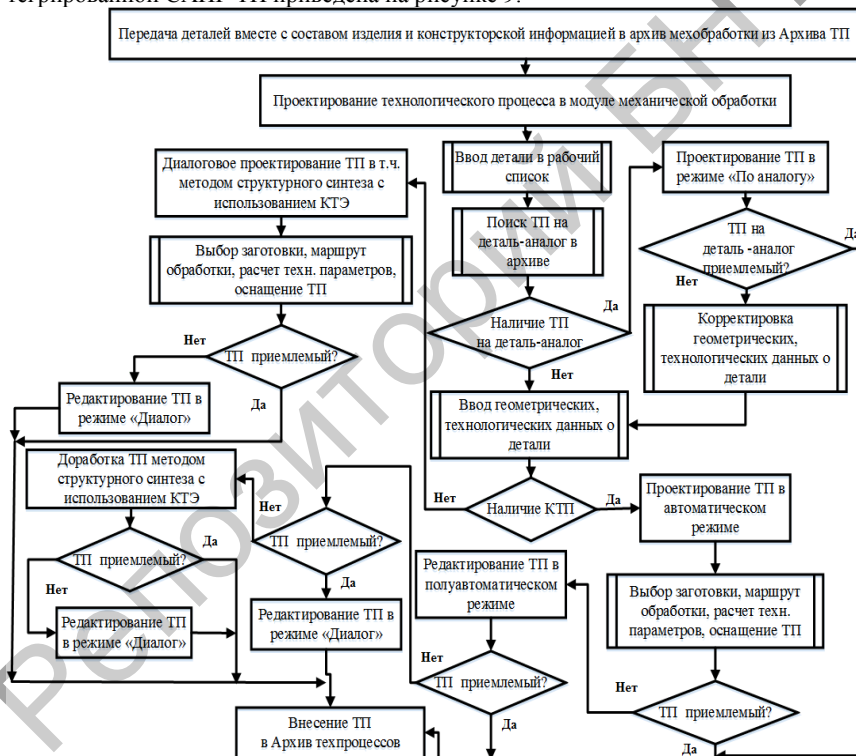


Рисунок 9. – Фрагмент алгоритма функционирования интегрированной САПР ТП при автоматизированном проектировании технологических процессов комбинированным методом

Модуль механической обработки – САПР ТП, в которой реализован комбинированный метод автоматизированного проектирования технологических процессов, предусматривает следующий порядок проектирования:

– для деталей, поддающихся группированию по конструкторско-технологическим признакам, – проектирование автоматическим методом на базе комплексных технологических процессов с доработкой (при необходимости) полуавтоматическим и диалоговым методами с использованием (или без использования) метода структурного синтеза;

– для деталей, не поддающихся группированию по конструкторско-технологическим признакам или не обеспеченных КТЭ по тем или иным причинам, – проектирование диалоговым методом, в том числе методом структурного синтеза с использованием КТЭ;

– для деталей, у которых одна часть конструктивно-технологических элементов поддается группированию, а другая – не поддается, – проектирование комбинированным методом, при котором первая часть технологического процесса формируется автоматическим методом, другая часть – диалоговым методом, в том числе методом структурного синтеза с использованием КТЭ, обработка которых не предусмотрена в КТЭ;

– для деталей, входящих в технологическую группу, – проектирование методом «по аналогу», при условии наличия в САПР ТП спроектированного ранее технологического процесса на деталь–аналог.

Пятая глава посвящена промышленной апробации интегрированной системы с разработкой технологий изготовления деталей машин из металлопроката на основе сквозного компьютерного проектирования технологических процессов с использованием автоматизированной системы подготовки производства предприятия по выпуску оборудования для механизации сельскохозяйственных работ, программное обеспечение которой разработано совместно с ОИПИ НАН Беларуси.

Производственные испытания системы сквозного компьютерного проектирования технологических процессов изготовления деталей машин из металлопроката проводились в условиях ОАО «Минский Агросервис» на тестовых примерах по разработанной программе и методике испытаний. По результатам испытаний система внедрена в производство.

