

УДК 681.7.068



В.Ф. Булавин, Т.Г. Булавина
Вологодский государственный университет

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИИ В МАЛЫХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Цифровое проектирование товаров и услуг на базе малых машиностроительных производств имеет целью выпуск изделий с повышенными потребительскими качествами. Трансформация технологического обеспечения малых машиностроительных фирм при переходе к цифровому сопровождению проходит в условиях как санкционных ограничений, так и недостатка трудовых ресурсов. Эти вызовы обуславливают автоматизацию и интеллектуализацию технологической подготовки, что влечет соединение виртуального производства с материальным.

Цифровое проектирование, инжиниринг, информационное поле, малые предприятия.

Стратегия экономики в формате «Индустрия 4.0/5.0» рассматривает интеграцию малых машиностроительных предприятий в поле распределенных виртуальных фабрик, что является одним из соглашений цифрового производства [1]. Техническая составляющая единого информационного поля технологических бизнес-моделей обеспечивается программными средствами CAD-/CAPP-/CAM-/CAE-/CAO-платформ. Устойчивая и целенаправленная поддержка управленческих решений и сохранений в средне- и долгосрочной перспективе конкурентоспособности влекут требования к быстрой адаптации производства в условиях динамического рынка. Трансформация технологического обеспечения малых машиностроительных фирм при переходе к цифровому сопровождению производства требует их кооперации в пространстве распределенных фабрик с головными предприятиями [1–5].

Цель работы – показать реализации цифровых производственных технологий и масштабирование компетенции в сфере CAD-/CAPP-/CAO-/CAE-моделирования и проектирования в среде малых машиностроительных предприятий.

Методы исследования

Конструкторско-технологическое сопровождение в ходе выполнения проектов в цифровом формате предполагает: проектирование 3D-прототипов деталей и узлов изделий и автоматизированное технологическое обеспечение. Методология исследования – реализация методов 3D-проектирования и моделиро-

вания, а также инжиниринг через функционал CAD-/CAPP-/CAO-/CAE-приложений [1–5].

Мелкосерийное, позаказное и единичное производства характерны для малого и среднего предпринимательства. Использование аддитивных технологий позволяет расширить номенклатуру деталей сложной топологии для небольших групп товаров. За счет быстрого перепрограммирования оборудования и снижения числа технологических операций обеспечивается целесообразность производства. Технология печати FDM применяется в промышленном производстве с материалами HIPS, PVA, SBS и при прототипировании.

CAD-проектирование. Конструкторский этап подготовки заключается в создании 3D-прототипов всех деталей и формировании необходимых чертежей с отображением сопровождающих атрибутов. На рисунке 1 представлен 3D-двойник узла «Муфта» в форме разнесенной сборки.

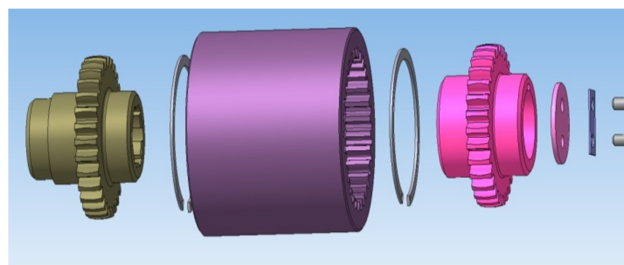


Рис. 1. Цифровой образ разнесенной сборки, выполненный в среде CAD

На рисунке 2 приведен цифровой двойник настольного FDM-принтера, спроектированного по программе импортозамещения. Образец отличается от аналогов наличием двойного экструдера Bowden. Модификация прототипов имеет целью ускорение про-

цесса печати, использование материалов различных цветов при формировании поддержек сложных деталей и отличается улучшенной ремонтопригодностью и пониженной материалоемкостью [1–7].

