

**Ключевые слова:**

цифровая трансформация производства, технологический процесс (ТП), цифровой двойник ТП, ЧПУ, управляющая программа (УП), ньюинжиниринг

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА СРЕДСТВАМИ СИСТЕМЫ АДЕМ

Александр ВАРЛАМОВ, Борис МОРОЗОВ, Эльдар ШАВАЛИЕВ

Представлен проект оценки экономического эффекта от цифровой трансформации производства на примере анализа существующего и разработки нового технологического процесса изготовления детали «поворотный кулак». На обсуждение предложены базовые положения идеологии «ньюинжиниринга» в условиях российских предприятий.

В июне 2021 года был успешно реализован совместный проект Центра цифровой трансформации ПАО «КАМАЗ» и ООО «АДЕМ-инжиниринг». Целью проекта была оценка возможности получения при цифровой трансформации производства (рис. 1), то есть реновации существующего технологического процесса (ТП) современными программными средствами.

Инициатором проекта выступила Аналитическая служба ПАО «КАМАЗ». Перед ООО «АДЕМ-инжиниринг», была поставлены взаимосвязанные задачи, которые по возрастанию сложности можно отранжировать следующим образом:

→ проанализировать существующий технологический процесс с точки зрения возможности его улучшения;

- провести опытно-технологические работы (ОТР) и разработать новый ТП, более эффективный по сравнению с существующим;
- создать цифровой двойник нового ТП, то есть сформировать комплексную информационную модель технологического процесса, которая соответствовала бы требованиям полноты, актуальности, непротиворечивости данных, описывающих технологический процесс;
- в условиях реального производства на станке подтвердить эффективность нового ТП, добившись значительного повышения производительности оборудования с ЧПУ;
- сформировать критерии оценки эффективности предлагаемых технологических решений, и на их основе сформировать методику цифровой трансформации производственных компетенций всего предприятия.

Следует особо отметить, что в процессе реализации проекта процесс формирования цифрового двойника ТП, то есть процесс цифровой трансформации компетенций предприятия, никогда не рассматривался как самоцель, информационные технологии были лишь средством достижения поставленных задач. То есть процесс разработки и оптимизации технологических решений всегда рассматривался в контексте экономической эффективности предлагаемых мероприятий для предприятия в целом.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

В качестве объекта для ОТР было предложено попытаться улучшить процесс обработки



Рис. 1. Базовые экономические показатели реновации ТП



Рис. 2. Поворотный кулак

поворотного кулака (рис. 2), который изготавливается на предприятии уже второе десятилетие.

При этом никто не собирался создавать исполнителю «теплые» условия, речь не шла об эксперименте ради эксперимента, все замыслы следовало реализовывать на существующем оборудовании, без затрат на модернизацию или приобретение нового оборудования, не нарушая существующий производственный процесс. При этом возможности ООО «АДЕМ-инжиниринг» на предприятии изначально оценивали весьма скептически, на что были веские основания:

- во-первых, существующий технологический процесс был внедрен еще в 2008 году, за многие годы и технологами ЗД «КАМАЗ», и специалистами «внешних» инжиниринговых фирм уже предпринимались многочисленные попытки его улучшить и сократить время изготовления детали, но безуспешно. Сложилось мнение, что кардинально улучшить технологический процесс невозможно, все, на что способен станок – одна деталь в 30 мин;
- во-вторых, станок HELLER MCH 250 отработал на производстве 14 лет, и его техническое состояние не вызывало никаких иллюзий. Станок действительно «огорчил», преподнес массу

неприятных сюрпризов: фраза «техническое состояние самого станка – неудовлетворительное» не может в полной мере охарактеризовать сложившуюся ситуацию. Перечень неисправностей, с которыми пришлось столкнуться в процессе работ, затрагивал почти все системы станка, особые нарекания вызвали система подачи СОЖ и гидротрансмиссия шпинделя станка, сбой этих подсистем прерывали выполнение управляющей программы (УП) и значительно усложняли ее отладку.

