

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке Пермского
национального исследовательского
политехнического университета, доктор
математических наук, доцент

А.И. Швейкин

«14» октября 2022 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования

«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Диссертация «Технологическое обеспечение повышения износостойкости пресс-форм на основе формирования рационального макрорельефа формообразующих поверхностей при фрезеровании на станках с ЧПУ» выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» на кафедре «Инновационные технологии машиностроения» соискателем Кожевниковым Сергеем Игоревичем.

В период подготовки диссертации соискатель Кожевников Сергей Игоревич работал в ООО «Промышленная компания ДЭМИ», в конструкторско-технологическом отделе в должности технолога.

В 2015 году Кожевников Сергей Игоревич окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» по направлению подготовки 151900.68 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств.

В 2019 году Кожевников Сергей Игоревич окончил аспирантуру очной формы обучения федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» по направлению 15.06.01 Машиностроение.

Научный руководитель – Макаров Владимир Федорович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Инновационные технологии машиностроения» в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

1. Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в:

- аналитическом обзоре исследований, публикаций и опыта предприятий в области обеспечения качества, долговечности, износостойкости и производительности пресс-форм, структурированы конструкторско-технологические требования к изготовлению пресс-форм для изготовления изделий из полимерных композиционных материалов.

- поиске новых решений и выдвижении новых идей в области технологического обеспечения повышения износостойкости и снижения времени заполнения полостей пресс-форм;

- теоретическом обосновании, на основе математического моделирования процессов заполнения полостей, влияния макрорельефа возникающего в процессе механической обработки на станках с ЧПУ на износостойкость и время заполнения полостей пресс-форм;

- выдвижении и доказательстве сформулированных гипотез о зависимости между траекторией фрезерования формообразующих поверхностей пресс-форм и параметрами, возникающими в процессе эксплуатации пресс-форм;

- разработке методологии и рекомендаций для промышленных предприятий для технологического обеспечения повышения износостойкости и снижения времени заполнения пресс-форм при обработке формообразующих поверхностей на станках с ЧПУ.

- проведении экспериментальных исследований влияния применения новой технологии направленного формирования рационального макрорельефа на износостойкость формообразующих поверхностей и время заполнения пресс-форм.

Личный вклад автора подтверждается полученными результатами при анализе и моделировании, получении данных в теоретическом и экспериментальном исследовании, в апробации результатов диссертации, подготовке публикаций по теме диссертационной работы, представлением основных результатов исследования на конференциях.

2. Научная новизна диссертационного исследования заключается в

- Впервые на основе разработанных математических моделей установлены и обоснованы взаимосвязи между траекторией обработки формообразующих поверхностей при фрезеровании на многокоординатных станках с ЧПУ и износом деталей пресс-форм, что позволяет повысить производительность технологического цикла изготовления изделий и износостойкость на основе выбора рациональной траектории фрезерования.

- Экспериментально подтверждено, что наиболее рациональным для обеспечения минимального времени заполнения полостей и снижения износа пресс-форм является направление макрорельефа на формообразующих поверхностях коллинеарно главному вектору течения расплава, что объясняется снижением потерь энергии на трение и местные сопротивления в процессе течения вязкого композиционного материала по формообразующим поверхностям пресс-форм.

- Получены эмпирические математические модели, устанавливающие следующие зависимости:

- высоты макрорельефа от кривизны поверхности, величины поперечной подачи при фрезеровании и радиуса фрезы при обработке криволинейных сложных поверхностей;
- времени заполнения полостей от угла направления макрорельефа, высоты макрорельефа и шероховатости обрабатываемой поверхности;
- шероховатости от скорости резания, подачи и глубины резания при обработке пресс-форм из закаленных сталей 40X13 и 38ХНМ.

3. Степень достоверности результатов проведенных исследований основывается на рационально выбранных и примененных методах научного исследования, использовании новейших программных комплексов САПР – SolidWorks, Компас 3D, CAD/CAM/CAE Unigraphics, а системы также математического моделирования MathCad. Экспериментальные и теоретические исследования выполнены в условиях промышленного производства с применением современного оборудования, вертикально обрабатывающих центров HAAS с системой ЧПУ, аттестованных приборов и инструментов на основе использования фундаментальных положений резания материалов и технологии машиностроения, основных положений математической статистики, методов математического и компьютерного моделирования и системного анализа процессов в машиностроении, методов полного факторного эксперимента и совпадением результатов теоретических результатов и результатов практической реализации технологии.

4. Теоретическая и практическая значимость исследования.

