

В диссертационный совет 24.2.379.05
созданный на базе ГАОУ ВО «Самарский
национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева»

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата технических наук Головиной Евгении Сергеевны

на диссертационную работу **Галкиной Натальи Викторовны** на тему
«Совершенствование инструментария обеспечения качества инъекционного
литья изделий из термопластичных полимеров», представленную на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация
производства

Актуальность темы диссертации

Разработка регламента управления качеством продукции, полученной методом инъекционного литья на этапе конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП), является крайне актуальной задачей, поскольку именно на этой стадии закладывается основной объем конечного качества изделия и определяются будущие затраты на его производство. Регламент позволяет предотвратить возникновение брака ещё на этапе проектирования детали и пресс-формы, выявляя и устраняя причины таких дефектов, как усадка, коробление и недоливы, что значительно дешевле по сравнению с исправлением ошибок на стадии производства или после обнаружения у заказчика. Чёткие нормы и стандартизация процессов обеспечивают стабильно высокое качество при крупносерийном выпуске продукции с минимальной себестоимостью, рациональное конструирование изделия и литьевой оснастки с учётом технологических свойств полимера, а также гарантируют стабильность качества при массовом производстве.

В настоящее время актуально использование цифровых двойников технологических процессов, что справедливо и для процесса формообразования. Цифровые двойники создают виртуальную копию всего процесса — от заполнения формы полимерной массой до охлаждения и выталкивания готовой детали, обеспечивая понимание взаимосвязей между параметрами литья и качеством продукции. Однако сам по себе CAE-анализ не дает оценку качества отливки в целом, поэтому возникает необходимость разработки методов оценки полученных результатов CAE-анализа, позволяющих верифицировать модель,

Входящий № 107-4453
Дата 19 МАЙ 2026
Самарский университет

оценить достоверность прогнозных данных и сопоставить их с экспериментальными результатами.

На этапе КТПП определяются критически важные параметры: выбирается марка полимера, проектируется пресс-форма, устанавливаются режимы литья (давление, температура, время и прочие), причём регламент фиксирует допустимые отклонения и контрольные точки на каждом этапе, включая критерии приемлемости результатов САЕ-анализа и требования к валидации модели цифрового двойника. В условиях быстрой смены объектов производства и сокращения сроков подготовки регламент позволяет принимать эффективные решения в минимальные сроки без потери качества, предоставляя персоналу готовые алгоритмы предотвращения ошибок даже при отсутствии глубокой квалификации для самостоятельного анализа дефектов. Система обеспечивает системное обнаружение и устранение причин брака по всем этапам производства, позволяет перейти на более высокий уровень изготовления сложной продукции и осуществить крупносерийный выпуск с минимальными трудозатратами и отходами сырья, что подтверждается тем, что разработка методов управления качеством конструкторско-технологической подготовки производства литьевых полимерных изделий является отдельной научной задачей диссертационного уровня, свидетельствующей о нерешённости проблемы на многих отечественных производствах, особенно в части интеграции цифровых двойников и методов оценки их точности в единую систему управления качеством.

Оценка структуры и содержания работы

Содержание и структура диссертации находятся в логическом единстве и соответствуют поставленной цели исследования. Диссертационная работа написана по проблемно-тематическому принципу, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и 12 приложений. Общий объем работы составляет 173 страницы, включая 46 рисунков, 15 таблиц, 90 наименований использованных литературных источников.

Во введении обосновывается актуальность темы, сформулированы объект, предмет и методы исследований, приведены основные положения, выносимые на защиту. Отмечена новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе проведен теоретический анализ состояния вопроса управления качеством на этапе подготовки производства методом инжекционного литья, рассмотрены традиционные подходы управления качеством получаемых отливок. Особое внимание уделено использованию цифровых двойников, как инструмента прогнозирования

возможных дефектов на этапе подготовки производства. При этом отмечено отсутствие единого подхода к оценке результатов CAE-анализа, а также указывается необходимость разработки квалиметрических критериев оценки качества отливки в целом, т.к. результаты имитационного моделирования дают значения распределенные значения параметров.

Во второй главе рассматривается существующая практика конструкторско-технологической подготовки производства изделий, отмечены ее ключевые недостатки. Основным недостатком является цикличность процесса, связанная с большим количеством итераций доработки сначала одnogнездной пресс-формы, а потом уже многогнездной. Именно этот недостаток имеет большое влияние на увеличение стоимости изготовления и повышения времени выхода на рынок. Автором предлагается модернизированная методика, которая включает в себя этап имитационного моделирования процесса формообразования. Ключевым отличием предлагаемой методики является ранжирование и преобразование требований потребителя к изделию в управляемые технологические параметры процесса и конструктивные особенности оснастки на основе QFD-метода, а также разработка квалиметрических характеристик качества, позволяющих выполнить оценку результатов CAE-анализа.