Технико–экономические показатели внедрения автоматизированной системы подготовки производства предприятия по выпуску оборудования для механизации сельскохозяйственных работ: сокращение сроков подготовки производства на 20–25%; экономия металлопроката на 5–10 %; снижение брака на 10–15 %; повышение загрузки оборудования на 15–20 %.

Экономический эффект от внедрения (экономия трудозатрат, материальных и энергетических ресурсов) составил 3321,09 млн. руб. в ценах на 04.12.2015 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Предложена концепция и разработан алгоритм функционирования интегрированной системы сквозного компьютерного проектирования технологических процессов изготовления деталей машин из металлопроката, заключающиеся в интеграции объектно–ориентированных модулей по технологическим переделам (операций раскроя металлопроката, механической обработки заготовок, холодной штамповки, сварки, нанесения гальванических и лакокрасочных покрытий) и ис-

пользовании в единых технологических процессах современных способов резки листового проката совместно с операциями механической обработки, что позволяет осуществлять сквозное компьютерное проектирование технологических процессов изготовления деталей машин из металлопроката, сократить сроки подготовки производства на 20–25 %, экономить металлопрокат на 5–10 %. Разработаны алгоритмы функционирования объектно–ориентированных модулей в составе интегрированной системы сквозного компьютерного проектирования технологических процессов. На основе предложенных концепции и алгоритмов было разработано программное обеспечение [2, 3, 4, 7–9].

2. Экспериментально установлены параметры геометрической точности и шероховатости поверхностей заготовок, изготавливаемых из листового металлопроката современными методами термической резки, и на основе анализа литературных источников определены граничные условия назначения операций раскроя:

- плазменной резки – 14–й квалитет точности (для любой толщины листа), шероховатость $Ra \geq 16,0$ мкм (для листов толщиной менее 12 мм);
- лазерной резки – 12–й квалитет точности, шероховатость $Ra \geq 10,0$ мкм;
- гидроабразивной резки – 12–й квалитет точности, шероховатость $Ra \geq 4,0$ мкм.

Результаты исследований позволили разработать рациональные схемы обработки и технологические условия назначения операций раскроя, создать базу данных и библиотеку конструктивно–технологических элементов, содержащую массивы параметризованных функциональных модулей с операциями механической обработки, термической и гидроабразивной резки, необходимую при компьютерном проектировании технологических процессов изготовления деталей машин из металлопроката методом структурного синтеза [1, 11, 12].

3. Разработан метод структурного синтеза технологических процессов изготовления деталей машин из металлопроката, основанный на использовании 45–ти конструктивно–технологических элементов для операций механической обработки, термической и гидроабразивной резки, каждый из которых обладает иерархической структурой и представляет собой самостоятельный объект с набором рациональных типовых технологических маршрутов обработки, учитывающих возможности современного технологического оборудования для механической обработки, термической и гидроабразивной резки, что позволило обосновать и впервые автоматизировать проектирование технологических процессов изготовления деталей машин из металлопроката сочетанием операций механической обработки, термической и гидроабразивной резки. Предложена методика определения предпочтительного варианта технологического маршрута изготовления деталей машин из металлопроката при сквозном компьютерном проектировании технологических процессов, основанная на матричном представлении возможных вариантов и поиске на орграфах наименьшего пути (маршрута), отражающего связи конструктивно–технологических элементов, из которых состоит рассматриваемая деталь, и технологических операций ее изготовления. Методика позволяет выбирать вариант технологии с минимальной трудоемкостью изготовления деталей из металлопроката [1, 4, 5, 8, 10–12].

4. Предложен комбинированный метод автоматизированного проектирования технологических процессов, позволяющий формировать технологические процес-

сы изготовления элементов конструкции, поддающихся группированию, автоматическим методом с использованием комплексных технологических процессов, а для остальной части элементов – интерактивным методом с использованием структурного синтеза и конструктивно–технологических элементов, обработка которых не предусмотрена комплексными технологическими процессами, что повышает уровень автоматизации проектирования технологических процессов изготовления деталей из металлопроката в 3...10 раз в зависимости от конструктивной сложности деталей и уменьшить сроки подготовки производства на 20–25 % [2, 4, 6, 12].