Неприятные сюрпризы этим не исчерпывались: кроме «железных» проблем, специалисты ООО «АДЕМ-инжиниринг» столкнулись с «особенностями» стойки управления станком. Так, в ходе выполнения тестовой УП были выявлены ограничения в программном обеспечении станка, установленные производителем: выяснилось, что производитель специально ограничил технические характеристики станка по сравнению с заявленными паспортными значениями. В частности, «в целях обеспечения безопасности эксплуатации оборудования», предельная частота вращения шпинделя была ограничена величиной 4200 об/мин (по сравнению с паспортным значением в 6000 об/мин), что не позволяло эффективно применять мелкогабаритный режущий инструмент – скорость резания была значительно ниже рекомендуемой производителем инструмента, а это приводит и к увеличению длительности цикла обработки и снижению стойкости инструмента.

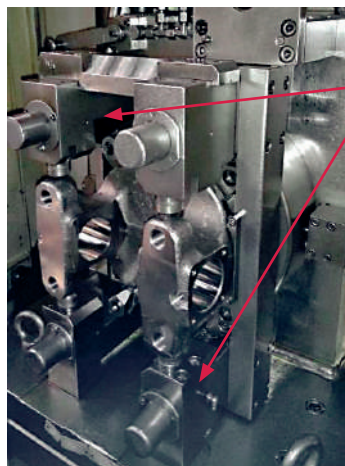
Как показал анализ УП, применяемой при обработке детали по существующему ТП, несмотря на то, что кинематическая схема станка позволяла вести обработку сразу по четырем осям, по факту применялось плоское фрезерование (фрезерование 2,5D) в четырех независимых зонах. При этом, по непонятной причине, в составе ПО станка отсутствовали модули, обеспечивающие программирование обработки в локальных координатах конструктивного элемента, типовые для данного класса станков – CYCLE800, TRANS, ROT и т.д. Данная «оптимизация» и тот факт, что система координат для трех зон обработки из четырех не ортогональна системе координат станка, практически исключали возможность модернизации существующей УП программированием со стойки станка. Эту проблему необходимо было решить.

Разработку стратегии обработки, то есть проектирование общей последовательности обработки и возможных траекторий движения инструмента, в нашем случае значительно усложняла конструкция существующей оснастки, разработанной немецкими специалистами, которая обладала рядом существенных недостатков:

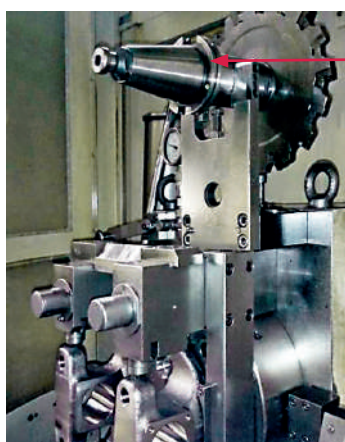
1. Конструкция отличалась излишней сложностью и материалоемкостью, оснастка занимала все рабочее пространство станка – на поворотном столе станка, размерами 630 × 630 мм, размещалась только одна заготовка с габаритными размерами 300 × 280 × 300 мм.
2. При разработке УП дополнительно приходилось учитывать габариты вспомогательных элементов оснастки – рычага, баллона гидросистемы и т.д., которые могли повредить шпиндель при повороте стола, то есть смене зон обработки детали. Все это вынуждало увеличивать расстояние от плоскости холостых ходов до зоны обработки, то есть увеличивать объем холостых перемещений инструмента при обработке (рис. 3).
3. Несмотря на внушительные габариты оснастки, выбранная схема закрепления заготовки не обеспечивала достаточную жесткость при обработке, так как фактически представляла собой схему «консольное закрепление балки» – сферические прижимы фиксировали заготовку по краю (по необработанной части), при этом центр тяжести заготовки был удален от плоскости фиксации более чем на половину длины заготовки. Недостаточная жесткость закрепления заготовки дала о себе знать впоследствии – при обработке переходов с большими припусками. Пришлось специальным образом подбирать частоту вращения шпинделя, чтобы снизить вибрацию при обработке.
4. Отдельные элементы оснастки препятствовали свободному выходу инструмента при обработке основания и внутренней поверхности стенок детали, причем именно в тех местах, где расположены основные объемы снимаемого металла.

