

ОПЫТ СОЗДАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЕРЕДОВЫХ CAD/CAM/CAE СИСТЕМ

Для снижения материалоемкости машин в современном машиностроении необходимо увеличение в общей номенклатуре деталей с тонкостенными, нежесткими элементами. Достижение конструктивной прочности деталей машин предлагается оптимизация за счет использования возможностей передовых CAD/CAM/CAE систем, которые позволяют выполнить не только качественную организацию технологической подготовки производства на отдельных этапах создания передовых технологий, но и в режиме «on-line» исследовать влияние различных технологических факторов на качественные изменения в пластически деформированном слое материала и дифференцировать корреляцию процесса стружкообразования и напряженно-деформированного состояния материала в зависимости от угла наклона стружкоотводной канавки инструмента. Полученные результаты имитационного 3D моделирования позволили установить, что с повышением скорости резания возрастает перспектива использования инструмента с положительным передним углом режущей кромки для обеспечения требуемых параметров качества и производительности обработки.

Ключевые слова: технологическая подготовка производства, техпроцесс, обрабатывающий центр, CAD/CAM/CAE системы, конкурентоспособность, оптимизация.

Введение. Развитие машиностроения предполагает снижение материалоемкости изделий. Одним из направлений этой тенденции является увеличение в общей номенклатуре изделий деталей машин и узлов с тонкостенными, нежесткими элементами. При этом достижение конструктивной прочности обеспечивается, как правило, за счет применения материалов с более высокими прочностными характеристиками. Вместе с тем, производство конкурентоспособных изделий машиностроения предполагает применение материалосберегающих технологий [1]. Одним из направлений таких технологий является применение заготовок с малыми припусками на обработку, что стало возможным с развитием технологии производства и появлением современных обрабатывающих центров.

Однако, в настоящее время ресурсы украинских машиностроительных предприятий (парк оснащения, состав профессионалов, организация работ, уровень технологической подготовки производства и т.д.) не обеспечивают в должной мере выпуска продукции, которая могла бы соответствовать мировым стандартам. Кроме того изготовление такой продукции сегодня, как правило, не укладывается в сроки, определяемые темпами мирового научно-технического прогресса. В отечественном машиностроении время «жизни» изделия может быть сопоставимо с временем, затрачиваемым на его проектирование и подготовку производства. Такие обстоятельства иногда приводят к тому, что изделие, вследствие длительных сроков технологической подготовки производства (ТПП), фактически устаревает уже к моменту его запуска в серийное производство. А, следовательно, является не только не конкурентоспособным, но и

приносит убытки, как отдельному предприятию, так и всему машиностроению Украины в целом.

Анализ последних исследований и литературы. Из обзора работ зарубежных и отечественных авторов установлено [1–3], что при реализации существующих технологических процессов изготовления нежестких деталей машин встречаются серьезные затруднения, связанные с возникновением коробления деталей, а также с потерей точности изготовления вследствие действия технологических факторов в сочетании со схемами обработки.

Существует большое количество различных методов, которые позволяют оценивать и прогнозировать деформации нежестких деталей. Такие методы, как правило, имеют частный характер и распространяются преимущественно на оценку остаточных деформаций. Так как именно этот показатель приводит к потере формы деталей вследствие влияния технологических напряжений. Проблема прогнозирования и управления деформациями нежесткого фланца в процессе обработки, при одновременном действии сил в технологической системе и остаточных напряжений, является актуальной в настоящее время. Одновременное действие перечисленных выше факторов приводит к возникновению большого количества технологических потерь при производстве дорогостоящих ответственных деталей. Указанные потери проявляются в виде остаточного осевого смещения, погрешности формы, которые являются недопустимыми.

Целью данной статьи является оптимизация технологической подготовки производства нежестких деталей на базе применения передовых CAD/CAM/CAE систем, лежащих в основе изготовления качественной продукции.

