



eISSN 2311-2468  
Том 1, № 14. 2013  
Vol. 1, no. 14. 2013

электронное периодическое издание  
для студентов и аспирантов

# Огарёв-онлайн

## Ogarev-online

<https://journal.mrsu.ru>



АРКАЕВ Д. А.

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОЦЕНКИ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

**Аннотация.** Шероховатость поверхности является одним из основных факторов, характеризующих качество поверхностного слоя металла, от показателя которого напрямую зависит долговечность использования конкретного изделия или детали. В статье рассматриваются различные методы и средства измерения шероховатости поверхностей, играющие важную роль на машиностроительных предприятиях.

**Ключевые слова:** шероховатость, машиностроение, продукция, измерения, приборы, точность.

ARKAEV D. A.

## METHODS AND MEANS OF SURFACE ROUGHNESS ASSESSMENT

**Abstract.** Surface roughness is one of the main factors characterizing the quality of the metal surface layer. Its index directly affects the durability of a particular product or part. In this connection, the article considers some methods and means of surface roughness measurement, as they are important for machine-building enterprises.

**Keywords:** surface roughness, mechanical engineering, production, measurement, instrumentation, precision.

Машиностроение является важнейшей отраслью промышленности, поскольку его продукция – механизмы, машины и оборудование различного уровня и назначения – используются всеми отраслями экономики страны. На сегодняшний момент первостепенной задачей можно считать проблему, связанную с повышением и технологическим обеспечением точности деталей и механизмов. Точность в машиностроении имеет определяющее значение для повышения эксплуатационных характеристик машин, оборудования и технологии их производства. Вопросы, связанные с точностью, должны решаться с применением комплексного подхода. Так, например, повышение точности механической обработки заготовок снижает трудоемкость сборки готового изделия в результате обеспечения взаимозаменяемости деталей изделия и устранения дополнительных пригоночных работ. Особую роль также имеет значение точности при автоматизации производства. С развитием автоматизации технологических процессов и производств, проблема получения продукции, отвечающей самым высоким требованиям по качеству, становится наиболее актуальной. Ее решение должно основаться на глубоком анализе технологических факторов. На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что установление заданной точности изделий становится ответственной задачей инженера-

конструктора, она должна назначаться на основе анализа условий работы машины с учетом экономических показателей ее изготовления и последующей эксплуатации.

Свойства поверхностного слоя формируются в результате упругопластических деформаций, нагрева, адгезионных и диффузионных процессов, химического взаимодействия с окружающей средой. В процессе обработки поверхностный слой подвергается неоднородной по глубине пластической деформации, которая может сопровождаться структурными изменениями. Происходит дробление зерна на фрагменты и блоки с угловой их разориентацией. У поверхности они измельчаться и вытягиваться в направлении усилия деформирования. В результате пластической деформации металл поверхностного слоя упрочняется. Деформационным упрочнением или наклепом называют увеличение степени пластической деформации и сопротивления деформированию. С точки зрения дислокации теории деформационное упрочнение является результатом возникновения в пластически деформированном металлическом кристалле большого числа дислокаций и вакансий, их взаимодействия и передвижения под влиянием полей напряжений. Основным параметром поверхностного слоя, полученного в результате механической обработки является шероховатость.

При оценке шероховатости поверхностей используют два метода: 1) количественный, 2) качественный. Количественные методы базируются на измерении микронеровностей специальными приборами, а качественные – на сравнении шероховатости обработанной поверхности с образцами.

В производственных условиях часто используется контроль шероховатости путем сравнения с аттестованной деталью или стандартными образцами. Шероховатость поверхности детали сравнивается визуально (через лупу или невооруженным глазом) с поверхностью образца из того же материала и обработанного тем же способом, что и деталь. Метод сравнения обеспечивает надежную оценку шероховатости поверхности в интервале  $R_a=0,63...5$  мкм. Более чистые поверхности ( $R_a =0,08...0,32$  мкм) сравниваются с помощью специальных микроскопов сравнения.

Количественные методы оценки основаны на измерении микронеровностей специальными бесконтактными и контактными приборами.

Наибольшее распространение для бесконтактных измерений шероховатостей получили оптические приборы: теневой проекции, светового сечения и интерференции света.

Наибольшее распространение для определения шероховатости поверхности получили щуповые приборы, работающие по методу ощупывания поверхности алмазной иглой. К этой группе приборов относятся профилографы, записывающие профиль поверхности и профилометры, непосредственно показывающие среднее арифметическое

отклонение профиля  $R_a$ . Алмазные иглы к профилографам и профилометрам имеют коническую форму с очень малым радиусом закругления при вершине.

Отечественной промышленностью выпускаются профилометры-профилографы моделей 201; 202; 280; 171311, а также профилометры моделей 253, 283, 296, 170622, которые позволяют измерять параметр шероховатости  $R_a$  до 0,02...0,04 мкм.

Оценка шероховатости поверхностей деталей имеющие большие габаритные размеры, в труднодоступных местах, когда непосредственное измерение прибором невозможно, применяют метод слепков. К измеряемой поверхности с большой силой прикладывают специально изготовленную массу и оставляют до полного ее застывания. После чего масса отделяется от поверхности, образуется слепок, на поверхности которого зеркально повторяются неровности исследуемой поверхности. По измеренной шероховатости поверхности слепка определяют параметры шероховатости контролируемой поверхности детали. Материалом для изготовления слепков применяют легкоплавкие сплавы, воск, целлулоид, серу, гипс-хромпик, парафин. В большинстве случаев для измерения шероховатости используют бесконтактные методы [1].

Ключевые принципы выбора средств измерения для неровностей поверхности совпадают с основными принципами выбора других размерных параметров в машиностроении: стоимость измерений и ее трудоемкость должна быть как можно ниже, обеспечивающая максимально высокие показатели производительности труда, а точность измерительного инструмента должна превышать заданную точности величины неровностей поверхности.

Применение средств точность измерения которых не соответствующая заданным параметрам, приводит к тому, что часть годной (по параметрам неровностей поверхности) продукции бракуют (ошибка I рода) и вместе с тем брак частично принимают как годную продукцию (ошибка II рода). Излишняя точность измерений, как правило, приводит к значительному повышению трудоёмкости и стоимости контроля качества продукции, а, следовательно, ведёт к её удорожанию и ограничению выпуска.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Овсеенко А. Н., Серебряков В. И., Гаек М. М. Технологическое обеспечение качества изделий машиностроения. – М.: Янус-К, 2003. – 296 с.

**ДОЛГОВ Е. Н.**  
**СОВРЕМЕННЫЕ САПР ТП И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИХ  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ**

**Аннотация.** В статье раскрываются основные направления применения и совершенствования систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП). Рассматривается реализация некоторых отечественных САПР ТП, находящих применение в промышленности.