5. Разработана методика оценки эффективности раскроя заготовок, основанная на расчете коэффициента использования металла и отличающаяся учетом деловых отходов в последующем раскрое, что позволяет при раскрое на разрезных станках (пило– и ленточно–отрезных), гильотинных ножницах, машинах термической резки и установках гидроабразивной резки экономить металлопрокат до 10 % [3, 13].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Результаты исследований использованы при разработке автоматизированной системы подготовки производства предприятия по выпуску оборудования для механизации сельскохозяйственных работ (№ ГР 20142830), которая внедрена в производство ОАО «Минский Агросервис» с экономическим эффектом 3321,09 млн. руб. в ценах на 04.12.2015 г.

2. Методы компьютерного проектирования технологий изготовления деталей машин из металлопроката внедрены в образовательный процесс БГАТУ на кафедре «Технология металлов» при подготовке студентов по специальности 1–74 06 03 «Ремонтно–обслуживающее производство в сельском хозяйстве», что повышает профессиональную компетенцию студентов.

3. Результаты исследований могут быть использованы предприятиями РО «Белагросервис», станкостроительными и ремонтными предприятиями, а также учреждениями образования машиностроительного профиля.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах

1. Система автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления корпусных деталей на станкостроительных предприятиях Витебской области / Н.Н. Попок, Н.В. Беляков, В.И. Ольшанский, Ю.Е. Махаринский, М.М. Жадович, Д.Б. Ермашкевич, А.В. Белецкий, В.В. Величко // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. Машиностроение, технологии. – 2011. – № 11. – С. 2–11.

2. Акулович, Л.М. Методические основы интеграции систем автоматического проектирования технологических процессов резки заготовок из листа и их механической обработки / Л.М. Акулович, Д.Б. Ермашкевич // Агропанорама. – 2014. – № 1 (101). – С. 43–46.

3. Акулович, Л.М. Автоматизация раскроя заготовок деталей из профильного металлопроката / Л.М. Акулович, Д.Б. Ермашкевич // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.–техн. навук. – 2017. – № 1. – С. 76–84.

4. Акулович, Л.М. Комбинированный метод автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления деталей машин / Л.М. Акулович, Д.Б. Ермашкевич // Вестник Белорусско-российского университета. – 2017. – № 2 (55). – С. 5–15.

Статьи в сборниках научных трудов и материалах конференций

5. SAPR – система для производства корпусных деталей / В.И. Ольшанский, Н.Н. Попок, Н.В. Беляков, Ю.Е. Махаринский, М.М. Жадович, Д.Б. Ермашкевич, А.В. Белецкий, В.В. Величко // Автоматизация технологических процессов: материалы междунар. науч.–техн. конф., Минск, 15–16 марта 2011 г. / НАН Беларуси, ГКНТ Республики Беларусь, БНТУ, ЗАО «Минскэкспо» / редкол.: Г.Н. Здор (гл. ред.) и [др.]. – Минск : Бизнесофсет, 2011. – С. 43–44.

6. Ермашкевич, Д.Б. Повышение уровня автоматизации проектирования технологических процессов механической обработки изготовления деталей машин // Автоматизация технологических процессов и производств: материалы республиканского научно–технического семинара, Минск, 14 марта 2012 г. / М-во образования Республики Беларусь, НАН Беларуси, БНТУ, ЗАО «Минскэкспо». – Минск : Минскэкспо, 2012. – С. 26–28.

7. Гривачевский, А.Г. Функциональная структура системы автоматизированного проектирования технологических процессов для машиностроительных предприятий / А.Г. Гривачевский, Д.Б. Ермашкевич, Р.Л. Кулик, Б.М. Штейн // Проблемы создания информационных технологий : сб. научных трудов / под ред. Г.Г. Маньшина. – Москва : ООО «Техполиграфцентр», 2014. – Вып. 25. – С. 39–44.