В третьей главе представлены результаты апробации предложенной методики управления качеством на примере тонкостенной детали. Для получения точности таких изделий и сокращения времени всего цикла ключевую роль играет система охлаждения. В диссертационной работе проводится сравнение двух систем охлаждения: традиционной (сверлильной) и конформной (полученной аддитивными технологиями). С использованием QFD-метода были определены ключевые характеристики качества литья для тонкостенного изделия: равномерность охлаждения, средняя скорость охлаждения, коэффициент искажения формы отливки и ее неплоскостность. Кроме того, эффективность охлаждения оценивалась дифференцированно для каждого канала по интенсивности теплоотдачи канала. В результате сравнения конформная система обеспечивает равномерное распределение температуры, а для традиционной системы характерны значительные колебания. Гистограмма смещений для конформной системы близка к гладкой параболической кривой без провалов, что свидетельствует о равномерной усадке. Гистограмма для традиционной системы имеет неравномерный характер с провалами, указывая на зональную усадку. Максимальная неплоскостность для конформной системы почти в 2 раза ниже, чем для традиционной. Таким образом, доказано, что конформная система охлаждения является наиболее эффективной для обеспечения высокой точности и минимального коробления тонкостенных полимерных деталей.

В четвертой главе проведена апробация разработанной методики управления качеством на примере изделия шестерня. Методика управления включает в себя статистические методы планирования эксперимента и средства имитационного моделирования, позволяя проводить анализ характеристик качества процесса инжекционного литья за счет выбора набора технологических параметров литья и конструктивных особенностей пресс-формы. Для обеспечения точности изготовления была применена гибридная технология с использованием армирующего закладного элемента. На основании «Дома качества» было определено восемь ключевых управляемых технологических факторов, на основании которых с использованием метода Тагучи был составлен план эксперимента, а также пять ключевых характеристик качества, с помощью которых выполнялось сравнение результатов имитационного моделирования. В связи с необходимостью решения многокритериальной задачи оптимизации разнонаправленных параметров был использован серый реляционный анализ. По результатам этого анализа проводилось сравнение интегральных оценок для каждого эксперимента, которые позволили определить оптимальный набор параметров (эксперимент №4). Для оценки эффективности использования гибридной технологии было выполнено сравнение армированной (с закладным элементом) и неармированной (без закладного элемента) шестерен на выбранном оптимальном режиме (эксперимент №4). Сравнение интегральных оценок показало, что использование закладного элемента важно для достижения требуемой точности размеров и обеспечения стабильности геометрии.

В заключении приведены основные выводы по результатам диссертационной работы.

В целом, работа логически понятна, изложена технически грамотным языком. В конце каждой главы представлено обобщение полученных результатов. Общее оформление работы соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Научная новизна и практическая значимость результатов диссертационных исследований

Достижение цели диссертационного исследования и решение сформулированных задач основывается на разработанной методике получения новых характеристик качества изделий по цифровой модели процесса инжекционного литья при имитационном моделировании процесса, а также за счет разработки инструментария многокритериальной оптимизации параметров инжекционного литья по цифровой модели на основе робастного

планирования экспериментов Тагучи и серого реляционного анализа интегральных характеристик качества процесса формообразования.

Научная новизна представленной к защите диссертации состоит в следующем:

- разработана методика оценки качества изделий при инъекционном литье с использованием QFD-метода для ранжирования и преобразования потребительских требований к изделию в технические характеристики инъекционного литья, которые будут служить целевыми параметрами при оптимизации имитационного моделирования;
- разработана методика получения характеристик качества изделий по результатам CAE-анализа, которая для учета потребительские свойства литых изделий вводит интегральные характеристики процесса формообразования;
- разработан инструмент многокритериальной оптимизации параметров инъекционного литья по результатам имитационного моделирования с применением робастного планирования экспериментов (метод Тагучи) и серого реляционного анализа интегральной оценки;
- разработана модернизированная методика КТПП, включающая в регламент процесса этапы оптимизации конструкции пресс-формы и технологических режимов с применением цифровых двойников процесса и интегральных характеристик с учетом специфики потребительских требований к изделиям.

К **практической ценности** полученных результатов следует отнести:

- разработан регламент подготовки производства изделий, полученных методом литья под давлением, включающего этап цифрового моделирования процесса литья и мониторинг показателей качества отливок на цифровых моделях полученных на основе анализа потребительских требований к изделиям;
- разработана и апробирована принципиально новая методика сравнительного количественного анализа эффективности системы охлаждения пресс-форм, влияющая на качество отливки и эффективность инъекционного литья;
- разработана цифровая модель процесса инъекционного литья шестерни из полимерных композиционных материалов, отличающиеся тем, что обеспечивается повышенная точность отливок за счет использования закладных армирующих элементов, препятствующих объемной усадке;
- результаты диссертационной работы внедрены на ООО «Внедренческая фирма "Пладеп"», АО «Криогенмаш», ООО «ЮМЗ», а также применены в учебном процессе Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва по направлению подготовки 15.03.05 «Конструкторско-технологическое

обеспечение машиностроительных производств» и использованы при выполнении государственного задания по проекту №FSSS-2024-0017.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Научные положения, выводы и рекомендации достаточно обоснованы и аргументированы. Достоверность полученных результатов, научных положений и выводов, изложенных в диссертации, обеспечивается корректным применением методов статистического анализа, методов управления качеством, а также методов имитационного моделирования. Основные теоретические предложения построены на известных фактах и согласуются с экспериментальными данными. Апробация разработанных методик на нескольких предприятиях подтверждает обоснованность результатов исследования.