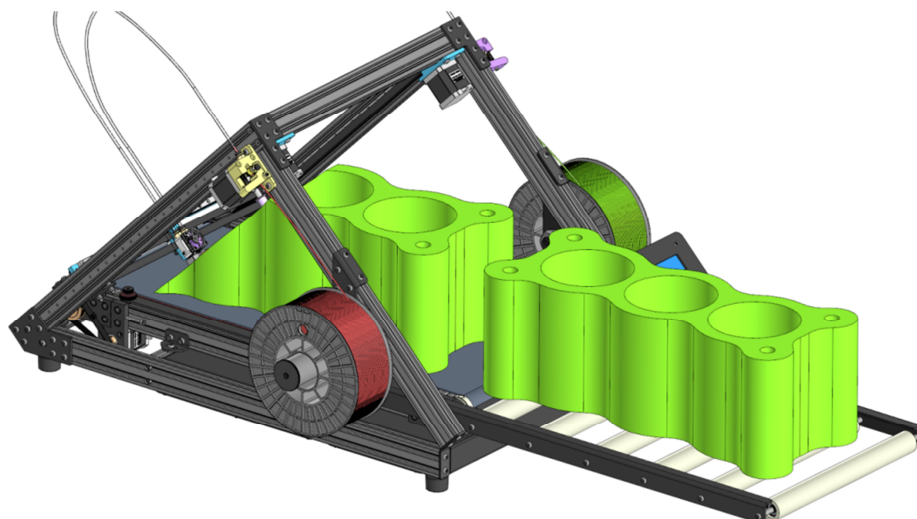


Рис. 2. Цифровой образ спроектированного FDM-оборудования с конвейерной поддержкой