8. Акулович, Л.М. Автоматизация сквозного проектирования технологических процессов в машиностроении / Л.М. Акулович, Д.Б. Ермашкевич // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте : материалы 14–го Международного научно–технического семинара, г. Свалява, Карпаты, 24–28 февраля 2014 г. / АТМ Украины и [др.]. – Киев : АТМ Украины, 2014. – С. 5–8.

9. Акулович, Л.М. Функциональные особенности и структура автоматизированной системы для технологической подготовки производства предприятия по выпуску и ремонту сельскохозяйственной техники / Л.М. Акулович, Д.Б. Ермашкевич // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК : материалы Междунар. науч.–практ. конф., посвященной 60-летию Белорус. гос. аграр. техн. ун–та и памяти первого ректора БИМСХ (БГАТУ), д.т.н., профессора В.П. Сулова, Минск, 4–6 июня 2014 г. / УО «Белорус. гос. аграр. техн. ун–т» ; редкол.: И.Н. Шило и [др.]. – Минск, БГАТУ, 2014. – С. 158–163.

10. Акулович, Л.М. Автоматизация технологической подготовки производства деталей сельскохозяйственной техники из металлопроката / Л.М. Акулович, Д.Б. Ермашкевич // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК : материалы Междунар. науч.–практ. конф., Минск, 7–8 июня 2017 г. / УО «Белорус. гос. аграр. техн. ун–т», РО «Беллагросервис» ; редкол.: Н.Н. Романюк и [др.]. – Минск, БГАТУ, 2017. – С. 47–54.

Тезисы докладов

11. Ермашкевич, Д.Б. Развитие системы автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки деталей / Д.Б. Ермашкевич, М.М. Жадович, Б.М. Штейн // Совершенствование систем автоматизации технологических процессов. Материалы Международной научно-технической конференции, 24–25 мая 2010 г. / Мин. обр. Республики Беларусь, БНТУ ; редкол.: Г.Н. Здор (гл. ред.) и [др.]. – Минск, БНТУ, 2010. – С. 17.

12. Система автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления корпусных деталей на станкостроительных предприятиях Витебской области / В.И. Ольшанский, Н.Н. Попок, Н.В. Беляков, Ю.Е. Махаринский, М.М. Жадович, Д.Б. Ермашкевич, А.В. Белецкий, В.В. Величко // Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки: тезисы докладов международной научно-технической конференции в рамках международной специализированной выставки «Металлообработка – 2011», Минск, 12–13 апреля 2011 г. / НАН Беларуси, Мин. пром. Республики Беларусь, ГКНТ Республики Беларусь, БНТУ, ЗАО «Минскэкспо» ; редкол.: В.К. Шелег и [др.]. – Минск : Бизнесофсет, 2011. – С. 136–137.

13. Гривачевский, А.Г. Автоматизация процессов подготовки производства предприятия по выпуску оборудования для механизации сельскохозяйственных работ / А.Г. Гривачевский, Д.Б. Ермашкевич, Р.Л. Кулик, Б.М. Штейн // Информационные технологии в промышленности : тезисы докладов междунар. 8-й науч.-техн. конф., Минск, 2–3 апреля 2015 г. / ОИПИ НАН Беларуси [др.] ; редкол.: М.Я. Ковалев и [др.]. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2015. – С. 49–50.



РЭЗІЮМЭ

Ермашкевіч Дзмітрый Браніслававіч

**ТЭХНАЛОГІІ ВЫРАБУ ДЭТАЛЯЎ МАШЫН З МЕТАЛАПРАКАТУ
НА АСНОВЕ СКРАЗНОГА КАМП'ЮТАРНАГА ПРАЕКТАВАННЯ
ТЭХНАЛАГІЧНЫХ ПРАЦЭСАЎ**

Ключавыя словы: тэхналагічны працэс, САПР ТП, структурны сінтэз тэхпрацэсаў, механічная апрацоўка, раскрой металапракату, тэрмічная і гідраабразіўная рэзка, раскладка, КТЭ, функцыянальныя модулі

Мэта даследаванняў – распрацоўка тэхналогій вырабу дэталей машын з металапракату на аснове скразнога камп'ютарнага праектавання тэхналагічных працэсаў, які комплексна ўлічвае магчымасці новых метадаў апрацоўкі.