**Ключевые слова:** САПР ТП, автоматизация, проектирование, базы, изделие.

**DOLGOV E. N.**

**MODERN CAPP SYSTEMS AND MAIN AREAS OF THEIR IMPROVEMENT**

**Abstract.** The article considers the main areas of SAPR systems application and improvement. Particularly, the author studies some Russian SAPR systems applications in modern machine industry.

**Keywords:** SAPR TP, automation, engineering, database, product.

В конце XX века политика предприятий в области систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) серьезно изменилась. Предприятия перестали разрабатывать собственные системы и начали покупать лицензионные САПР ТП необходимой конфигурации и функционального назначения. Число отечественных разработчиков САПР ТП резко сократилось. На рынок стали поступать зарубежные изделия. Однако, если адаптация систем автоматизированного проектирования (САПР) зарубежной разработки к отечественным условиям применения и ее «русификация» проходит достаточно успешно, то аналогичные действия с САПР ТП часто вызывают серьезные затруднения. Прежде всего сказываются различия в нормативных базах. Не совпадают марки используемых материалов, разнятся методики определения их характеристик. Не совпадает общая методология проектирования ТП, подходы к определению режимов обработки, оценки возможных сил резания и т.д. Все это накладывает серьезные ограничения на конкурентоспособность САПР ТП зарубежной разработки на отечественном рынке.

Рыночной «нишой» САПР зарубежного производства на отечественном рынке можно считать САПР ТП и САП.

Рассмотрим реализации некоторых отечественных САПР ТП, находящих применение в промышленности.

КОМПАС-Атопроект. Разработчик-компания АСКОН. Комплекс КОМПАС-Автопроект ориентирован на использование в интегрированных системах

автоматизированной поддержки ЖЦИ на базе CALS-технологий, как средство автоматизации ТПП.

**КОМПАС** Этот проект начиная с версии 9.3 является сервером автоматизации, предоставляющим клиентским приложениям для использования свыше 300 различных методов и сервисных программ.

**T-FLEX** (интегрированный комплекс программ). Разработчик-компания «Топ Системы» включает: САПР К T-FLEXCAD; САП (CAM-систему) T-FLEX ЧПУ; систему автоматизации инженерных расчетов (CAE-систему) T-FLEX/Euler; САПР ТП (CAPP-систему) T-FLEX/ТехноПро; PDM-систему T-FLEXDOCs.

Комплекс ориентирован на использование в качестве основы интегрированной системы автоматизированной поддержки и управления ЖЦИ и реализуется на персональных компьютерах стандартных конфигураций с операционной системой Windows.

**Technologi CS.** Разработчик-компания Consistent Softwar. Комплекс объединяющий программные продукты MechaniCS и TechnologiCS, может рассматриваться как интегрированная САПР, формирующая единую систему технической подготовки производства и общую базу конструкторско-технологической информации.

**ТехноПро** (комплекс технологического проектирования и подготовки производства). Разработчик-корпорация «Вектор-Альянс».

Комплекс ориентирован на использование в качестве технологического ядра системы автоматизированной поддержки ЖЦИ на базе CALS-технологий.

**ADEM** (интегрированная CAPP/CAD/CAM система). Российский разработчик-компания OmegaADEMTechnologiesLtd.

**EdgeCAM.** Разработчик-ЗАО «Русская Промышленная компания». Предназначена для автоматизации подготовки управляющих программ токарных, фрезерных, электроэрозионных и других станков с ЧПУ. Реализуется на АРМ технолога-программиста с поддержкой 3D моделей деталей.

**ГeММа-3D** (система геометрического моделирования и программирования для станков с ЧПУ). Разработчик-НТЦ ГeММа.

Система реализует функции обработки поверхностей по различным стратегиям, что важно для изготовления деталей по моделям, импортированных из других систем.

ГeММа-3D работает в едином технологическом комплексе с системой КОМПАС 3D.

Объективный ход развития техники, технологии и средств автоматизации делает решение поставленных проблем автоматизации проектирования исключительно актуальным, что и определяет основные направления совершенствования САПР ТП.

Несмотря на большой выбор систем САПР ТП представленных на рынке они все равно нуждаются в значительной доработке и совершенствованию в первую очередь, связанной с повышением уровня автоматизации. Можно выделить следующие направления совершенствования перечисленных САПР ТП [1]:

1) Совершенствование процесса формирования технологических решений. Проектное технологическое решение-это описание технологических объектов и их взаимодействий, обеспечивающих достижение заданного множества результатов и их значений, соответствующих фиксированному множеству условий функционирования технологического объекта.

2) Автоматизация выбора технологических баз. Выбор технологических баз- важнейший этап проектирования ТП. В современных САПР ТП он практически не автоматизирован-принятие необходимого решения полностью возлагается на пользователя.

3) Прогнозирование качества изделия. Основной целью проектирования ТП является гарантированное при его реализации достижение заданного качества изделия. Ни одна из существующих САПР ТП не обладает возможностью прогнозирования ожидаемого качества изделия при реализации проектных решений, сформированных с ее помощью. Прогнозирование качества не выполняют и при не автоматизированном проектирование ТП.

4) Направленное формирование свойств изделий. Автоматизация синтеза структур маршрутных ТП, например, изготовления деталей машин позволит полноценно реализовать концепцию направленного формирования свойств изделий.

5) Интеграция САПР ТП в системы поддержки и управления ЖЦИ. Проблема объединения автоматизированных систем, обеспечивающих поддержку отдельных этапов ЖЦИ, в интегрированную систему поддержки и управления ЖЦИ исключительно актуальна. Основным инструментом ее реализации являются CALS-технологии.

6) Внедрение новых методологий проектирования. Необходимость обеспечения высокого качества конструкторско-технологического проектирования сложных изделий при сокращении времени проектирования привела к разработке новых методологий проектирования.

На основании проведенного обзора можно сделать вывод, что системы автоматизации проектирования, представленные на рынке имеют ряд недостатков, основным из которых является недостаточный уровень автоматизации. Производителям САПР продуктов необходимо стремиться к создания систем высокого уровня, включающих в себя одновременно весь комплекс программ автоматизированного проектирования (CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM/PLM) обеспечивающих полный жизненный цикл детали.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кандаков А. И. САПР Технологических процессов: учебник для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 272 с.

ГРИГОРЬЕВА О. В.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ВЕРТИКАЛЬНО-СВЕРЛИЛЬНОГО СТАНКА**

**МОДЕЛИ 2А125 СРЕДСТВАМИ SOLID WORKS/SIMULATION**

**Аннотация.** В статье рассматривается важное направление развития отечественного станкостроения, опирающегося на применении метода физического моделирования. С помощью модуля физического моделирования была визуализирована 3D-кинематическая схема станка. Даны расчетные модели конструкции, произведен статический и частотный анализ, получена визуализированная 3D-кинематическая схема станка.

