

УДК 621.002:658.011:681.3

КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ПРОГРАММНОМ БАЗИРОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

© 2016 Н.В. Носов, А.А. Черепашков, Д.С. Горяинов, К.В. Хрустицкий

Самарский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 20.09.2016

В статье обсуждаются проблемы автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства деталей сложной формы на станках с числовым программным управлением. Предлагается и описывается комплексная методика проектирования заготовок деталей и управляющих программ для станков с ЧПУ, основанная на использовании современных технологий автоматизированного проектирования и электронных средств измерений.

Ключевые слова: Компьютерные технологии в машиностроении, САПР, ЧПУ, CAD/CAM/CAI.

Решение остро стоящих перед Россией проблем импортозамещения в настоящее время связывается с возрождением и коренной модернизацией отечественной обрабатывающей промышленности. Одними из самых действенных инструментов повышения качества и конкурентоспособности производства в различных отраслях производства выступают новые информационные технологии.

Для машиностроения к числу важнейших методов и средств информационной поддержки относятся компьютерные технологии автоматизации проектирования и технологической подготовки производства. В технических науках и промышленной практике за ними закрепился термин: «технологии САПР» (методы и средства систем автоматизированного проектирования, в английском написании: CAD/CAM/CAE... - САх-технологии) [1]. Причем, как показывает практика промышленно-развитых стран, наибольший эффект достигается при комплексном применении технологий и технических средств промышленной автоматизации.

В статье описывается комплексная методика применения средств автоматизированного конструирования (CAD), увязанная с технологиями автоматизированного проектирования управляющих программ для станков (CAM), а также автоматизированными технологическими процессами обработки и измерения деталей сложной формы (CAI). Практика показывает, что перечисленные проектные процедуры и про-

цессы, составляющие в своем комплексе основу конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП), в существенной мере взаимозависимы. И уже на этапе моделирования формообразующих поверхностей машиностроительных деталей необходимо учитывать с какой точностью, какими инструментами и на каком оборудовании они будут изготовлены. В свою очередь все перечисленные вопросы обязательно должны быть учтены и конкретизированы при выборе стратегии обработки и параметров управляющих программ.

Геометрическая модель, созданная конструктором в среде машиностроительных САПР, определенным образом преобразуется технологом в модели заготовок, разрабатываемых технологом, также средствами САПР. При этом можно утверждать, что современные методы автоматизации проектирования существенно меняют традиционные подходы к проектированию заготовок и разработке технологических процессов.

Как правило, размеры заготовок включаются в технологическую размерную цепь, по которым строится координатная система, с использованием основных и вспомогательных баз (поверхностей). В тоже время обрабатываемая деталь присоединяется к деталям технологической системы путем совмещения ее технологических баз с исполнительными поверхностями приспособления или станка, в связи с этим координатная система меняет свое положение и строится на исполнительных поверхностях приспособления или станка. Совмещая координатные системы указанным способом, получим совокупность координатных систем, связанных между собой. Но, поскольку каждая составляющая технологической системы лишена соответствующего числа степеней свободы, то на образовавшую координатную систему следует наложить определенные связи. Роль связей при обработке выполняют опорные точки на поверхности заготовки или инструмента. Таким образом, перемещение опорных точек

Носов Николай Васильевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения». E-mail: tms@samgti.ru

Черепашков Андрей Александрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технология машиностроения». Горяинов Дмитрий Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения».

E-mail: goryainovd@yandex.ru

Хрустицкий Кирилл Владимирович, аспирант кафедры «Технология машиностроения».

можно представить как функции свойств связей и действующих технологических факторов.

Запишем уравнение движения таким образом, чтобы в него вошли факторы, вызывающие нарушение траектории относительного движения резца и заготовки. Для этого надо каждое перемещение и поворот каждой координатной системы заменить функциями перемещений их опорных точек. А перемещения опорных точек в свою очередь представить как функции свойств, связей и действующих факторов.

В итоге должно быть записано уравнение координат точек режущих кромок (заданных в координатной системе инструмента) в координатной системе, построенной на технологических базах детали, то есть

$$\begin{aligned} x_D &= f_1(x_H, y_H, z_H, t), \\ y_D &= f_2(x_H, y_H, z_H, t), \\ z_D &= f_3(x_H, y_H, z_H, t), \end{aligned}$$

где x_D, y_D, z_D – координаты точки М режущих кромок инструмента в координатной системе детали, x_H, y_H, z_H – координаты точки М режущих кромок инструмента в координатной системе инструмента, t – параметр движения.