Постановка проблемы. Некоторые основные проблемы создания современных технологий для изготовления конкурентоспособной тонкостенной продукции в условиях нынешнего машиностроительного предприятия можно охарактеризовать следующим образом:

- коммуникативная составляющая процесса ТПП нежестких деталей машин имеет зачастую «бумажных» характер. Это является первопричиной замедления всех этапов изготовления продукта и может привести к неполному соответствию конечного результата из-за многочисленных изменений в конструкторской документации;
- конструкторские неточности и упущения приводят к значительным финансовым и временным затратам на проведение необходимых изменений;
- отработка технологических режимов обработки материалов, проведение прочностных и динамических испытаний, обнаружение коллизии кинематики также приводят к финансовым и временным затратам на оптимизацию производственных возможностей;
- влияние технологических факторов в сочетании со схемами обработки, частые перестановки деталей с оборудованием на оборудование, что приводит к возникновению погрешности закрепления и базирования являются еще одним показателем, тормозящим процесс создания качественного продукта.

Совокупность выше перечисленных факторов является причиной увеличения сроков запуска новых изделий в производство, неоправданного увеличения затрат, и неконкурентоспособного качества отечественной продукции в сравнении с западными аналогами.

Одним из наиболее эффективных методов решения описанных проблем является внедрение передовых CAD/CAM/CAE систем в процесс ТПП.

Материалы исследований. Использование возможностей передовых CAD/CAM/CAE систем является тем инструментом, который позволяет выполнить не только качественную организацию ТПП на отдельных этапах создания передовых технологий, но и в режиме «on-line» исследовать последствия тех или иных изменений, внесенных в результате качественного анализа рассматриваемых процессов. Это в свою очередь позволяет выбирать наиболее выгодный вариант технологического процесса изготовления ответственных деталей машин, который удовлетворяет заранее выдвинутым ограничениям, и как результат – получить качественные показатели изделия, которые являются оптимальными при заданных условиях.

В представляемой работе были исследованы процессы изготовления нежесткого фланца производства ООО НПП «Квант-Эфир». Основная задача, решаемая при этом, заключалась в совершенствовании технологического процесса выпускаемой продукции.

В условиях эксплуатации фланец выполняет связующую роль, между двигателем и редуктором.

Поскольку процессы проектирования и изготовления являются составляющими единого инструмента для создания конкурентоспособной детали в кратчайшие сроки, и в значительной степени определяет

эксплуатационные и качественные характеристики изделия, следовательно, неоспоримой представляется важность и ответственность симбиоза этих этапов в едином жизненном цикле изделия. Метод твердотельного моделирования, в этом случае, является оптимальным с точки зрения совершенствования конструкторской и технологической подготовки производства, что, прежде всего, заключается в многократном улучшении точности обработки поверхностей и сокращении времени создания программ для станков с ЧПУ. В работе [5] отмечено, что основная задача этапа создания CAD моделей деталей заключается в обеспечении точности проектированной модели раз в 10 выше, чем допуск чистовой обработки (рис. 1).

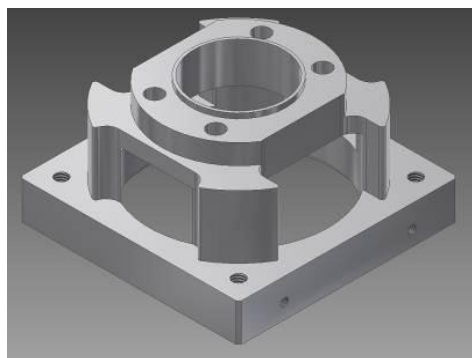


Рис. 1 – CAD модель разрабатываемого изделия

Учитывая тот факт, что повышение качества нежесткого изделия требует особого внимания к процессу ТПП, улучшения точности обработки поверхностей и создания высокоточных траекторий инструментов, что в свою очередь влечет к генерированию огромного объема данных – на передний план вышел вопрос решения задачи о сокращении времени создания программ для станков с ЧПУ. Эту задачу решалась посредством современной САМ-системы FeatureCAM (рис. 2), что позволило в диалоговом режиме проверить твердотельную модель изделия на технологичность, быстро сгенерировать качественные и эффективные траектории, которые были получены на основе конструкторско-технологических элементов твердотельной модели нежесткого фланца, и осуществить коррекцию выбора режущего инструмента, основываясь на 3D модель изделия. В качестве исходной информации для генерации траекторий движения инструментов использовалась заранее созданная высокоточная геометрическая модель (рис. 1).

Поскольку процесс написания программ для станков с ЧПУ является заключительным этапом разработки ряда мероприятий с целью изготовления высококачественной продукции – перед нами оставалась стоять задача предварительно разработки оптимальной технологии изготовления конкурентоспособного изделия.