**Ключевые слова:** моделирование, SolidWorks, визуализация, сборка, вертикально-сверлильный станок, анализ напряженно-деформированного состояния.

GRIGORIEVA O. V.

**SIMULATION AND ANALYSIS OF VERTICAL DRILLING MACHINE MODEL 2A125**

**BY MEANS OF SOLID WORKS/SIMULATION**

**Abstract.** The article considers one of the critical development directions of modern machine tool industry. The latter has onerous accuracy requirements for machining. In this connection, the author applies a physical modeling module in order to visualize 3D-kinematic scheme of the machine. Particularly, the study includes a simulation model of the machine as well as its static and frequency analysis. Consequently, the author presents a visualized 3D-kinematic scheme of the machine.

**Keywords:** simulation, SolidWorks, visualization, assembling, vertical drilling machine, stress-strain state analysis.

Значительное развитие в последнее время методов расчета точности станков, а также математического моделирования напряженно-деформированного состояния, прежде всего, методом конечных элементов, дает возможность разработки и внедрения новых, более точных и эффективных методик расчета и оптимизации корпусных деталей станков.

SolidWorks 2010 предоставляет расширенные функциональные возможности программного обеспечения в следующих областях: Simulation/Motion, Simulation.

Приложение Simulation/Motion полностью интегрировано с SolidWorks Office Premium, поэтому для запуска анализа непосредственно в Simulation/Motion с целью определения сил реакции используются геометрия сборки, сопряжения и драйверы из физического моделирования.

С помощью модуля физического моделирования была визуализирована 3D кинематическая схема станка (рисунок 1). В данном модуле возможно моделирование взаимодействия между парами прямозубых зубчатых колес или конических зубчатых колес, а также можно рассчитать контактные усилия на зубьях редуктора с помощью функции соединений редуктора. Это соединение использует меньше ресурсов и времени, чем функция трехмерного моделирования контактных усилий.

Для сравнения и визуализации различных вариантов проекта создается несколько упражнений. При создании сопряжений в SolidWorks указываются грани с рабочей нагрузкой для использования при анализе Simulation/Motion. Программа Simulation/Motion использует эти данные по граням с рабочей нагрузкой для точной передачи данных нагрузки движения.

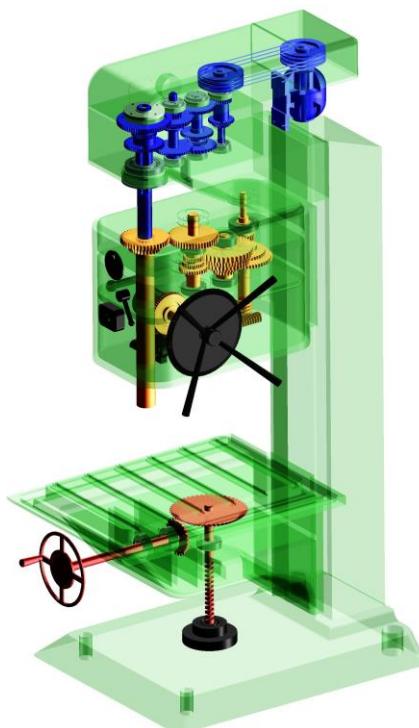
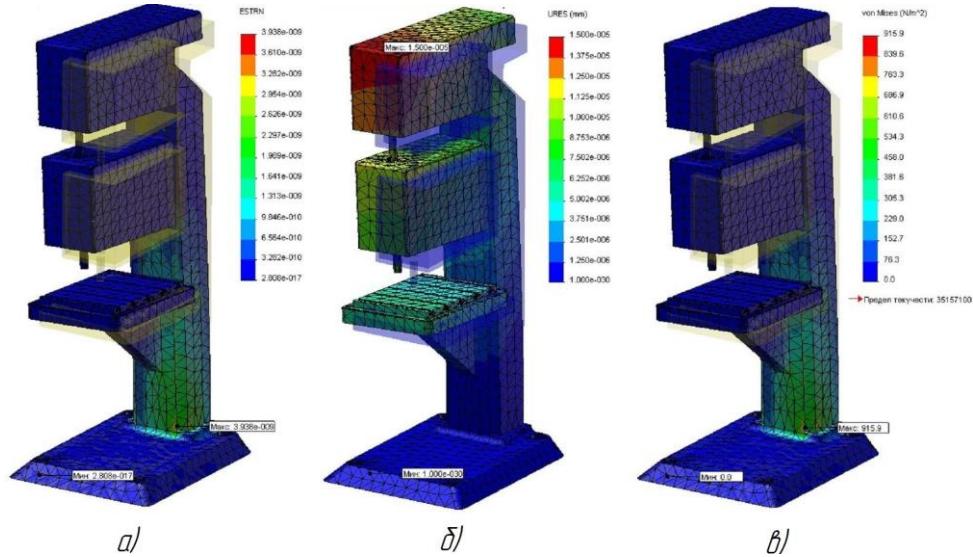


Рис. 1. 3D кинематическая схема станка

Модуль Simulation позволяет использовать адаптивный анализ сборок. В этом модуле создаются эпюры максимальных или минимальных результирующих значений в заданном месте модели по нескольким наборам результатов для промежуточного термического анализа, анализа испытания на ударную нагрузку и нелинейного анализа. Выполняется зондирование эпюры оболочки для определения значения вывода и значения временного интервала.

Анимация результатов в направленном только вперед, циклическом или возвратном массиве. Файлы. avi сохраняются в этой новой последовательности. Кроме того, SolidWorks Animator используется для поворота, разнесения или свертывания сборок с результатами

анализа. В модуле *Simulation* был произведен анализ напряженно-деформированного состояния конструкции станка и его узлов. Результатами анализа конструкции являются эпюры (рисунок 2).



а) эпюра контактных напряжений; б) эпюра статических перемещений; в) эпюра деформаций  
Рис. 2. Результаты анализа напряженно-деформированного состояния конструкции станка

В результате проведенной работы средствами *SolidWorks* были смоделированы базовые детали несущей системы, узлы станка, смоделированы расчетные модели конструкции, произведен статический и частотный анализ, получена визуализированная 3D – кинематическая схема станка.

Расчет произведен в программе *Simulation* которая использует геометрическую модель детали или сборки *SolidWorks* для формирования расчетной модели. Интеграция с *SolidWorks* дала возможность минимизировать операции, связанные со специфическими особенностями конечно-элементной аппроксимации. Назначение граничных условий производилось в привязке к геометрической модели.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алямовский А. А., Собачкин А. А., Одинцов Е. В. и др. *SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике.* – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.
2. Алямовский А. А. *SolidWorks / COSMOSWorks Инженерный анализ методом конечных элементов.* – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 с.
3. Прохоренко В. П. *SolidWorks. Практическое руководство.* – М.: ООО «Бином-Пресс», 2004. – 448 с.