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в:

- Теоретическом обосновании влияния высоты и направления макрорельефа на формообразующих поверхностях на качество и износостойкость обработанной поверхности методом профильного фрезерования концевыми сферическими фрезами.
- Обосновании влияния макрорельефа на формообразующих поверхностях на движение высоковязкой жидкости в закрытых полостях.

- Разработке методического обеспечения проведения экспериментальных исследований влияния направленного формирования макрорельефа на формообразующих поверхностях при фрезеровании на износостойкость пресс-форм.

Практическая значимость заключается в следующем:

- Для технологической подготовки производства пресс-форм разработан алгоритм создания управляющих программ для станков с ЧПУ с рациональной траекторией движения концевой сферической фрезы, учитывающий геометрические параметры формообразующей поверхности пресс-формы, позволяющий повысить износостойкость деталей пресс-форм и увеличить производительность технологического цикла.

- Разработаны управляющие программы для фрезерования для станков с ЧПУ с учетом направления траектории фрезерования, обеспечивающие рациональный макрорельеф на формообразующих поверхностях деталей пресс-форм и снижение их износа.

- Результаты работы в виде технологических рекомендаций внедрены на предприятиях «ПК Дэми» и «Пермский крепеж» (г. Пермь) при производстве 38 наименований пресс-форм по новой технологии. В результате изготовления этих пресс-форм произведено более 9 млн деталей, при этом износ снизился на 45 %, производительность технологического цикла повысилась на 25 %, а себестоимость изготовления деталей из ПКМ снизилась на 20–30%. При внедрении годовой экономический эффект составил более 15 млн руб.

- Результаты работы были использованы при выполнении Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (N FSNM-2020-0026) и внедрены в учебный процесс ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» при подготовке студентов по дисциплинам «Технология машиностроения» и «Резание материалов».

5. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Содержание диссертационной работы Кожевникова Сергея Игоревича достаточно полно отражено в 15 научных работах, в том числе 3 в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК, 1 – в изданиях, индексируемых в международных базах и системах цитирования Web of Science и Scopus. Основные положения и результаты работы отражены в следующих научных публикациях, включенных в Перечень рецензируемых изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, а также в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, и в базы цитирования Web of Science, Scopus:

1. Кожевников, С.И. Повышение долговечности пресс-форм на основе направленного формирования шероховатости на формообразующей поверхности / С. И. Кожевников, В. Ф. Макаров // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2017. - Вып. 8, ч. 1. - С. 254-261. (вклад автора 6с./8с.)

Личный вклад Кожевникова Сергея Игоревича заключается в проведении анализа существующих технологий обработки пресс-форм, на основании которого показано что существующие технологии не учитывают влияние процессов, происходящих в пресс-форме при технологическом цикле литья в серийном производстве. Кожевниковым С.И предлагается использовать направленное формирование шероховатости на формообразующих поверхностях. Установлена взаимосвязь влияния траектории фрезерования формообразующих поверхностей на производительность технологического процесса и долговечность пресс-форм.

2. Кожевников, С.И. Разработка программного управления на основе использования компьютерного моделирования конструкции изделия / В. Ф. Макаров, С. И. Кожевников // Известия Тульского государственного

университета. Технические науки. - 2016. - Вып. 8, ч. 1. - С. 84-89. (вклад автора 5с./6с.)

Личный вклад Кожевникова Сергея Игоревича представлен в виде реализации разработки программного управления для высокоэффективного фрезерования многогнездных пресс-форм на основе использования компьютерного моделирования конструкции изделия. Приведены этапы решения комплексной задачи конструирования с применением CAD/CAM/CAE систем, учитывая параметры, влияющие на эффективность управляющей программы.

3. Кожевников, С.И. Влияние траектории фрезерования на износостойкость пространственно-сложных поверхностей формообразующей оснастки / С. И. Кожевников, В. Ф. Макаров // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия Прогрессивные технологии в машиностроении. - 2017. - № 9(204). - С. 37-40. (вклад автора 3с./4с.)

Личный вклад Кожевникова Сергея Игоревича заключается в теоретическом обосновании наиболее рациональных траекторий движения концевой фрезы при фрезеровании формообразующих поверхностей пресс-форм, а также установлении зависимости траектории фрезерования и износостойкости пресс-форм, которая характеризуется износостойкостью таких деталей как матрицы, пуансоны, знаки и подвижные части пресс-форм. При проведении экспериментального исследования показано влияние при коллинеарном и ортогональном направлении макрорельефа на формообразующих поверхностях относительно главного вектора течения расплава, формируемого на станках с числовым программным управлением во время высокоскоростного фрезерования на долговечность пресс-форм.