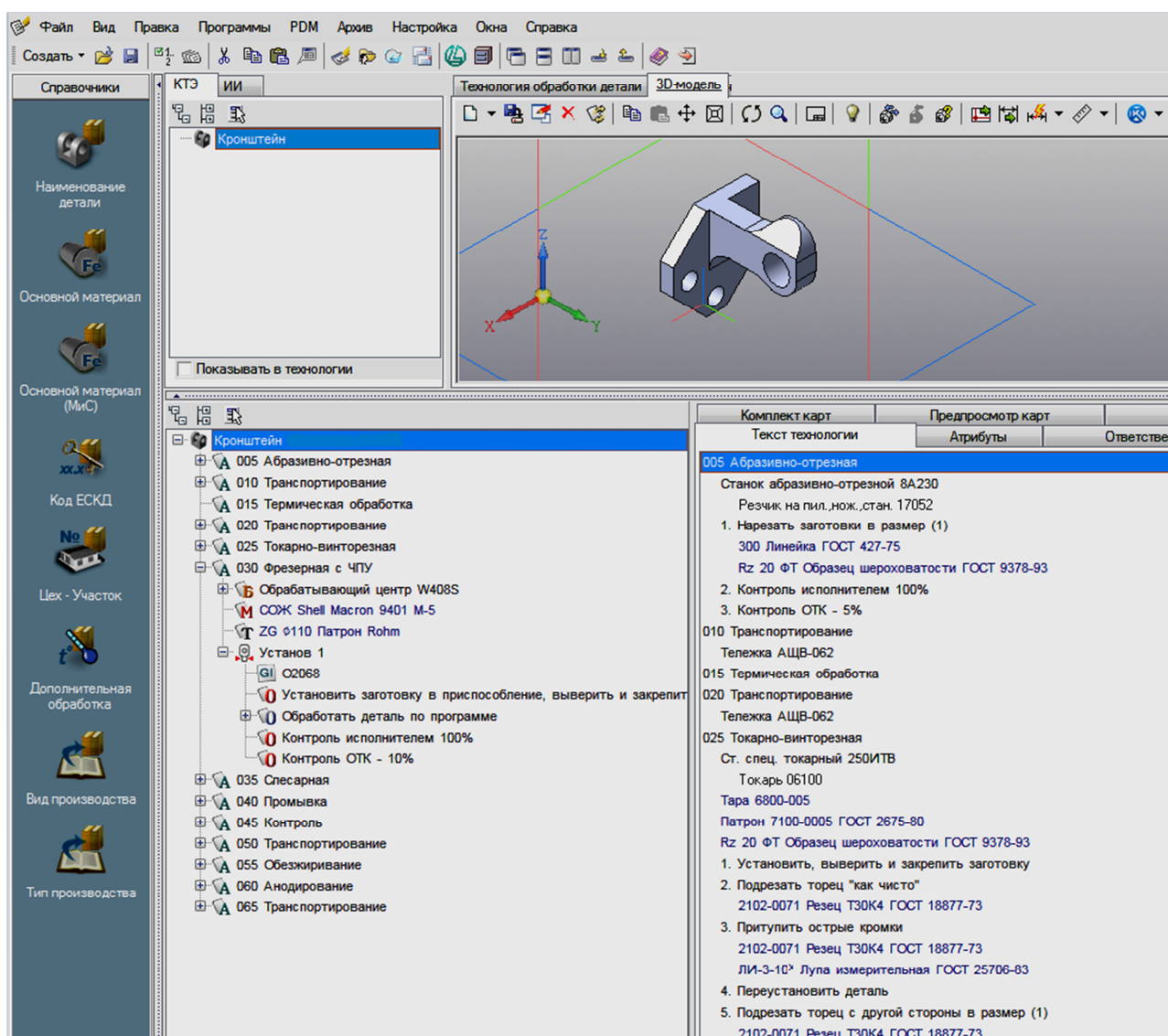


Рис. 3. Технологический маршрут детали «Кронштейн» в среде CAPP

САРР-обеспечение производства. Средства автоматизированного технологического сопровождения производства (ТСП) формируют структуру техпроцессов, где виртуальная модель детали является корневым элементом. Эти разноуровневые данные включают все основные компоненты ТСП: информацию об изделии, маршруты обработки и выполнения операций. Здесь присутствует перечень: операционный эскиз детали, оборудования, оснастки, инструментов и другие атрибуты (рис. 3). Документ регламентирует средства инструментального контроля при выполнении отдельных операций и на стадии сборки механизмов, содержит атрибуты, необходимые для достижения производственных показателей. В разделе ТСП определяются состав персонала, требования к квалификации и его численность. Это позволяет быстро реализовать требуемую технологию обработки, комбинируя объектами техпроцесса [4–5].

САО-инжиниринг. Топологический инжиниринг является составной частью цифрового проектирования. Реализации заданной стратегии состоит в определении оптимальной геометрии детали. Целевым показателем служит условие удаления материала из слабо нагруженных областей и уменьшение массы изделия. Одновременно требуется сохранить все прочностные характеристики изделия и его надежность. В качестве откликов при расчете могут служить условия минимальной массы/объема, общей энергии деформации, напряжения в группе элементов и т.д.

Виртуальный двойник детали (рис. 4а), созданный в САД-приложении, импортируется в САО-модуль, где формируется оптимизационная задача. На основе измеримых параметров генерируется целевая функ-

ция и указываются геометрические и технологические ограничения. Решение задачи по топологической оптимизации может осуществляться по двум направлениям: метод нелинейного оптимизатора, метод оптимального критерия. В ходе определения области проектирования назначаются крепежные и базовые поверхности и задается процентное соотношение массы оптимизированной детали по отношению к первоначальной [5].

Найденное решение топологической оптимизации, удовлетворяющее конструкторскому заданию, после выполнения проектировщиком операций сглаживания поверхностей и корректировки представлено на рисунке 4б. Валидация с учетом выбранного материала, полученной геометрии детали требует проведения прочностного инжиниринга. Опираясь на экологические и механические требования, окончательно выбирается материал изделия.