Метады даследавання і выкарыстаная апаратура: даследаванні праводзілі па праграме цэнтральнага кампазіцыйнага ротабельнага планавання другога парадку. З ліставага металапракату рознай таўшчыні плазменнай і лазернай рэзкай выразалі нарыхтоўкі дэталей круглай формы пэўных дыяметраў, на якіх вымяралі дыяметральны памер і параметр шурпатасці Ra паверхні рэзу. Вар'іруемыя фактары: таўшчыня ліста і радыус рэзу. Па фактычнай велічыні дыяметраў вылічалі адхіленні ад намінальных памераў. Вымярэнне дыяметральных памераў выраблялі па ГОСТ 26433.1–89 з выкарыстаннем штангенцыркуля электроннага ШЦЦ–1–300. Шурпатасць паверхні вымяралі профілометром MITUTOYO SJ–201P

Атрыманая вынікі і іх навізна: праведзены сістэмны аналіз тэхналагічных метадаў геаметрычнай рэзкі нарыхтовак дэталей і праектавання тэхналагічных працэсаў іх механічнай апрацоўкі, распрацаваны: канцэпцыя і алгарытм інтэграванай сістэмы скразнога камп'ютарнага праектавання тэхналагічных працэсаў вырабу дэталей машын з металапракату, камбінаваны метады праектавання і метады структурнага сінтэзу тэхналагічных працэсаў, метады вызначэння пераважнага варыянту тэхналагічнага маршруту вырабу дэталей машын з металапракату, метады разліку паказчыкаў эфектыўнасці раскroю нарыхтовак з улікам дзелавых адходаў, вызначаны ўмовы прызначэння тэхналагічных аперацый тэрмічнай і гідраабразіўнай рэзкі ў тэхналагічных працэсах.

Рэкамендацыі па выкарыстанні: вынікі працы ўкаранены ў вытворчасць ААТ «Мінскі Аграсэрвіс». Эканамічны эфект ад укаранення (зніжэнне сабекошту, эканомія выдаткаў працы, матэрыяльных і энергетычных рэсурсаў) складале 3321,09 млн. руб. па стане на 04.12.2015 г. Вынікі працы ўкаранены ў адукацыйны працэс БДАТУ на кафедрах «Тэхналогія металаў», што павышае прафесійную кампетэнцыю студэнтаў.

Галіна прымянення: на прадпрыемствах сістэмы РА «Белаграсэрвіс» і станкабудаўнічых прадпрыемствах Рэспублікі Беларусь. Вынікі працы могуць быць выкарыстаны ў навучальным працэсе БДАТУ і БНТУ.

РЕЗЮМЕ

Ермашкевич Дмитрий Брониславович

**ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН
ИЗ МЕТАЛЛОПРОКАТА НА ОСНОВЕ СКВОЗНОГО КОМПЬЮТЕРНОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Ключевые слова: технологический процесс, САПР ТП, структурный синтез техпроцессов, механическая обработка, раскрой металлопроката, термическая и гидроабразивная резка, КТЭ, функциональные модули.

Цель исследований – разработка технологий изготовления деталей машин из металлопроката на основе сквозного компьютерного проектирования технологических процессов, комплексно учитывающего возможности новых методов обработки.

Методы исследования и использованная аппаратура: исследования проводили по программе центрального композиционного ротатабельного планирования второго порядка. Из листового металлопроката различной толщины плазменной и лазерной резкой вырезали заготовки деталей круглой формы определенных диаметров, на которых измеряли диаметральный размер и параметр *Ra* шероховатости поверхности реза. Варьируемые факторы: толщина листа и радиус реза. По фактической величине диаметров вычисляли отклонения от номинальных размеров. Измерение диаметральных размеров производили по ГОСТ 26433.1–89 с использованием штангенциркуля электронного ШЦЦ–1–300. Шероховатость поверхности измеряли профилометром MITUTOYO SJ–201P.