ИСТРАШКИНА В. В.

## ВЛИЯНИЕ СМАЗЫВАЮЩИХ И ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

**Аннотация.** Высокоскоростные режимы обработки заготовок оказывает большое влияние на остаточные напряжения готовых деталей и, следовательно, на качество и долговечность получаемой продукции. Для уменьшения напряжений при различных видах обработки одним из наиболее эффективных инструментов является подача смазывающей жидкости на рабочую область обработки.

**Ключевые слова:** шлифование, обработка, сталь, оборудование, деформации, напряжения, сплавы, качество.

ISTRASHKINA V. V.

## THE EFFECTS OF LUBRICATE AND COOL TECHNOLOGICAL TOOLS ON GRINDING STRESS

**Abstract.** High-speed machining mode has a great influence on the residual stress of finished parts, and hence on the quality and durability of the products. In this connection, one of the most effective tools to reduce stress of the finished parts is to supply lubricant to the part working area in the process of machining.

**Keywords:** grinding, machining, steel, equipment, deformation, stress, alloys, quality.

Процесс шлифования металлов представляет собой сложный комплекс взаимосвязанных явлений: механических, физико-механических, которые предопределяют основные показатели: режущую способность и стойкость инструмента, шероховатость обработанной поверхности, точность геометрических параметров заготовки.

Реальный резерв повышения качества абразивной обработки – применение оптимального состава смазывающих и охлаждающих технологических средств (СOTC). Многочисленные исследования в области совершенствования составов СOTC для операций шлифования позволили создать высокоэффективные технологические жидкости, обеспечивающие высокие производительность и качество обработки [2].

Современные СOTC- это неотъемлемая часть всего комплекса средств, обеспечивающего эффективную эксплуатацию металлорежущего оборудования. Поскольку в практике металлообработки условия резания различаются значительно, то соответственно применяется и большое число СOTC, искусственно вводимых в зону резания. Естественно, что такие вопросы, как назначение, классификация и физико-химические основы действия СOTC, требуют особого внимания [3].

Наиболее важными требованиями к СОТС являются требования обеспечивать увеличение стойкости режущего инструмента и повышать качество обрабатываемой поверхности при соблюдении заданной точности обработанной поверхности. Выполнение этих требований приводит в конечном счете к снижению стоимости металлообработки вследствие уменьшения затрат на режущий инструмент, сокращению брака и простоев станков, связанных с заменой затупившегося инструмента. В зависимости от условий обработки СОТС должны обеспечивать смазывающее, охлаждающее, диспергирующее или моющее действие. Однако в большинстве случаев от СОТС требуется обеспечить одновременно несколько действий в различной степени. Поэтому при создании или выборе СОТС необходимо знать, какое действие в данных условиях резания должна обеспечивать жидкость.

СОТС оказывают большое влияние на начальные и остаточные напряжения, образующиеся при шлифовании. Так, при шлифовании стали 20Х13 наименьшие начальные напряжения получены при использовании 2%-ного содового раствора, который обладает хорошими охлаждающими свойствами. Применение жидкостей, у которых превалируют смазывающие свойства, дает меньший эффект и требует частой правки круга. Это вполне объяснимо, если учесть, что начальные напряжения при шлифовании имеют преимущественно тепловое происхождение. Подобные же результаты получены при шлифовании сталей 14Х17Н2, 15Х11МФ, ЭП410УШ [1].

Значительно более сложная картина влияния СОТС на начальные и остаточные напряжения наблюдается при шлифовании титановых сплавов, чистые поверхности которых обладают высокой химической активностью и могут взаимодействовать как с окружающей средой, так и с материалом инструмента. В этом случае начальные напряжения образуются не только в результате пластических, термопластических деформаций, структурных и фазовых превращений, но также под воздействием химических процессов, происходящих в ПС. Поэтому влияние СОТС на начальные напряжения, образующиеся при шлифовании титановых сплавов, было подвергнуто более тщательному исследованию.

Применение СОТС при шлифовании титановых сплавов кругами из карбида кремния способствует росту начальных напряжений растяжения в тонком ПС, а при шлифовании электрокорундовым кругом - их снижению по сравнению с напряжениями, возникающими при шлифовании без охлаждения. Процесс шлифования электрокорундовым кругом проходит с весьма значительным износом, который почти в два раза превышает износ карбидкремниего круга. Массовое выпадение изношенных зерен из связки в ходе шлифования в этом случае обуславливает малую теплонапряженность процесса, что приводит к формированию в ПС небольших начальных напряжений растяжения. Исполь-

зование СOTC способствовало еще большему снижению начальных напряжений по сравнению со шлифованием без СOTC.

При шлифовании титановых сплавов карбидкремниевыми кругами среди исследованных СOTC охлаждение жидким СО<sub>2</sub> способствует наибольшему росту начальных напряжений в ПС. Характер подачи жидкой углекислоты в зону резания оказывает влияние в основном на изменение глубины распространения начальных напряжений. Так, подача жидкого СО<sub>2</sub> на круг, а не в зону резания, вызывает рост глубины залегания начальных напряжений растяжения.

Смазка карбидкремниевых кругов дисульфидом молибдена и графитом снижает режущую способность абразивных зерен, увеличивает роль процессов трения при шлифовании и формировании ПС, вызывает повышение средне контактной температуры в зоне резания. В случае подачи жидкого СО<sub>2</sub> в зону шлифования происходит охлаждение обрабатываемой поверхности до минусовых температур. При этом мгновенные и средне контактные температуры снижаются мало. Таким образом, главной причиной увеличения начальных напряжений при шлифовании титановых сплавов карбидкремниевыми кругами с использованием дисульфида молибдена, графита и жидкого СО<sub>2</sub> являются более высокие температурные градиенты и термопластические деформации в ПС по сравнению со шлифованием без СOTC.

Таким образом, СOTC в значительной мере определяют экономичность и надежность работы разнообразной металлообрабатывающей техники, а именно: увеличивают стойкость режущего инструмента, улучшают качество изделий, снижают силы резания и потребную мощность.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Овсеенко А. Н., Серебряков В. И., Гаек М. М. Технологическое обеспечение качества изделий машиностроения: учебное пособие. – М.: «Янус-К», 2004. – 296 с.
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mirsmaZok.ru>
3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sciencejournal.sstu.ru>

КШНЯКИН Д. И.

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАШИН**

**Аннотация.** Для максимального снижения издержек современное машиностроительное производство предъявляет к инженеру-технологу требования ускоренной разработки технологического процесса. Для реализации данной задачи на предприятиях применяют различные способы автоматизации, рассмотренные в данной статье.