Рассмотрим положение точки М режущей кромки инструмента при переходе из одной координатной системы в другую. Установлено положение точки М при последовательном переходе через все координатные системы эквивалентной схемы в координатную систему детали.

Получено уравнение движения точки М, которое содержит радиус-векторы (r_i) начала координатных систем и матрицы (M_i) трех последовательных поворотов каждой координатной системы, то есть

$$\bar{R} = f(\bar{r}_1, \bar{r}_2 \dots \bar{r}_n, M_1, M_2, \dots M_n),$$

где n – число координатных систем эквивалентной схемы технологической системы.

В свою очередь

$$\bar{r}_i = \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix}; M_i = M_{iz} \circ M_{iy} \circ M_{ix},$$

где x_i, y_i, z_i – координаты начала (точки) i -й координатной системы,

M_{iz}, M_{iy}, M_{ix} – матрицы поворотов i -й координатной системы вокруг осей OZ, OY, OX.

При этом

$$\begin{aligned} M_{ix} &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & -\sin\varphi \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi \end{pmatrix}; \\ M_{iy} &= \begin{pmatrix} \cos\omega & 0 & \sin\omega \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\omega & 0 & \cos\omega \end{pmatrix}; \end{aligned}$$

$$M_{iz} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ \sin\theta & -\cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

где θ, ω, φ – углы поворотов координатных систем, соответственно вокруг осей OX, OY, OZ.

Таким образом, уравнение движения точки М будет содержать по шесть параметров, определяющих положения каждой координатной системы в эквивалентной системе.

Последовательное установление функциональных связей между действующими факторами и перемещениями опорных точек, между перемещениями опорных точек и шестью параметрами положения каждой координатной системы, между последними и радиус-вектором точки поверхности обработанной детали, позволяет математически описать связи между действующими факторами и суммарной погрешностью обработки. Определяя погрешность обработки в каждой точке поверхности, находим погрешность всей обработанной поверхности детали. Это позволит с помощью известных методик определить точность детали по размеру, применительно к относительным поворотам и геометрической формы ее поверхностей.

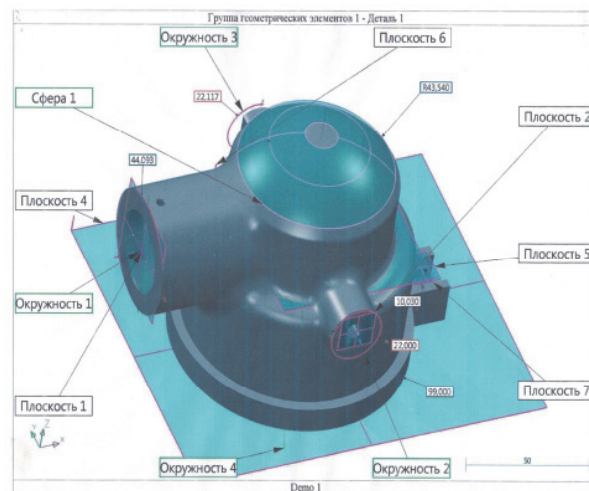


Рис. 1. Трехмерная модель корпусной детали (обозначены основные и вспомогательные конструкторские базы)

Методика определения погрешностей установки заготовки, статической и динамической настройки технологической системы принципиально не отличается от методики определения суммарной погрешности обработки. Отличие заключается лишь в эквивалентных схемах.

Построение эквивалентной схемы для расчета погрешностей на каждом этапе начинается с выявления размерных цепей установки, статической и динамической настроек. Отличие размерных цепей определяет отличие эквивалентных схем и вида уравнения относительного движения.

Как следует из изложенного, основными этапами построения математической модели является: выбор показателя точности, построение эквивалентной схемы, запись уравнения относительного движения и ввод в уравнение движения действующих факторов и качественных характеристик.

С помощью такого рода математических моделей и средствами САПР можно решать широкий спектр задач, связанных с расчетом, обеспечением и прогнозированием точности машин как на этапе их конструирования, изготовления, так и в процессе эксплуатации.