Полученные результаты и их новизна: проведен системный анализ технологических методов геометрической резки заготовок деталей и проектирования технологических процессов их механической обработки, разработаны: концепция и алгоритм интегрированной системы сквозного компьютерного проектирования технологических процессов изготовления деталей машин из металлопроката, комбинированный метод проектирования и метод структурного синтеза технологических процессов, методика определения предпочтительного варианта технологического маршрута изготовления деталей машин из металлопроката, методика оценки эффективности раскроя заготовок с учетом деловых отходов, определены условия назначения технологических операций термической и гидроабразивной резки в технологические процессы.

Рекомендации по использованию: результаты работы внедрены в производство ОАО «Минский Агросервис». Экономический эффект от внедрения (снижение себестоимости, экономия трудозатрат, материальных и энергетических ресурсов) составит 3321,09 млн. руб. по состоянию на 04.12.2015 г. Результаты работы внедрены в образовательный процесс БГАТУ на кафедре «Технология металлов», что повышает профессиональную компетенцию студентов.

Область применения: на предприятиях системы РО «Белагросервис» и станкостроительных предприятиях Республики Беларусь, в учебном процессе БГАТУ и БНТУ.

SUMMARY

Yermashkevich Dzmitry B.

TECHNOLOGIES IN THE MANUFACTURE OF MACHINE PARTS FROM PROFILE ROLLED METAL BASED ON THROUGH COMPUTER-AIDED DESIGN OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

Keywords: technological process, CAPP system, structural synthesis of technological processes, machining, metal nesting, thermal and waterjet cutting, DTE, functional modules

Purpose of research: the development of technologies for the manufacture of machine parts from metal-based end-to-end computer-aided design of technological processes, comprehensively taking into account the possibility of new methods of treatment.

Methods of research and equipment: the research was performed according to the program rotatable central composite planning of the second order. Of sheet metal of different thickness, laser cut and plasma cut blanks round parts of certain diameters, which were measured diametrical dimension and parameter Ra of roughness of cut surface. Variable factors: the thickness of the sheet and the radius of the cut. On the actual value of the diameters calculated deviations from nominal sizes. Measurement of diametral dimensions produced according to GOST 26433.1–89 using the electronic caliper SHCC–1–300. Surface roughness was measured by profilometer MITUTOYO SJ–201P.

Obtained results and their novelty: conducted system analysis of technological methods of geometric cutting of billets and design of technological processes of their machining, developed: the concept and the algorithm of the integrated system through computer-aided design of technological processes of manufacturing of machine parts out of metal, the combined method of design and method of structural synthesis of technological processes, methods of determining a preferred option the technological route of manufacturing of machine parts of metal, methods of calculation of indicators of efficiency of nesting within business waste, the conditions for the appointment of technological operations of thermal and waterjet cutting in the technological processes.

Recommendations for usage: the results of the work introduced in OJSC «Minsk Agroservice». The economic effect from implementation (cost reduction, labour saving, material and energy resources) will be 3321,09 million BYR as of 04.12.2015. The results of the work introduced in educational process of BSATU at the Department "Technology of metals", increasing the professional competence of students.

Field of application: at the enterprises of system of the RA "Belagroservis" and machine–tool enterprises of the Republic of Belarus. The results can be used in the educational process of BSATU and BNTU.

Научное издание

ЕРМАШКЕВИЧ
Дмитрий Брониславович

**ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН
ИЗ МЕТАЛЛОПРОКАТА НА ОСНОВЕ
СКВОЗНОГО КОМПЬЮТЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения

Подписано в печать 01.12.2017. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Ризография.

Усл.печ.л. 1,34. Уч.-изд.л. 1,05. Тираж 70. Заказ 1042.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский государственный национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.