**Ключевые слова:** автоматизация производства, технологический процесс, машиностроение, САПР, проектирование.

**KSHNYAKIN D. I.**

**CURRENT STATE OF AUTOMATION DESIGNING  
OF MACHINE BUILDING WORKFLOW**

**Abstract.** In order to reduce the production costs the modern machine building industry demands the engineer-technologist to accelerate the workflow development process. In this connection, the article considers different ways of automation adopted by machine building enterprises.

**Keywords:** manufacturing automation, workflow, machine building, CAD, designing.

Машиностроение, поставляющее новую технику всем отраслям народного хозяйства, определяет технический процесс всей страны и оказывает решающее влияние на создание материальной базы для общества.

Основной задачей совершенствования машиностроительного производства в условиях конкурентоспособности новой техники и технологии является повышение эффективности изготовления машиностроительной продукции.

В решении этой задачи значительное место отводится технологии машиностроения. Эта наука непосредственно связана с разработкой и внедрением новых прогрессивных технологических заготовок деталей машин, их обработки, сборки машин и механизмов.

Технология машиностроения как наука прошла в своем развитии через несколько этапов. Отличительной чертой современного этапа является использование достижений фундаментальной и общеинженерных наук для решения теоретических проблем и практических задач. Распространяется применение вычислительной техники при проектировании технологических процессов и математическое моделирование процессов механической обработки. Осуществляется автоматизация программирования обработки на широко распространяющихся станках с ЧПУ.

Системы автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления изделий машиностроения способствуют выполнению важнейшей функции при поддержке решений, принимаемых и реализующихся в ЖЦИ. Эти системы должны обеспечивать:

- проектирование ТП изготовления деталей;
- подготовку управляющих программ для станков с ЧПУ;
- проектирование ТП сборки изделий;

Основная идея,ложенная в основу автоматизации проектирования ТП, может быть сформулирована следующим образом: при заданной (и введённой в автоматизированную систему) информации о конструктивно -технологических параметрах предмета производства (детали, сборочной единицы, изделия), данных о производственных условиях и ресурсов, объеме выпуска изделий и т.д., система должна обеспечить проектирование и выдачу в заданных форматах ТП, пригодного для реализации в заданных производственных условиях, при минимальном приложении интеллекта специалиста. Качество полученного проектного решения должно быть не ниже, чем при его формировании специалистом соответствующей квалификации.

Изготовление конкретного изделия всегда осуществляется по единичному ТП. Поэтому, спроектированный с помощью рассматриваемой системы процесс чаще всего должен быть единичным. Проектирование единичного процесса может осуществляться либо только на основе описания конструктивно-технологических параметров предмета производства (индивидуальное проектирование), либо на основе ТП-аналогов (типовых и групповых). В соответствии с этим, различают САПР ТП, обеспечивающие автоматизированный синтез структур единичных процессов и САПР ТП, использующие ТП-аналоги.

Особенно актуально создание синтезирующих САПР единичных ТП изготовления деталей для производственных систем многономенклатурного (единичного и среднесерийного) производства. В мировом машиностроении около 85% всех предприятий являются предприятиями именно с единичным и среднесерийным производством, причем доля этих предприятий постоянно увеличивается.

Любая производственная система обладает ограниченными технологическими возможностями и ресурсами. Автоматизация синтеза единичных ТП позволяет в максимальной степени учесть имеющиеся производственные ресурсы и наиболее эффективно использовать их. Синтезирующие САПР единичных ТП должны:

- удовлетворять основным принципам построения систем автоматизации ТП;

- обеспечивать формирование единичных ТП (включая маршрутную и операционную технологию) изготовления деталей, независимо от класса последних, а лишь на основании их конструктивно-технологических характеристик, требований к качеству, данных об условиях изготовления и использующихся при этом ресурсах;
- обеспечивать выдачу результатов проектирования в форматах, указываемых пользователем и соответствующих требованиям ЕСТПП.

В основу создания САПР ТП изначально были положены идеи формализации процедур проектирования и в целом, копирования действий человека-технолога-проектировщика ТП. Трудно неформализуемые этапы проектирования предполагалось выполнять в режиме диалога проектировщика с системой.

При создании синтезирующих САПР единичных ТП принцип копирования действий человека-проектировщика несостоителен вследствие ряда причин [1]:

– особенности мыслительной деятельности человека (зрительное распознавание и восприятие геометрических образов, ассоциативно мышление, умение мыслить по аналогии и т.д.) в настоящее время исследованы недостаточно. Формализуется, как правило, лишь малая часть внешних(результативных) проявлений этой деятельности. Оставшаяся часть, определяющая основное содержание указанной деятельности человека, находится вне возможностей современной формализации, что, естественно, резко обедняет возможности создаваемых систем;

– современные информационные технологии дают ряд возможностей и преимуществ, которыми не обладает человек: возможность практически мгновенного перебора и селекции огромного числа вариантов решений, методы обработки нечисловой информации (ассоциативный выбор в базах данных, обработка списков и т.д.). Это позволяет организовать процедуры, не выполняющиеся человеком при неавтоматизированном проектировании ТП, но способствующие при автоматизации проектирования достижению его целей.

Проектирование единичного ТП изготовления конкретной детали на основе аналогов выполняют по следующей схеме [2,3]:

- проводят поиск ТП – аналога (обычно это типовой, реже - групповой ТП);
- выполняют корректировку ТП-аналога на основе сравнения конструкции и технологических параметров типовой и конкретной деталей, т.е. включают в базовый ТП-аналог дополнительные технологические операции или, наоборот, исключают ненужные.

В результате получают единичный ТП изготовления конкретной детали. Принципиальным отличием такого проектирования от индивидуального является замена процедуры создания (синтеза) структуры процесса поиском аналога и его корректировкой.

Качество спроектированного ТП в последнем случае определяется качеством поиска аналога и его корректировки. В таблице 1 показана доля общей трудоемкости проектирования ТП на разных ее этапах.

Таблица 1

Доля общей трудоемкости проектирования ТП на разных этапах проектирования.

Этап проектирования	Доля в общей трудоемкости проектирования ТП, %	Доля трудоемкости работ, выполняющихся в автоматизированном режиме, от трудоемкости работ этапа, %
Разработка технологии: маршрутной операционной	25...45	Близка к 0
	50...60	35...45
Техническое нормирование	5...10	100

Автоматические станочные линии и системы машин получили наибольшее распространение в крупносерийном и массовом производстве.

Современное массовое и крупносерийное производство характеризуется постоянным увеличением выпуска продукции, повышенными требованиями к ее качеству, все более частой сменяемостью конструкций машин и приборов, высокими требованиями к экономической эффективности производства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кондаков А. И. САПР технологических процессов. – М.: Академия, 2007. – 272 с.
2. Соломенцев Ю. Н., Митрофанов В. Г., Прохоров А. Ф. и др. Автоматизированное проектирование и производство в машиностроении / под ред. Ю. М. Соломенцева, В. Г. Митрофанова. – М.: Машиностроения, 1983. – 284 с.
3. Кузьмин В. В., Шурыгин Ю. А. Автоматизированное выявление сборочных размерных цепей // Автоматизация и современные технологии. – 1995. – №3. – С.31–34.