Совместить координатные технологические системы (заготовки, приспособления и станка) не всегда представляется возможным, особенно при обработке на универсальных станках. При обработке заготовок на станках с ЧПУ данное совмещение можно осуществить с помощью программного базирования.

Согласование процессов геометрического моделирования на конструкторском и технологическом этапах КТПП способствует достижению оптимального результата проектирования, обеспечивающего повышение качества выпускаемых изделий и повышение производительности обрабатывающего оборудования (см. рис. 1).

Разработка технологических процессов для оборудования с ЧПУ, оснащенного электронными средствами измерения, позволяют использовать методы так называемого «программного» базирования. В отличие от традиционных методов базирования заготовок (см. рис. 2), давно и успешно используемых для универсального обрабатывающего оборудования, управляемого квалифицированным рабочим, программным будем называть метод базирования на станках с ЧПУ, оснащенных программно-управляемыми электронными средствами измерения.

Программное базирование отличается от «ручных» методов, тем, что средствами программирования решается обратная задача - коррекции положения основных осей обработки станка с ЧПУ относительно координат базовых точек, измеренных на поверхности заготовки, закрепленной на станке [2].

При этом становится возможной относительно грубая, но достаточно простая и быстрая установка заготовки на столе станка (см. рис. 3). Необходимыми условиями для реализации этого метода на станках с ЧПУ выступают возможности многоосевой отработки (3-6 осей) и наличие встроенных цифровых средств измерений.

С точки зрения технолога при этом при разработке высокоавтоматизированного технологического процесса объединяются ресурсы конструкторских, технологических и измерительных баз. Совмещение механической обработки и измерений в одной программе позволяет существенно сократить общую длительность цикла

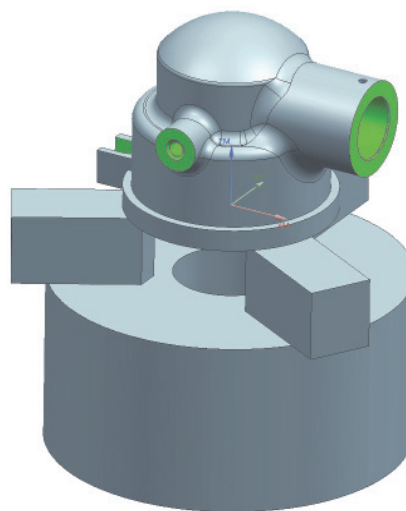


Рис. 2. Схема установки корпусной детали при фрезеровании с традиционной схемой базирования

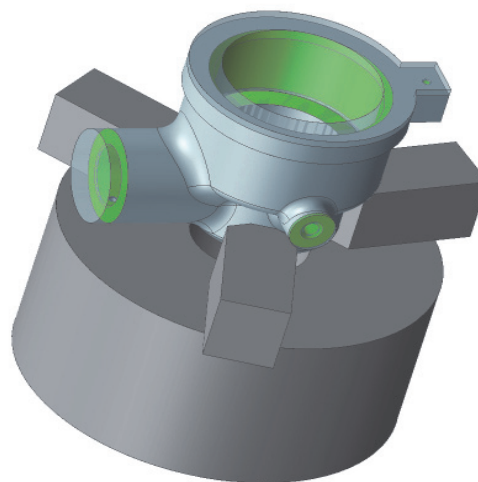


Рис. 3. Схема установки корпусной детали при фрезеровании с программным базированием

изготовления, и, что самое важное, резко повысить точность и безошибочность выдерживания размеров и допусков.

Следует заметить, что идеи адаптивной обработки деталей, когда предлагалось корректировать процесс резания в зависимости от результатов измерений [3], не новы. Но возможности современного цифрового оборудования, в сочетании с функционалом прикладного программного обеспечения САПР придают качественно новые качества технологиям машиностроения и позволяют комплексно автоматизировать проектно-производственные стадии жизненного цикла изделий.

Программное базирование целесообразно осуществлять от основных Комплексная система АСТПП адаптивного изготовления корпусных деталей позволяет:

Применить автоматизацию запрограммированных циклов измерений, для обеспечения

распознавания точной установки заготовки в специальное приспособление.

Определить параметры смещения и поворота осей обработки по отношению к истинному положению заготовки.

Рассчитать автоматически все параметры (размеры) заготовки при обработке на станке от смещенных осей.