САЕ-обеспечение производства. Инженерное обеспечение по прочностному анализу осуществляется через САЕ-платформу [3–5] и ориентировано на поиск конструктивных решений, отвечающих требованиям надежности изделия и его безопасности. Модуль ориентирован на силовой анализ твердотельных изделий, а также их комбинаций, выполненных из отдельных компонентов. Инжиниринг, реализуя конечно-элементную методологию, проводится на заключительном этапе проектирования.

Результаты САЕ-расчета детали «Ось», с учетом приложенных нагрузжений, визуализированы в цветовой гамме картами перемещений (рис. 5). Анализ позволяет выявить опасные сечения и области детали, где обнаруживаются ослабленные зоны.

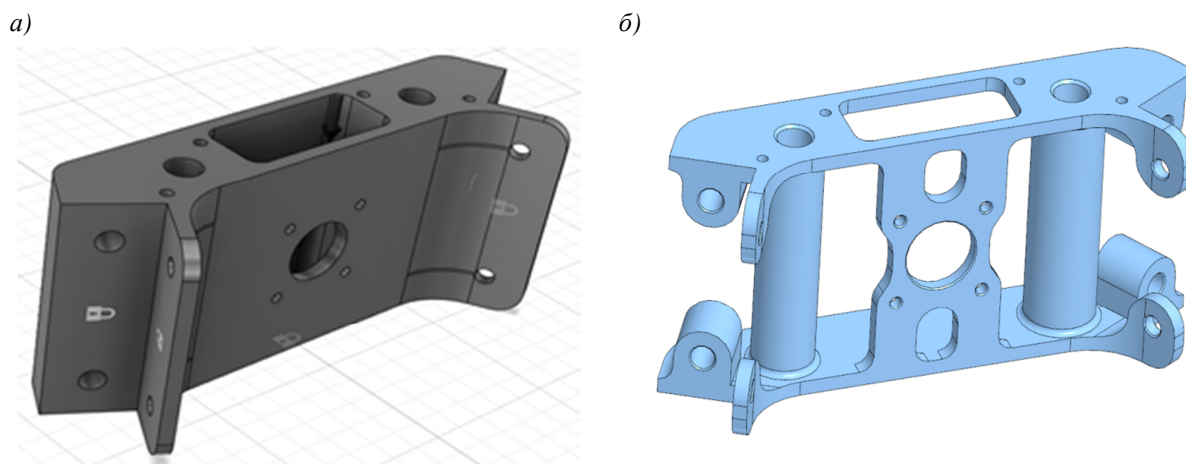


Рис. 4. Виртуальный макет детали: исходная (а) и оптимизированная геометрия формы (б)

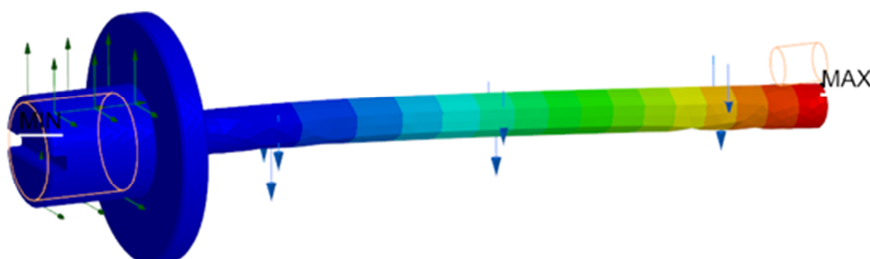


Рис. 5. Карта перемещений в детали «Ось» (нагрузка 50Н)

Интеллектуализация управления малыми предприятиями. Для текущего контроля и управления обмен данными между подразделениями предприятия о выполнении проекта выполняется через взаимодействие с функционалом PDM-/MES-систем. Интегрирование этих стратегий концентрирует через инструментальное обеспечение всю конструкторско-технологическую и инжиниринговую информацию производства в единое цифровое поле [6].