Для исправления ситуации специалистами ООО «АДЕМ-инжиниринг» был разработан специализированный программный модуль (постпроцессор), который учитывал кинематическую схему станка, геометрическую модель расположения самой оснастки на столе станка и заготовки детали в оснастке, специфику конфигурации программного обеспечения стойки ЧПУ и т.д.

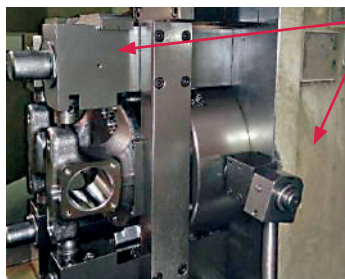
Наличие специализированного постпроцессора позволило технологу впоследствии легко изменять стратегию обработки детали, адаптируя способ обработки конструктивного элемента детали с учетом конкретных характеристик технологической системы СПИД (станок, приспособление, инструмент, деталь) – при необходимости в течение нескольких минут менять последовательность обработки конструктивных элементов детали, геометрию и тип режущего инструмента, режимы резания и т.д.



Элементы конструкции оснастки, затрудняющие рабочее поле и препятствующие свободному перемещению инструмента при обработке детали



Применение неэффективного режущего инструмента при существующем ТП. В новом ТП от применения данного инструмента отказались



Элементы конструкции оснастки, увеличивающие длины перемещений холостого хода при обработке детали, в частности, требующие увеличения высоты отвода инструмента при смене зоны обработки и т.д.

Рис. 3. Несовершенство существующей оснастки

В частности, возможности постпроцессора по включению в УП команд круговой интерполяции позволили предельно просто формировать криволинейную траекторию движения инструмента (рис. 4), например, при подводе к контуру обработки, то есть избежать удара при подводе инструмента к контуру обработки и значительно снизить нагрузку на режущий инструмент при врезании в заготовку.

На данный момент, разработанный ООО «АДЕМ-инжиниринг» постпроцессор (Heller MCH-250B/Sinumerik 840D) обеспечивает:

- программирование стандартных сверлильно-расточных циклов;

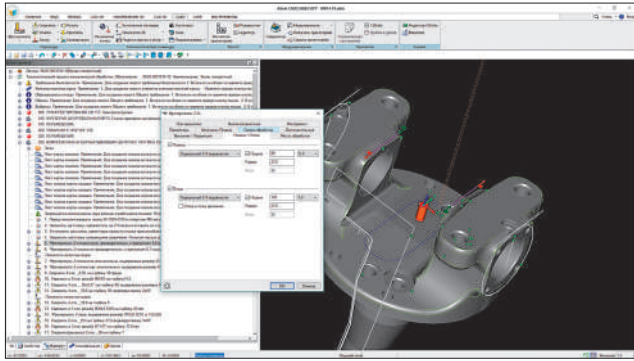


Рис. 4. Формирование криволинейной траектории движения инструмента при подводе к контуру обработки

- автоматическое выделение зон обработки и генерация команд УП для позиционирования необходимой зоны в процессе обработки;
- выбор режима подачи СОЖ для конкретного инструмента, участвующего в обработке: отсутствие подачи СОЖ, подача СОЖ в рабочий кабинет поливом, включение насоса повышенного давления и подача СОЖ через шпиндель станка;
- оптимизацию траекторий перемещений инструмента на холостых ходах в процессе подвода или отвода из зоны обработки;
- снижение времени смены инструмента;
- оптимизацию углов поворота стола станка в процессе смены зоны обработки и т.д.