Выполнение этого этапа зачастую требует больших материальных и временных затрат на поиск оптимальных технологических режимов обработки рассматриваемого материала, что отрицательно сказывается на себестоимости продукции.

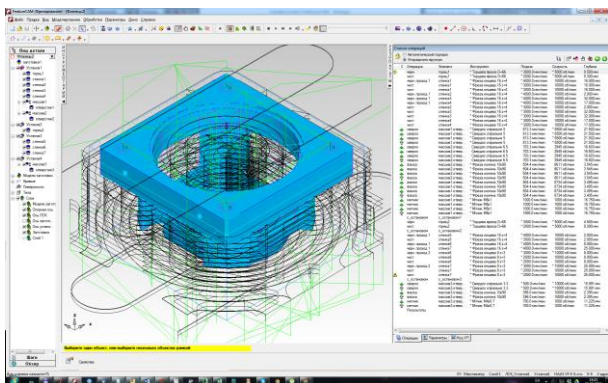


Рис. 2 – Генерация управляющей программы обработки жесткого фланца в среде САМ-системы FeatureCAM

Для решения задачи определения области существования оптимальных технологических режимов обработки фланца, дефиниции и геометрии режущего инструмента, исключения ошибок геометрии жестких элементов (коробления, перекоса, искривления в процессе механообработки) и проведения прочностных расчетов было решено использовать компьютерное проектирование и моделирование образов исследуемых технологических объектов на базе вычислительных логических алгоритмов с применением метода конечных элементов с среде CAE-модуля Deform-3D (рис. 3).

Исходя из того, что компьютерное моделирование механообработки жесткого фланца использовано для исследования, оптимизации и проектирования реальных технологических задач изготовления высококачественной продукции, было выделено два объекта исследования: процесс прямоугольного (режущим инструментом с прямоугольными стружкоотводными канавками) и процесс косоугольного резания материалов (режущим инструментом с косоугольными стружкоотводными канавками).

Поиск области существования оптимальных режимов резания осуществляли с помощью многочисленных экспериментов с изменением скорости резания (м/мин), подачи инструмента (мм/зуб) и глубины резания (мм). Экспериментальный анализ выполняли на базе построения модели обновленным лагранжианом, которая, в свою очередь, использует метод автоматического перестроения сетки.

Проведенный анализ влияния различных технологических факторов на качественные изменения в пластически деформированном слое материала показал, что существует прямая корреляция процесса стружкообразования и напряженно-деформированного состояния материала в зависимости от угла наклона стружкоотводной канавки инструмента, это подтверждено рядом численных расчетов с различными вариантами изменений 3D модели инструмента.

Кроме того определены перспективы применения инструмента с различной геометрией. С точки зрения технологии машиностроения традиционные режимы обработки материалов не позволяют использовать инструмент с положительным передним углом режущей кромки, так как большие температуры в зоне резания приводят к быстрому износу инструмента. Полученные результаты имитационного 3D моделирования позволили предположить, что с повышением скорости резания возрастает перспектива использования инструмента с вышеуказанными параметрами (рис. 3). Высокие температуры в зоне резания не успевают проникать вглубь материала инструмента и заготовки и локализуется в области резания и отводится со стружкой.

В результате имитационного моделирования выполнены теоретические исследования температуры в зоне резания. Установлено, что с увеличением скорости резания температура в зоне обработки уменьшается.