4. Mill Conditions Effect on Roughness of Injection Molds Forming Surfaces / S. I. Kozhevnikov, V. F. Makarov // Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). Vol. II / Ed.: A. A. Radionov, O. A. Kravchenko, V. I. Guzeev, Yu. V. Rozhdestvenskiy. - [S. l.] : Springer Intern. Publ.,

2020. - P. 325-335. - (Lecture Notes in Mechanical Engineering, ISSN 2195-4356).
(вклад автора 9с./11с.)

При изучении Кожевниковым Сергеем Игоревичем параметров формообразующих поверхностей литейных пресс-форм определена зависимость шероховатости от определяющих параметров фрезерования. Для определения функциональной зависимости величины шероховатости от режимов фрезерования был применен полный факторный эксперимент. В качестве независимых переменных были приняты: скорость резания – V , подача на оборот – S_0 и глубина резания – t . Был проведен комплекс экспериментальных опытов на станке с ЧПУ. Получены эмпирические математические модели, устанавливающие взаимосвязь между шероховатостью и режимами фрезерования формообразующих поверхностей литейных пресс-форм из закаленных сталей. Полученные взаимосвязи в дальнейшем использованы для обработки формообразующих поверхностей пресс-форм. Представленная в работе методика определения функциональной зависимости также была использована для получения эмпирических математических моделей, устанавливающих взаимосвязь между высотой макрорельефа и параметрами поверхности и фрезерования, а также между величиной времени заполнения и параметрами поверхности.

6. Соответствие содержания диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите

Представленная Кожевниковым Сергеем Игоревичем диссертационная работа посвящена исследованию влияния создаваемого при фрезеровании макрорельефа на формообразующих поверхностях пресс-форм на износостойкость и время заполнения полостей пресс-форм и разработке технологического обеспечения для повышения износостойкости и снижения времени заполнения полостей.

Результатом исследования стали научно обоснованные, теоретически и экспериментально доказанные математические модели зависимости высоты макрорельефа от параметров формообразующих поверхностей и параметров

фрезерования, шероховатости от режимов резания, времени заполнения полостей пресс-форм от параметров поверхности формообразующих деталей пресс-форм, представляющие собой технологические рекомендации по назначению рациональной траектории фрезерования и установлению рациональных режимов резания для создания рационального макрорельефа на формообразующих поверхностях. В результате работы разработан алгоритм для составления управляющих программ для фрезерования с учетом размеров и форм обрабатываемых поверхностей.

Диссертационное исследование соответствует формуле специальности 2.5.6 Технология машиностроения паспорта специальностей ВАК РФ в областях исследования:

п. 2. Технологические процессы, операции, установы, позиции, технологические переходы и рабочие хода, обеспечивающие повышение качества изделий и снижение их себестоимости.

п. 3. Математическое моделирование технологических процессов и методов изготовления деталей и сборки изделий машиностроения.

п. 4. Совершенствование существующих и разработка новых методов обработки и сборки с целью повышения качества изделий машиностроения и снижения себестоимости их выпуска.

п. 5. Методы проектирования и оптимизации технологических процессов.

п. 7. Технологическое обеспечение и повышение качества поверхностного слоя, точности и долговечности деталей машин.

п. 9. Методы и средства повышения производительности изготовления изделий машиностроения.

7. Соответствие диссертации требованиям, установленным п. 14 «Положения о присуждении ученых степеней»

Диссертация Кожевникова Сергея Игоревича отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842, требованиям «Порядка

присуждения ученых степеней в ПНИПУ», предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Диссертационная работа Кожевникова Сергея Игоревича представляет собой оригинальное исследование с корректным указанием ссылок на источники заимствования используемых научных и экспериментальных материалов. Автор корректно ссылается на научные работы, выполненные лично и в соавторстве.

Диссертация «Технологическое обеспечение повышения износостойкости пресс-форм на основе формирования рационального макрорельефа формообразующих поверхностей при фрезеровании на станках с ЧПУ» Кожевникова Сергея Игоревича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 Технология машиностроения.

Заключение принято на заседании кафедры «Инновационные технологии машиностроения» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Присутствовало на заседании 28 чел. Результаты голосования: «за» – 28 чел., «против» – 0 чел., «воздержались» – 0 чел., протокол №3 от 13.10.2022г.

Заведующий кафедрой «Инновационные
технологии машиностроения» ФГАОУ ВО «ПНИПУ»
профессор, д-р техн. наук _____

_____ /Карманов Вадим Владимирович/

Секретарь кафедры «Инновационные
технологии машиностроения» _____

_____ /Фатыкова Альфия Зуфаровна/