**КУЗЬМИЧЕВ Н. Д., ЧУГУНОВ М. В., ШИТОВ А. Ю.**  
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО МАГНИТНОГО**  
**ОТКЛИКА ЖЕСТКОГО СВЕРХПРОВОДНИКА В ВИДЕ ТОНКОГО ДИСКА**  
**С МАГНИТНО-ПОЛЕВОЙ ЗАВИСИМОСТЬЮ КРИТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ**  
**ТОКА**

**Аннотация.** Выполнено математическое моделирование гармоник намагнченности жесткого сверхпроводника второго рода в виде тонкого диска в приближении экранировки поля в центре образца для модели критического состояния с  $J_c \sim \gamma/H^2$ . Рассчитаны гистерезисные кривые намагнченности и ряд зависимостей действительной и мнимой частей первой, третьей и пятой гармоник намагнченности от величины напряженностей переменного и постоянного магнитных полей. Выявлено значительное влияние амплитуды переменного магнитного поля на зависимости амплитуд гармоник намагнченности.

**Ключевые слова:** жесткий сверхпроводник II рода, критическое состояние, тонкий диск, критическая плотность тока, петля гистерезиса намагнченности, гармоники намагнченности.

**KUZMICHEV N. D., CHUGUNOV M. V., SHITOV A. YU.**  
**MATHEMATICAL MODELING OF NON-LINEAR MAGNETIC RESPONSE OF**  
**RIGID THIN DISK SUPERCONDUCTOR WITH MAGNETIC FIELD DEPENDENCE**  
**ON CRITICAL CURRENT DENSITY**

**Abstract.** The study presents a mathematical model of magnetization harmonics for hard II-type thin disk superconductors. According to the critical state model with  $J_c \sim \gamma/H^2$  in approximation of magnetic field screening in the disk center, the authors have calculated hysteretic magnetization curves and the dependence of real and imaginary components of the first, third and fifth magnetization harmonics on voltage value of variable and static magnetic fields. Variable magnetic field amplitude has a considerable effect on magnetization harmonics amplitudes.

**Keywords:** II-type hard superconductor, critical state, thin disk, critical current density, hysteretic loop of magnetization, magnetization harmonics.

В настоящей работе рассмотрен процесс проникновения магнитного поля в диск жесткого сверхпроводника II рода в приближение полной экранировки внешнего магнитного поля в центре образца. Использовалась следующая зависимость критической плотности тока от магнитного поля:  $J_c(H) = \gamma/H^2$ . Это выражение приближенно описывает

ситуацию при высокой плотности проникших в образец вихрей и для керамических сверхпроводников [1]. В этом случае уравнение критического состояния для очень тонкого диска радиуса  $R$  и полутолщины  $b$  ( $R \gg b$ ) [2] в аксиальном внешнем поле имеет вид:

$$\frac{dH}{dr} = \pm \frac{\gamma b}{H^2 r}. \quad (1)$$

Здесь  $r$  есть текущий радиус цилиндра,  $H(r)$  представляет собой осевую составляющую напряженности магнитного поля. Знак правой части уравнения (1) определяется знаком производной по времени от внешнего поля, т.е. знаком  $dH/dt$ . Вышеуказанная зависимость  $J_c(H)$  рядом авторов использовалась для описания критического состояния гранулярных поликристаллических высокотемпературных сверхпроводников [1].

Уравнение (1) решается с граничным условием  $H(R) = H_e$ . Где  $H_e$  – напряженность внешнего магнитного поля. Знак (+) в уравнении (1) соответствует растущему во времени магнитному полю, а знак (-) убывающему полю. Решение (1) для растущего поля имеет вид:

$$H(r) = \left[ H_e^3 - 3\gamma b \cdot \ln\left(\frac{R}{r}\right) \right]^{\frac{1}{3}}, \quad (2)$$

а для убывающего решение уравнения (1) есть:

$$H(r) = \left[ H_e^3 + 3\gamma b \cdot \ln\left(\frac{R}{r}\right) \right]^{\frac{1}{3}}. \quad (3)$$

Намагниченность  $M(H_e)$  сверхпроводника в виде тонкого диска вычислялась согласно формуле используемой для определения магнитного момента системы токов [3] учитывая, что экранирующий ток в силу цилиндрической симметрии является азимутальным:

$$M(H_e) = \frac{I}{2V} \int_{\rho}^R \left[ \mathbf{r}, \mathbf{J}_c \right] dV. \quad (4)$$

Здесь  $V$  – объем сверхпроводника,  $\rho$  - радиус внутренней части цилиндра, куда поле не проникло.

Начальная кривая намагниченности для возрастающего внешнего поля от 0 до  $H_e$  следуя (4) вычисляется по формуле:

$$M_{in}(H_e) = -\frac{I}{R^2} \int_{\rho(H_e)}^R J_c(H) r^2 dr = -M_0 \cdot \exp\left(-\frac{H_e^3}{\gamma b}\right) \int_0^{(H_e^3/3\gamma b)} \frac{e^{3z}}{z^{\frac{2}{3}}} dz \quad (5).$$

Здесь  $M_0 = \left( \frac{\gamma R^3}{9b^2} \right)^{1/3}$ . Интеграл в выражении (6) не выражается через элементарные функции.

В переменном магнитном поле ( $H_e(t) = H_0 + h \cdot \cos(\omega t)$ ) сверхпроводник разбивается на области с противоположно текущими экранирующими сверхтоками (рис.1). Это приводит к гистерезису в намагничивании жесткого сверхпроводника. Уравнения кривых, которые определяют петлю гистерезиса намагниченности, будут выражаться следующими интегралами:

$$\begin{cases} M_+(H_0, h) = -\frac{I}{R^2} \left[ \int_{\rho}^{\lambda} J_c(H) r^2 dr - \int_{\lambda}^{\zeta} J_c(H) r^2 dr + \int_{\zeta}^R J_c(H) r^2 dr \right] \\ M_-(H_0, h) = -\frac{I}{R^2} \left[ \int_{\rho}^{\xi} J_c(H) r^2 dr - \int_{\xi}^R J_c(H) r^2 dr \right] \end{cases} \quad (6),$$

где  $M_+(H_0, h)$  – ветвь петли в возрастающем поле, а  $M_-(H_0, h)$  – ветвь петли для убывающего внешнего магнитного поля. Здесь  $\rho$  – радиус центральной части диска, куда возрастающее поле до величины  $H_0 + h$  еще не проникло,  $\lambda$  – внутренний радиус кольцевого слоя диска с противоположно текущим экранирующим сверхтоком в убывающем поле до значения  $H_0 - h$  и  $\zeta$  – внешний радиус этого же кольцевого слоя диска. Величина  $\xi$  является внутренним радиусом кольцевого слоя в убывающем поле от значения  $H_0 + h$  до текущего значения  $H(t)$  (см. рис. 1).