Комплексная методика автоматизации проектирования и производства изделий на станках с ЧПУ позволяет одновременно с повышением ка-

чества обработки деталей существенно сократить сроки изготовления изделий. конструкторско-измерительных элементов 3D-модели заготовки (3D-деталь с припусками).

Произвести автоматическое программное базирование заготовки, при котором не требуется предварительной или вспомогательных конструкторских баз обрабатываемых деталей, что позволяет исключить погрешности базирования в приспособлении, погрешности от смены баз, погрешности обработки технологических баз (см. рис. 4).

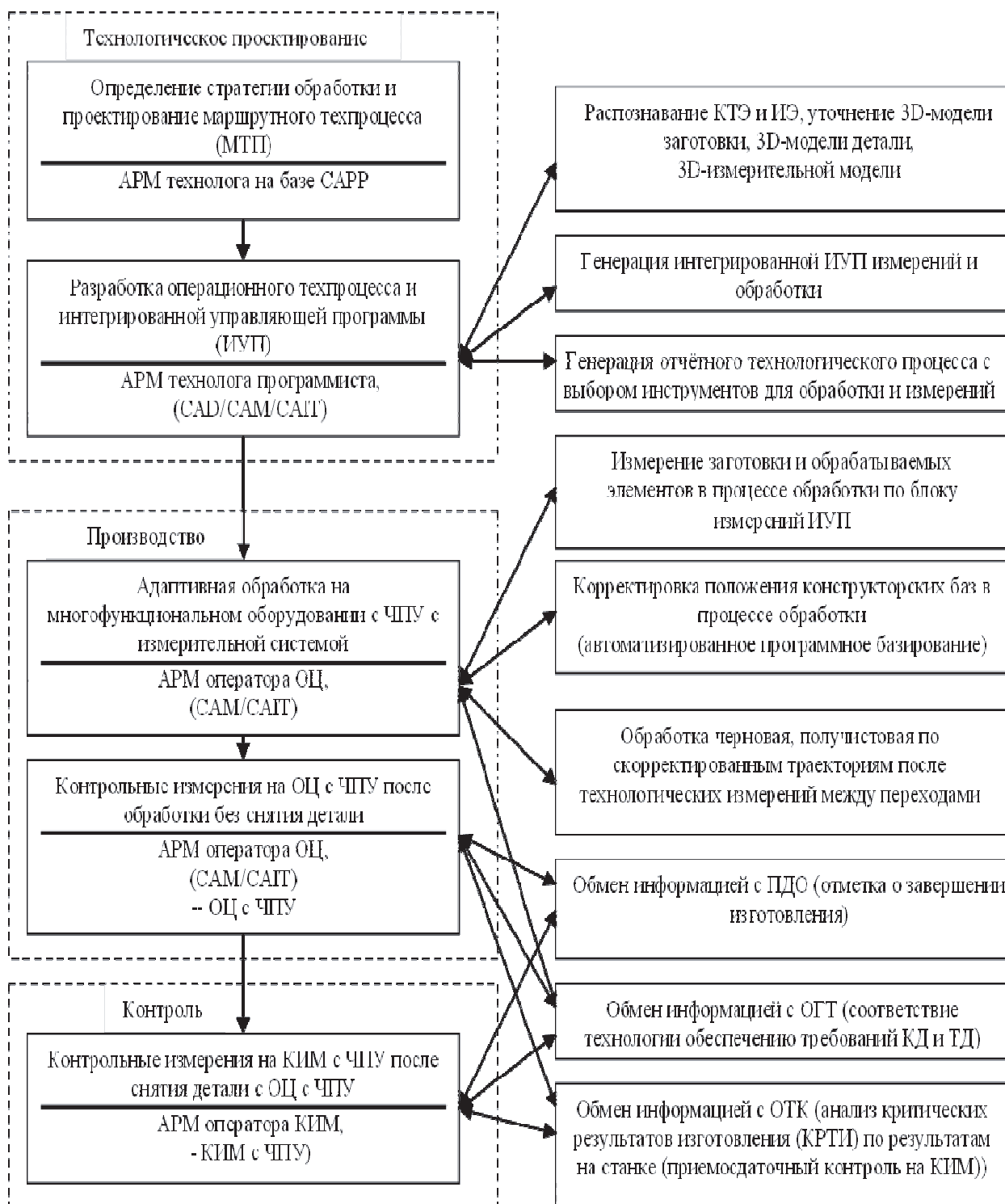


Рис. 4. Функциональная схема комплексной АСТПП адаптивного производства корпусных деталей

Для изучения эффективности и иллюстрации возможностей комплексных процессов автоматизации предлагается использовать «S»-образные кривые (рис. 5), построенные по аналогии с методикой исследования приведенной в [4].