Кроме того, постпроцессор обеспечивает расчет общих характеристик эффективности УП – расчет времени обработки как для операции в целом, так и времени обработки детали на отдельном переходе, длительности и протяженности перемещения режущего инструмента на холостом и рабочем ходу и т.д.

Применение постпроцессора позволило на порядок сократить время разработки новой УП по сравнению со временем, которое понадобилось бы на программирование и отладку программы со стойки станка, практически исключив при этом возможность аварии при отладке программы на станке.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ ОБРАБОТКЕ

В ходе реновации ТП изготовления детали использовался программный комплекс ADEM-VX (вер. 9.5) для создания и анализа цифровых 3D-моделей детали и ее заготовки (рис. 5).

Эта информация использовалась для контроля и оптимизации размерных цепей соответствующих технологических эскизов нового ТП. Для исключе-

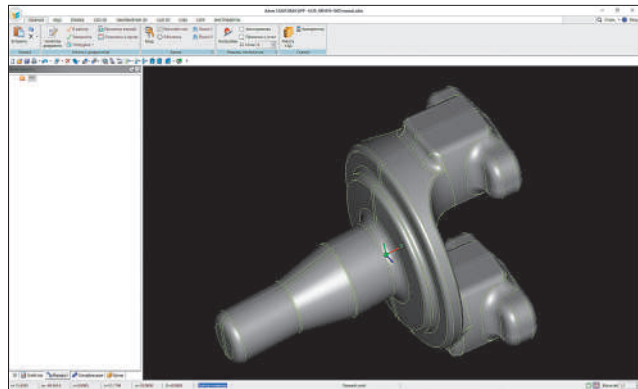
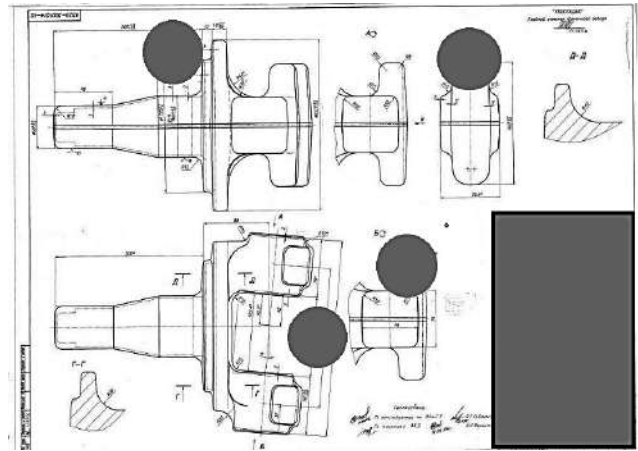


Рис. 5. Чертеж и 3D-модель детали

ния коллизий при обработке и аварии шпинделя при «жестком наезде», было принято решение создать «цифровой двойник» существующей оснастки – чертежи элементов и узлов оснастки были оцифрованы, и на их базе построены соответствующие 3D-модели.

Для формирования 3D-моделей элементов оснастки использовался САД-модуль системы ADEM-VX, полученные модели были проверены на корректность геометрии. Изображения сформированных 3D-моделей элементов оснастки приведены на рис. 6.

На основе полученных 3D-моделей элементов оснастки были построены соответствующие узлы и под сборки оснастки в целом (рис. 7).

При разработке нового ТП учитывался тот факт, что конструкция оснастки ограничивает возможности доступа к элементам детали при обработке – для проверки возможности обработки конструктивных элементов детали той или иной инструментальной сборкой были созданы 3D-модели всех инструментальных сборок, применяемых при обработке.

Эти модели впоследствии были включены в новый ТП и в дальнейшем использовались для генерации соответствующих технологических документов при материальном нормировании ТП.