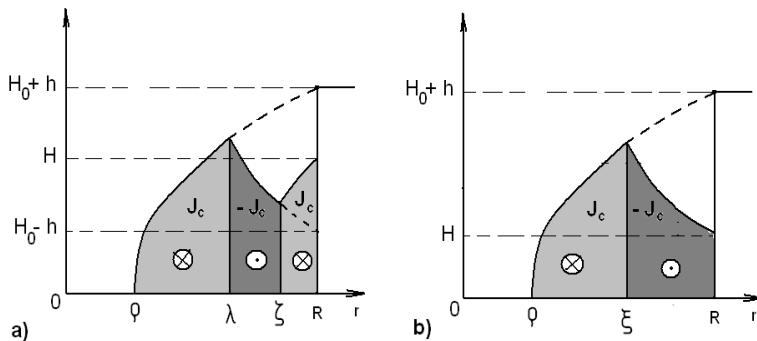


Рис.1. Разбиение сверхпроводника в постоянном и переменном аксиальных магнитных полях на области с противоположно текущими сверхтоками:

а) Возрастающее поле проникло на глубину  $R-\rho$ , убывающее – на глубину  $R-\lambda$  и снова возрастающее на  $R-\zeta$  (ветвь петли гистерезиса в растущем поле –  $M_+$ ).

б) Возрастающее поле проникло на глубину  $R-\rho$ , убывающее – на глубину  $R-\xi$  (ветвь петли гистерезиса в убывающем поле –  $M_-$ ).

Аналитический расчет для  $M_-$  и  $M_+$  приводит следующим выражениям:

$$M_-(H_0, h, H_e) = -M_0 \cdot \left\{ \begin{array}{l} \exp\left(-\frac{(H_0 + h)^3}{\gamma b}\right) \cdot \int_0^{[H_0 + h]^3 + H_e^3]^{1/3}} \frac{e^{3z} dz}{z^{2/3}} + \\ + \exp\left(\frac{H_e^3}{\gamma b}\right) \cdot \int_{[H_0 + h]^3 + H_e^3]^{1/3}}^{H_e^3/\gamma b} \frac{e^{-3z} dz}{z^{2/3}} \end{array} \right\} \quad (7)$$

$$M_+(H_0, h, H_e) = -M_0 \cdot \left\{ \begin{aligned} & \exp\left(-\frac{(H_0+h)^3}{\gamma b}\right) \cdot \int_0^{\left[(H_0+h)^3 + (H_0-h)^3\right]/6\gamma b} \frac{e^{3z}}{z^{2/3}} dz + \\ & + \exp\left(\frac{(H_0-h)^3}{\gamma b}\right) \cdot \int_{\left[(H_0+h)^3 + (H_0-h)^3\right]/6\gamma b}^{\left[H_e^3 + (H_0-h)^3\right]/6\gamma b} \frac{e^{-3z}}{z^{2/3}} dz + \\ & + \exp\left(-\frac{H_e^3}{\gamma b}\right) \cdot \int_{\left[(H_0-h)^3 + H_e^3\right]/6\gamma b}^{H_e^3/3\gamma b} \frac{e^{-3z}}{z^{2/3}} dz \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

На практике важны гармоники намагнченности, так как экспериментально их достаточно легко измерить. В работе [4] показано, что вклад в синфазные (действительные) части гармоник дает средняя кривая намагнченности  $\bar{M}(H_0, h, H_e)$ , а в квадратурные (мнимые) составляющие вклад дает разностная кривая намагнченности  $\Delta M(H_0, h, H_e)$ .

На рисунке 2 приведены расчеты амплитуд 1 гармоники намагнченности в зависимости от величины амплитуды  $h$  напряженности внешнего переменного магнитного поля. Из рисунка видно, что гармоники имеют максимумы, положения которых зависят от номера гармоники. С ростом  $n$  максимум смещается в сторону роста  $h$ . Максимумы обусловлены конкуренцией двух механизмов – увеличением объема сверхпроводника занятого сверхтоком и подавлением величины  $J_c$  с ростом поля.

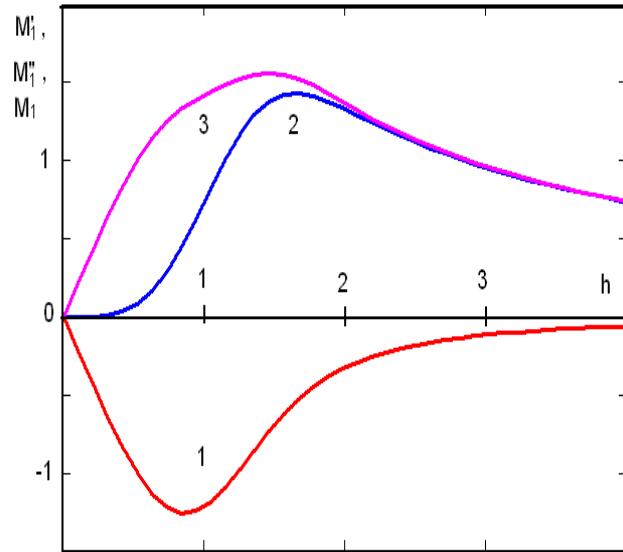


Рис. 2. Амплитуды действительной  $M_1'$  - 1, мнимой  $M_1''$  - 2 частей и модуля  $M_1$  - 3 первой гармоники намагнченности в зависимости от амплитуды  $h$  переменного магнитного поля. Магнитное поле выражено в единицах  $H_p = (\gamma b)^{1/3}$ , амплитуды гармоник намагнченности в единицах  $M_0$  (6).

Учитывая данные рисунка 2 (кривая 2), получим, что максимум потерь на перемагничивание сверхпроводника приходится на величину  $h_m \approx 1.7H_p$ . Величина равна  $H_p = (\gamma b)^{1/3}$ .

На рисунках 3 – 5 представлены расчеты амплитуд 1 и 3 гармоник намагнченности в зависимости от величины напряженности внешнего постоянного магнитного поля  $H_0$  при 2-х значения амплитуды модуляции  $h = 0.25H_p$  и  $H_p$ . Для  $h = 0.25H_p$  из рис. 3 видно, что потери с ростом возрастают и достигают максимума при  $H_0 \approx 2 H_p$ . При  $h = H_p$  и  $H_0 = 0$  потери максимальны. Третья гармоника намагнченности имеет сложную зависимость с переменой знака, как в действительной части, так и в мнимой части для  $h = H_p$  (рис. 5). Пятая гармоника имеет еще более сложную зависимость с большим числом максимумов и минимумов.