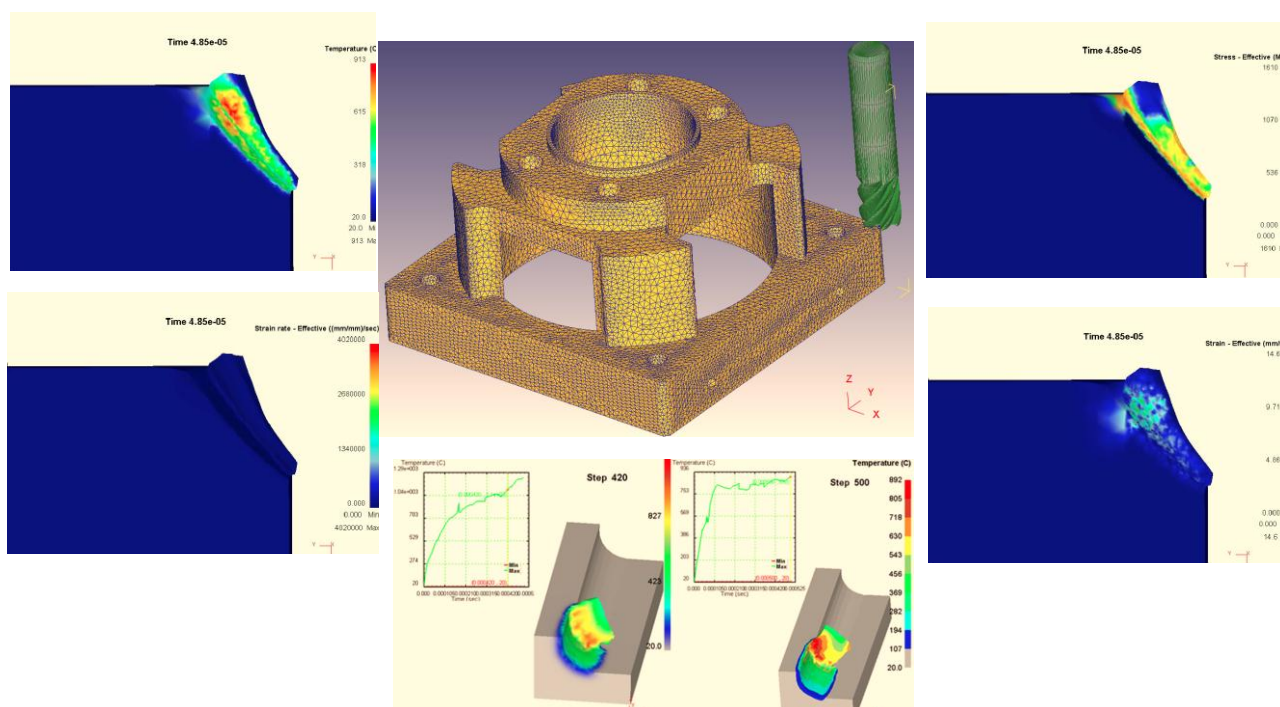


Рис. 3 – Проведение различных видов инженерного анализа с среде САЕ-модуля Deform-3D

Проведен анализ температурного поля и расчет с помощью ЭВМ температуры в теле заготовки, а также проведен анализ распределения тепловых потоков в зоне резания и по всему объему детали в процессе обработки. Решение тепловой задачи позволило убедиться в том, что назначенные технологические режимы не вызывают интенсивного тепловыделения, опасного для сохранения механических характеристик обработанной поверхности и правильности ее формы.

Использование САЕ-модуля Deform-3D позволило реализовать многокритериальную оптимизацию процесса механообработки нежестких деталей, проранжировать его технологические параметры и получить достаточно точные прогнозы физических и физико-механических характеристик разрушения материала в удобном графическом интерфейсе.

Результатами исследований стало получение высококачественных нежестких фланцев в кратчайшие сроки (рис. 4). Обработка фланца производилась на вертикальном обрабатывающем центре HAAS VF-3 (рис. 5). Необходимо отметить, что реализация сквозного цикла проектирования изготовления детали заняла 18 часов, что сократило время на запуск изделия в серийное производство в среднем на 64%.



Рис. 4 – Готовое изделие «нежесткий фланец» – результат применения передовых CAD/CAM/CAE-систем



Рис. 5 – Обрабатывающем центре HAAS VF-3

Выводы. Для снижения материалоемкости машин в современном машиностроении необходимо увеличение в общей номенклатуре деталей с тонкостенными,

нежесткими элементами за счет использования возможностей передовых CAD/CAM/CAE систем:

1. Полученные результаты имитационного 3D моделирования позволили установить возможность увеличения режимов резания с использованием инструмента с положительными углами;

2. Решение тепловой задачи обеспечило стабильность назначенных технологических режимов обработки, которые не вызывают интенсивного тепловыделения, опасного для сохранения механических характеристик обработанной поверхности и правильности ее формы;

3. Использование САЕ-модуля Deform-3D реализует многокритериальную оптимизацию процесса механообработки нежестких деталей и позволяет проранжировать технологические параметры с получением физических и физико-механических характеристик разрушения материала в удобном графическом интерфейсе.