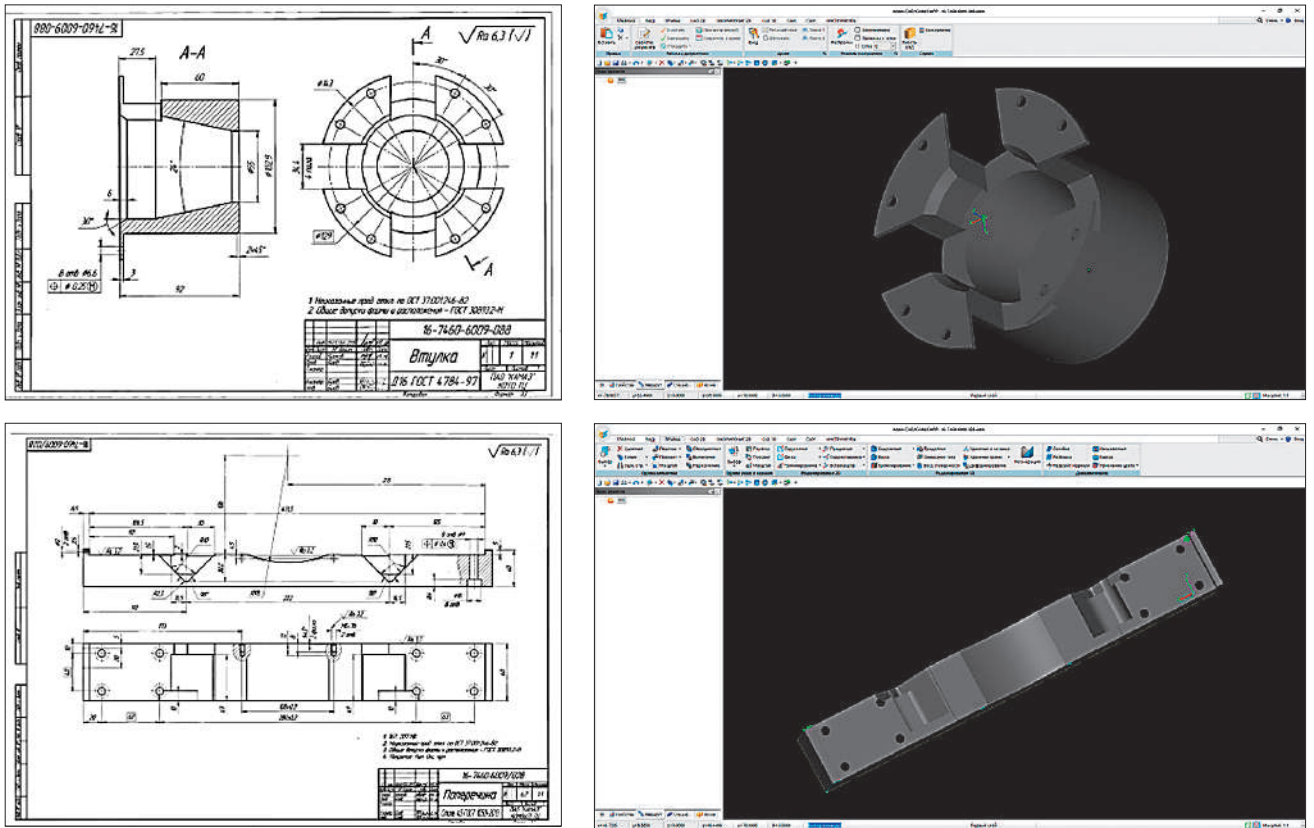


Рис. 6. Чертежи и 3D-модели элементов оснастки

В целях дальнейшего снижения рисков и оптимизации времени обработки была проведена верификация новой УП средствами программного комплекса ADEM-VX (вер. 9.5) и изготовление комплекта ТД на новый техпроцесс (рис. 8).