Все основные положения, выносимые на защиту, являются обоснованными. Это подтверждается соответствием математической модели имитационного моделирования инжекционного литья сравнением с результатами экспериментальных исследований. Достоверность, обоснованность и представительность результатов работы обеспечивается применением общепринятых методов аналитических исследований существующих методик обеспечения качества изделий, применением сертифицированных программных комплексов.

Оценка диссертационной работы

Диссертационная работа Галкиной Н.В. представляет законченное научное исследование. Приведенные в работе результаты могут быть использованы в качестве методики для совершенствования и доработки существующих технологий изготовления изделий методом инжекционного литья, а также использовать на этапе разработки новой продукции, внося коррективы.

По результатам исследований, представленных в диссертационной работе, опубликовано 4 научные работы, из них 3 статьи – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК России.

Автореферат соответствует тексту и структуре диссертации, в нем четко и логично изложены актуальность, цель и задачи исследования, объект и предмет исследования, сформулированы научная новизна и значимость полученных результатов.

Замечания по диссертационной работе

Отмечая положительные стороны диссертации Галкиной Н.В. следует обратить внимание на следующие замечания.

1. В разделе 1.3 приведена таблица 1.1 «Возможности ранней диагностики различных типов дефектов на этапе КТПП средствами САЕ-анализа», в которой у большинства дефектов (полосы, матовые пятна, перегревы и т.д.) указано отсутствие возможности. Однако в тексте раздела 1.3 ранее утверждалось, что «большинство дефектов можно спрогнозировать». Такое противоречие требует дополнительного пояснения.

2. В разделе 4.3 при применении серого реляционного анализа приведены весовые коэффициенты для характеристик качества, но не приведено их обоснование. В исследование можно было бы добавить способы определения весовых коэффициентов, существует ли их ранжирование в зависимости от типа изделия.

3. В главе 4 в разделах с матрицами «0/1» и бинарными представлениями желательно добавить словесный комментарий, как именно такая форма помогает лицу, принимающему решения, и как ею пользоваться на практике (например, в форме чек листа при переналадке).

4. Желательно более чётко сформулировать, как предложенный инструмент вписывается в систему менеджмента качества предприятия (ISO 9001, процедуры RCA, CAPA и пр.): где он «встраивается» в цикл PDCA, какие документы или регламенты может заменить или дополнить.

5. Приложения с результатами имитационного моделирования шестерни (Приложения А – Д) являются важным результатом проделанной практической работы представленного исследования, но не имеют расшифровки цветовых шкал. Эта неточность делает приложения малоинформативными для читателя незнакомого с принципом работы вычислительной программы (Moldex3D). Ранжирование цветовых обозначений в цифровые значения облегчило бы восприятие результатов работы.

Приведенные замечания не снижают научного уровня представленной на отзыв диссертации, носят дискуссионный характер и являются рекомендациями для проведения дальнейших исследований.

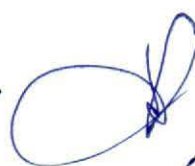
Заключение по диссертации

Диссертация Галкиной Натальи Викторовны имеет важное значение, является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена актуальная задача совершенствования инструментария обеспечения качества инъекционного литья с использованием имитационного моделирования и основанного на оптимизации конструкции пресс-формы и технологических режимов с применением цифровых двойников процесса и интегральных

характеристик с учетом специфики потребительских требований к изделиям. Полученные автором выводы и заключения обоснованы и логичны, отражают научную новизну результатов, значимость и актуальность работы.

Представленная диссертационная работа соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842. Автор диссертации – Галкина Наталья Викторовна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

Официальный оппонент:
заместитель генерального директора
по технологическому развитию АО «РН-ПН»
кандидат технических наук



Головина Евгения Сергеевна
18.05.2026

Кандидатская диссертация защищена по специальности
2.5.22 Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства

Контактная информация:

Акционерное общество «РН-Проектирование нефтепереработка»

Адрес: 443110, обл. Самарская, г. Самара, ул. Ново-Садовая, д. 11

Телефон: +7 (846) 278-50-04 Электронная почта: golovinaes@rn-pn.rosneft.ru

Подпись

Наталья Викторовна



Евгения Сергеевна



Сергеевна заверяю

Бенедиктов Е.С.