Список литературы: 1. Нестеренко Г.А. Совершенствование технологии изготовления нежестких дисков энергетических машин с обеспечением характеристик качества обработки : диссертация ... кандидата технических наук : 05.02.08 / Нестеренко Григорий Анатольевич. – Омск, 2002. – 192 с.: ил. 2. Нестеренко Г.А. Оценка смещения полотна диска осевого гидравлического насоса при механической обработке / А.Г. Нестеренко, Е.А. Лысенко, И.С. Нестеренко и др. // Modern direction of theoretical and applied researches'2014: сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции (18-30 марта). Украина: Sworld. 3. Егоров Е.С. Повышение эффективности процессов обработки нежестких деталей инструментом из композитов с применением магнитной технологической оснастки: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. к.т.н.: Спец. 05.03.01 / Егоров Евгений Сергеевич. [Волгогр. гос. техн. ун-т]. - Волгоград: 2004. - 16 с.: ил. 4. Лысенко, С.В. Исследование деформирования фланца на различных режимах заваривания болтовых отверстий [Текст] / Лысенко С.В., Смирнов М.М. // Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ" : Динаміка та міцність машин №36 - Вестник НТУ "ХПИ", 2008 - С. 129-132. 5. Добротворский С.С. Повышение конкурентоспособности отечественного машиностроительного производства в современных условиях // С.С. Добротворский, Е.В. Басова, Л.Г. Добровольская, А.К. Мясца // Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ" : Технологии в машиностроении. X.: НТУ «ХПИ», 2014. – Вып.5542. – С. 25-31.

Bibliography (transliterated): 1. Nesterenko G.A. *Sovershenstvovanie tehnologii izgotovlenija nezhestkih diskov jenergeticheskikh mashin s obespecheniem harakteristik kachestva obrabotki : dissertacija ... kandidata tehniceskikh nauk : 05.02.08.* Omsk: ONTU, 2002. 192p. Print. 2. Nesterenko A.G., Lysenko E.A., Nesterenko I.S. i dr. *Ocenka smeshhenija polotna diska oseвого gidravlicheskogo nasosa pri mehanicheskoy obrabotke.* Ukraine: Sworld, 2014. Print. 3. Egorov E.S. *Povyshenie jeffektivnosti processov obrabotki nezhestkih detalej instrumentom iz kompozitov s primeneniem magnimnoj tehnologicheskoy osnastki: Avtoref. dis. na soisk. uchen. step. k.t.n.: Spec. 05.03.01.* Volgograd: VGTU, 2004. 16 p. Print. 4. Lysenko S.V., Smirnov M.M. *Issledovanie deformirovanija flanca na razlichnyh rezhimah zavarivaniya boltovyh otverstij.* Kharkov: NTU «KhPI», 2008. pp. 129-132. Print. 5. Dobrotvorskij S.S., Basova E.V., Dobrovol'skaja L.G., Mjalica A.K. *Povyshenie konkurentosposobnosti otechestvennogo mashinostroitel'nogo proizvodstva v sovremennyh uslovijah.* Kharkov: NTU «KhPI», 2014. pp. 25-31. Print.

Поступила (received) 20.02.2015

Добротворский Сергей Семенович – док. техн. наук, проф. НТУ «ХПИ», тел.: (057)-720-66-25, e-mail: sdbro@mail.ru;

Гасанов Магамедэмин Исамагомедович – канд. техн. наук, проф. НТУ «ХПИ», тел.: (057)-720-66-25, e-mail

Басова Евгения Владимировна – канд. техн. наук, ст. препод. НТУ «ХПИ», тел.: (057)-720-66-25, e-mail: evgeniya.ivaschenko@mail.ru;

Головатый Роман Витальевич – руководитель группы эксплуатации станков с ЧПУ, ООО Научно-производственное предприятие «Квант-Эфир», Киев; тел.: (044) 531-42-20, e-mail:mechanic@kvantefir.com;

Гаков Сергей Александрович – канд. техн. наук, ст. препод. ДГМА, Краматорск;

Гнучих Сергей Сергеевич – магистр, НТУ «ХПИ», тел.: (057)-720-66-25.