В данном случае может быть использован интегральный критерий качества изготовления, учитывающий погрешности конструкторских (P_k) и технологических (P_t) моделей, базирования (P_b) и изготовления (P_m):

$$F = f(P_k, P_t, P_b, P_m). \quad (1)$$

По горизонтальной оси откладывается продолжительность исследуемых процессов. В случае традиционной - ручной методики число операции КТПП велико и достигается минимально допустимый по технологии уровень качества. При использовании средств автоматизации, за счет повышения точности моделирования и использования оптимизации стратегии обработки на станках с ЧПУ, обеспечивается повышение качества и снижение трудоемкости. Наибольший уровень качества при одновременном снижении временных затрат прогнозируется при комплексной методике автоматизации проектирования и изготовления изделий на станках с ЧПУ. В данной статье рассматривается подтвержденная практикой и теоретическими исследованиями авторов концепция комплексной методики автоматизации проектирования и изготовления изделий на станках с ЧПУ и предлагаются объективные методы ее исследования.

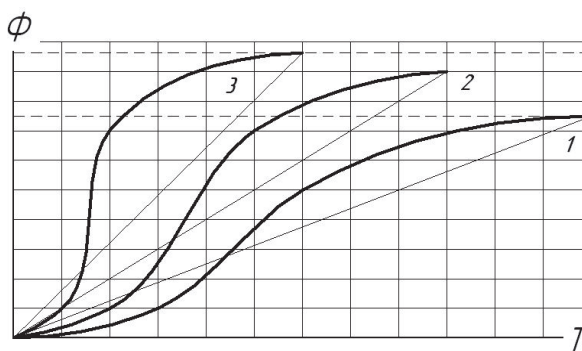


Рис. 5. Сравнение эффективности процессов КТПП:
1 – традиционная технология;
2 – автоматизация локальных процедур проектирования;
3 – комплексная автоматизированное проектирование и производство на станках с ЧПУ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черепашков А.А., Носов Н.В. Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении: учебник для студ. высш. учеб. заведений. Волгоград: Ин-фолио, 2009. 650 с.
2. Хрустицкий К.В., Черепашков А.А. Комплексная автоматизация технологической подготовки производства и управления процессами механической обработки корпусных деталей машин // Вест. Самар. гос. аэрокосм. ун-та. 2012. № 5(36). Ч. 1. С. 61 - 71.
3. Адаптивное управление станками [под ред. Б.С. Балакшина]. М.: Машиностроение, 1973. 688 с.
4. Черепашков А.А. Методика оценки эффективности подготовки целевого персонала машиностроительных САПР // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2011. Т. 13. № 4(3). С. 897 - 899.

COMPLEX AUTOMATION OF MACHINE-BUILDING DESIGN AND PRODUCTION AT PROGRAM BASING OF DETAILS ON MACHINES WITH NUMERICAL PROGRAM CONTROL

© 2016 N.V. Nosov, A.A. Cherepashkov, D.S. Goryainov, KV. Hrustitsky

Samara State Technical University

In article problems of automation of design-technology preparation of production of details of irregular shape on machines are discussed with numerical program control. The complex technique of design of preparations of details and the operating programs for machines with ChPU based on use of modern technologies of the automated design and electronic measuring instruments is offered and described.

Keywords: Computer technologies in mechanical engineering, SAPR, ChPU, CAD/CAM/CAI.

Nikolay Nosov, Doctor of Technics, Professor, Head at the Mechanical Engineering Technology Department.

E-mail: tms@samgtu.ru

Andrey Cherepashkov, Doctor of Technics, Associate Professor, Professor at the Mechanical Engineering Technology Department.

Dmitry Goryainov, Candidate of Technics, Associate Professor at the Mechanical Engineering Technology Department..

E-mail: goryainovd@yandex.ru

Kirill Hrustitsky, Graduate Student at the Mechanical Engineering Technology Department.