Разработанный в описываемом проекте подход соответствует критериям реинжиниринга – одновременно значительно увеличивается производительность и существенно снижаются затраты. Вместе с тем, глубина пересмотра процесса весьма радикальна – оптимизация конструктивных элементов проведена на базе анализа всего семейства пово-

ротных кулаков, а некоторые элементы перепроектированы на базе функционального анализа (например, посадочное место датчика АБС).

По каждой операции анализировался удельный съем металла и степень нагрузки на шпиндель для максимизации ОЕЕ (overall equipment effectiveness – общая эффективность работы оборудования). Например, подтверждены системные выводы об относительной невыгодности обработки малых отверстий мощными шпинделями ЧПУ – необходимые обороты велики, а мощность мала, поэтому без групповой обработки отверстий рациональные технологии не обой-

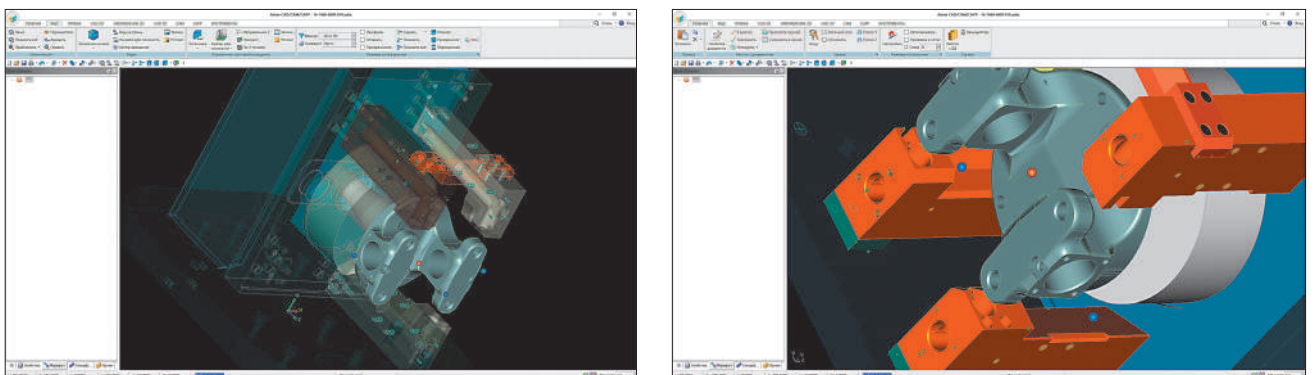


Рис. 7. Узлы оснастки в сборе

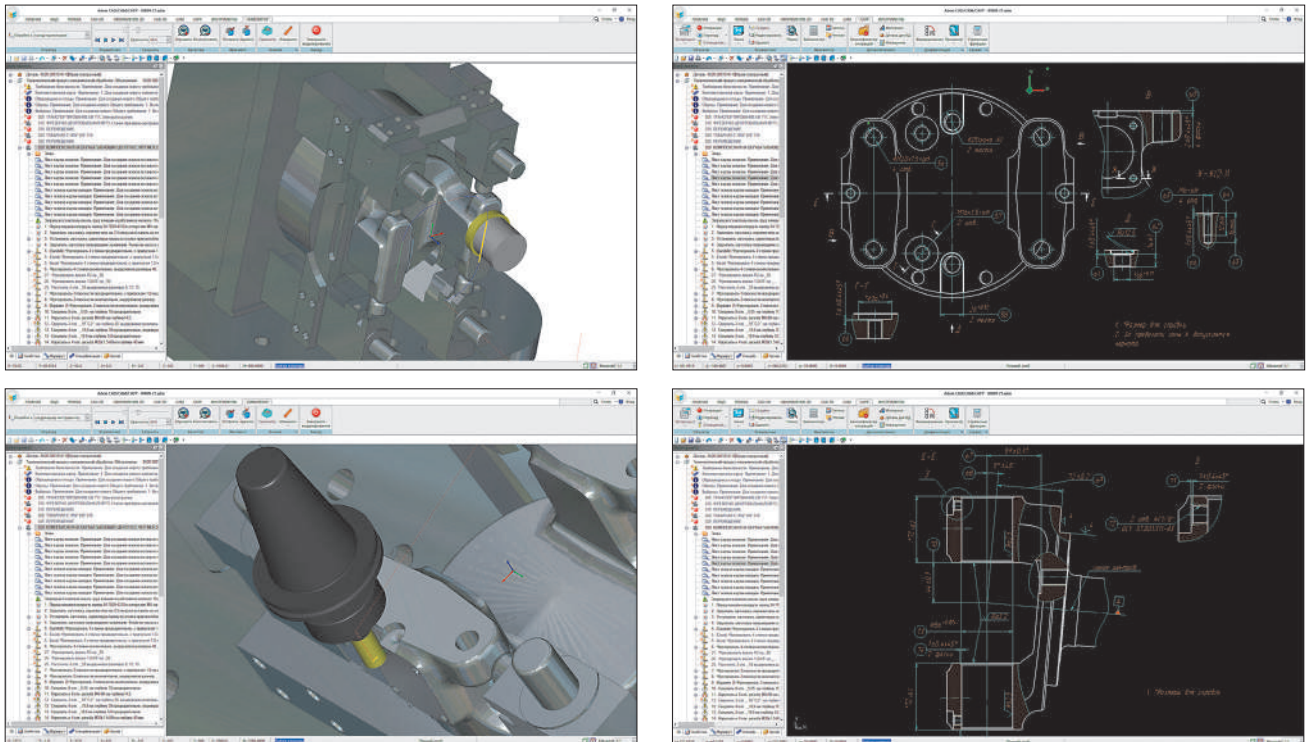


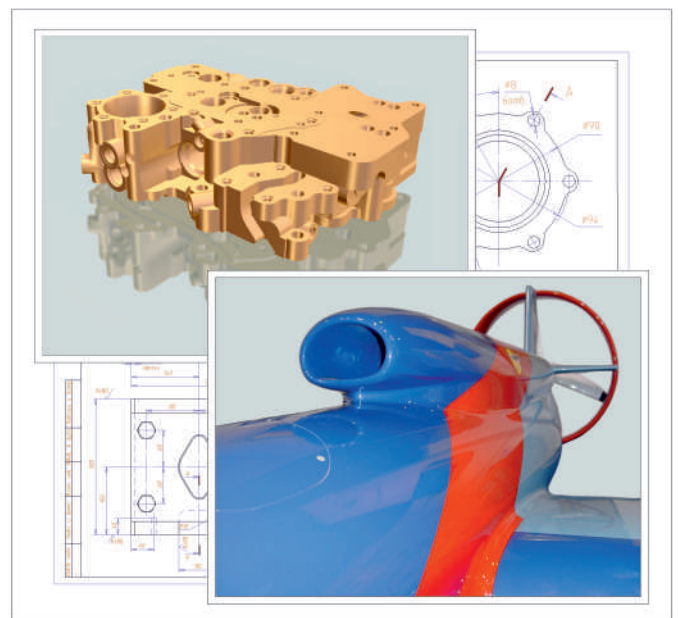
Рис. 8. Фрагменты комплекта ТД на новый ТП

Интегрированная **CAD/CAM/CAPP** система **ADEM** для автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства. Единый программный комплекс, в состав которого входят модули для: объемного и плоского моделирования; выпуска конструкторской и технологической документации; проектирования техпроцессов; программирования станков с ЧПУ (токарных, фрезерных, электроэрозионных, лазерных и др.); управления архивами и проектами; укрупненного трудового нормирования. Содержит средства для анализа технологичности проекта и систему управления справочными данными.