Организационно-технологическая система PDM на всех этапах разработки/изготовления актуализирует для управленческого сектора данные о выполнении заданий на предприятии, в реальном времени обеспечивает доступ и взаимодействие всех подразделений. Функционал платформы поддерживает координирование: номенклатурой продуктов, логистикой поставок и сбыта, графическими объектами, инженерными исследованиями, сопровождающей документацией и т.д.

Оперативно-календарная система MES позиционируется как инструментальный контроль и учета межоперационных заделов, внутрицехового планирования, диспетчеризации, т.е. фокусируются на вопросах координации производства в реальном времени. Механизмы MES позволяют многократно корректировать производственную программу на основе текущей информации [6].

Заключение

1. Цифровизация технологического обеспечения производства приводит к ускорению этапов проектирования и формирует новые вызовы в развитии экономики. Процесс приводит к росту конкурентоспособности малых предприятий. Производство новых видов продукции по программе импортозамещения приводит к увеличению номенклатуры и улучшению качества изделий.

2. Технологические инновации в работе малых машиностроительных предприятий находят отражение в активном внедрении и применении PDM-/MES-, CAD-/CAPP-CAE-/CAO-идеологий. Углубление компетенций проектировщиков и технологов позволяет выполнять проектирование механизмов, оборудования и приборов с улучшенными значениями энерго-

потребления и материалоемкости, с высокими эргономическими показателями.

3. Внедрение высокотехнологичных программных продуктов формирует новый вид производства с цифровым сопровождением. Это приводит к повышению автоматизации и интеллектуализации труда, росту потребительских свойств услуг и товаров.

Литература

1. Цифровое производство. Методы, экосистемы, технологии. Рабочий доклад Департамента корпоративного обучения Московской школы управления «Сколково», ноябрь 2017. – URL: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/11_november/17/tsifrovoye_proizvodstvo_112017.pdf (дата обращения: 27.03.2024).

2. Булавин, В. Ф. Политика цифровых технологий на малых машиностроительных предприятиях / В. Ф. Булавин, В. В. Яхричев, А. С. Степанов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 2019, № 9. – С. 35–45, DOI: 10.18698/0536-1044-2019-9-35-45.

3. Булавин, В. Ф. Цифровой формат подготовки приборостроительного производства. Ч. II. Технологический этап / В. Ф. Булавин, Т. Г. Булавина, В. В. Яхричев, А. С. Степанов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2020. – № 3. – С. 250–256.

4. Bulavin V. F. Digital design and technological innovation in the small machine building sector / V. F. Bulavin, T. G. Bulavina, V. V. Yahrichev, A. S. Stepanov, N. S. Grigoriev // Materials Science and Engineering: IOP Conference Series, 2020, vol. 939, Pp. 012016, DOI:10.1088/1757-899X/939/1/012016.

5. Булавин, В. Ф. CAO/CAE-инженерное сопровождение производства малых предприятий / В. Ф. Булавин, Т. Г. Булавина, Д. В. Кошутин, И. С. Петряшов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2022. – № 8. – С. 47–54.

6. Цифровые интеллектуальные экосистемы в экономике и промышленности : монография под ред. д-ра экон. наук, проф. А. В. Бабкина. – Санкт-Петербург : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС. – 2023. – 398 с.

V.F. Bulavin, T.G. Bulavina

Vologda State University

DIGITAL TECHNOLOGICAL INNOVATIONS IN SMALL MACHINE-BUILDING ENTERPRISES

Digital design of goods and services on the basis of small machine-building production facilities is aimed at producing products with enhanced consumer qualities. The transformation of technological support of small machine-building firms in the transition to digital support takes place in the conditions of both sanctions restrictions and the lack of labor resources on the one hand. These challenges determine the automation and intellectualization of technological preparation, which entails the connection of virtual production with material production.

Digital design, engineering, information field, small businesses.