Группа компаний ADEM

107497, Москва:
ул. Иркутская, д. 11
тел: +(7) 495 462-0156,
+(7) 495 502-1341
e-mail: moscow@adem.ru

426003, Ижевск:
ул. Красноармейская, д. 69
тел: +(7) 3412 522-341,
+(7) 3412 522-433
e-mail: izhevsk@adem.ru



дуются. Размеры и форма фасок также требует особого внимания.

Таким образом, для корректного описания изложенного подхода следовало бы использовать новый термин, например «ньюинжиниринг». Опыт ООО «АДЕМ-инжиниринг» показывает, что резерва производительности резания меньше чем в два раза в отечественной промышленности не бывает. Зачастую с помощью рациональных приспособлений можно на порядок увеличить выработку.

Таким образом, «ньюинжиниринг» мехобработки позволяет в любой отрасли, на любом конкретном станке и для любой детали за один заход превысить целевые показатели по производительности труда, сформулированные в Национальном проекте. Это позволяет за счет применения отечественного ПО многократно снизить «инвестиционный голод» нашей обрабатывающей промышленности, довести темп окупаемой реновации оборудования до мировых стандартов, минимум на 15–20% снизить себестоимость изделий, создать миллионы высокотехнологичных рабочих мест с достойной зарплатой для всех участников – конструкторов, технологов, рабочих.

Лучший критерий истины – практика. Оцените производительность резания на имеющемся у вас оборудовании, опираясь на данные из табл. 1.

Таблица 1. Лучшие практики для стали

Скорость съема с 1 кВт на шпинделе, см ³ /мин	кг/мин для 20 кВт
Фрезерование	26–29
Токарная обработка	15–25
Сверление отверстий	5–27

Рассчитайте истинный уровень загрузки оборудования исходя из возможности работы 20 смен в неделю с перекрытием перерывов – 8760 ч в год.

Если результат озадачил своей скромностью и Вы хотите использовать часть выявленного потенциала – давайте искать решения вместе.

ВАРЛАМОВ Александр Всеволодович – директор по развитию ООО «АДЕМ-инжиниринг»

МОРОЗОВ Борис Михайлович – руководитель Аналитической службы ПАО «КАМАЗ»

ШАВАЛИЕВ Эльдар Рамильевич – руководитель Центра цифровой трансформации ПАО «КАМАЗ»

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 1210 руб.

ОБРАБОТКА РЕЗАНИЕМ СТАЛЕЙ, ЖАРОПРОЧНЫХ И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С УЧЕТОМ ИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Райхельсон В. А.

В книге освещены основные виды механической обработки резанием современных конструкционных сталей, жаропрочных и титановых сплавов лезвийными инструментами: точение, строгание, сверление, фрезерование, протягивание, разрезка заготовок и прорезка пазов.

Книга содержит большой научно-практический и справочный материал, рассчитана на инженерно-технических работников предприятий машиностроения, авиакосмической отрасли, энерго- и автостроения, оборонной промышленности. Она также послужит учебным пособием для студентов и преподавателей высших и средних учебных заведений машиностроительных специальностей.

М.: ТЕХНОСФЕРА,
2020. – 508 с.
ISBN 978-5-94836-476-6

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

☎125319, Москва, а/я 91; ☎+7 495 234-0110; ☎+7 495 956-3346; ✉knigi@technosphere.ru, sales@technosphere.ru

18–21.10.2021

12+

В рамках проекта «Наука-Технологии-Инновации Экспо»
международная политехническая выставка

ТЕХНОФОРУМ



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



www.technoforum-expo.ru

Организатор

 **ЭКСПОЦЕНТР**

При поддержке:

- Государственной Думы Федерального Собрания РФ
- Министерства промышленности и торговли РФ

Под патронатом ТПП РФ

Реклама



«Оборудование
и технологии
обработки
конструкционных
материалов»

Россия, Москва,
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»