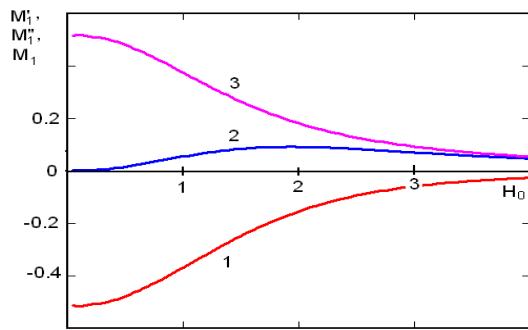


Рис. 3. Зависимости действительной  $M'_1$  - 1, мнимой  $M''_1$  - 2 частей и модуля  $M_1$  - 3 первой гармоники намагнченности от постоянного поля  $H_0$  для  $h = 0.25H_p$ .

Напряженность магнитного поля выражена в единицах  $H_p = (\gamma b)^{1/3}$ , а амплитуды гармоник намагнченности в единицах  $M_0$  (6).

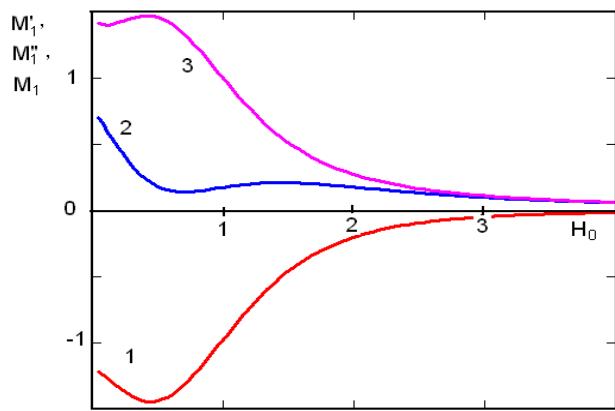


Рис. 4. Зависимости действительной  $M'_1$  - 1, мнимой  $M''_1$  - 2 частей и модуля  $M_1$  - 3 первой гармоники намагнченности от постоянного поля  $H_0$  для  $h = H_p$ . Напряженность магнитного поля выражена в единицах  $H_p = (\gamma b)^{1/3}$ , а амплитуды гармоник намагнченности в единицах  $M_0$  (6).

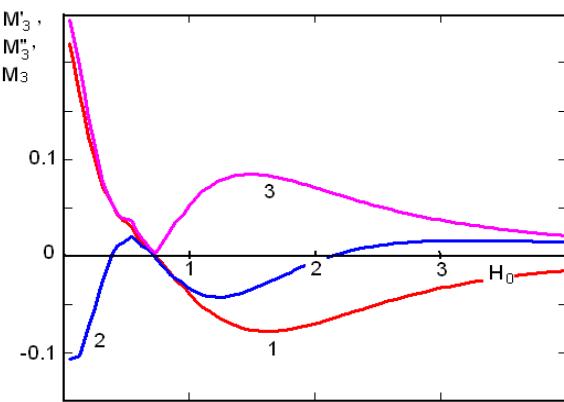


Рис. 5. Амплитуды действительной  $M_3'$  - 1, мнимой  $M_3''$  - 2 частей и модуля  $M_3$  - 3 первой гармоники намагниченности в зависимости от постоянного магнитного поля  $H_0$  для  $h = H_p$ . Магнитное поле выражено в единицах  $H_p = (\gamma b)^{1/3}$ , амплитуды гармоник намагниченности в единицах  $M_0$ .

Жесткие сверхпроводники важны для практических приложений, например, в электротехнике, радиотехнике и других областях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Lam Q. H., Kim Y. and Jeffries C. D. Nonlinear electrodynamics in granular  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ : Measurements and models of complex permeability // Phys. Rev. B. – 1990. – V.42. – pp. 4846–4849.
2. Кузьмичев Н. Д., Федченко А. А. Математическое моделирование нелинейного отклика короткого цилиндра из жесткого сверхпроводника// ИзвУЗ. Поволжский регион. – 2011. – №3 (19) – С. 110–119.
3. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. – М.: Наука, 1982. – 620 с.
4. Кузьмичев Н. Д. Гистерезисная намагниченность и генерация гармоник магнитными материалами: Анализ спектра гармоник намагниченности на примере высокотемпературных сверхпроводников // ЖТФ. – 1994. – Т. 64. – Вып. 12. – С. 63–74.

ОСЫКА В. В.

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ  
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

**Аннотация.** В статье рассматривается возможность использования метода конечных элементов для решения задач конструирования. Подчеркивается, что важным этапом при решении задачи анализа конструкции в SolidWorks Simulation является создание конечноэлементной сетки, рассматриваются различные варианты сеток. Использование данных методов позволяет сократить время анализа и требуемые вычислительные ресурсы, кроме того избежать различных ошибок в решениях.

**Ключевые слова:** моделирование, SolidWorks, SolidWorksSimulation, метод конечных элементов, КЭ сетка, рама.

OSYKA V. V.

**EFFECTIVENESS OF FINITE ELEMENT MODELS FOR  
ROLLING STOCK ENGINEERING**

**Abstract.** The paper considers the finite element modeling method for engineering solutions. One of the most important stages in the problem solution is how to create a finite element mesh. In this connection, the author focuses on various types of meshes. Using of these methods can reduce the analysis time and computing resources. It can also help to avoid various errors in engineering solutions.

**Keywords:** simulation, SolidWorks, SolidWorks Simulation, finite element method, mesh, frame.

SolidWorks обладает большим набором инструментов как для твердотельного моделирования и работы со сборками, так и различного методами расчета и анализа конструкций. Использование метода конечных элементов для статического, динамического, усталостного анализа конструкций позволяет выявить возможные ошибки, допущенные на уровне конструирования, а также получить сведения о поведении конструкции в процессе эксплуатации. Функционалом, позволяющим выполнить данные операции, обладает модуль SolidWorksSimulation, который основан на использовании метода конечных элементов для выполнения расчетов.

Важным этапом при решении задачи анализа конструкции в SolidWorksSimulation является создание конечноэлементной сетки [1]. При постановке и решении этой задачи возникает множество проблем. В большинстве случаев все сводится к нерациональному использованию вычислительной мощности и неточности результатов, а в некоторых

случаях и появление ошибок, при попытке просчитать модель. Возможные варианты использования сеток рассмотрим на примере модели конструкции вагона, входящего в подвижной состав. Железнодорожный подвижной состав – подвижные железнодорожные единицы, предназначенные для перевозки грузов и пассажиров по железным дорогам.

На подготовительном этапе следует по возможности облегчить конструкцию, удалив детали, не влияющие на прочностные характеристики подвижного состава (рисунок 1). Эта операция выполняется с целью упростить создание сетки и, как следствие, дальнейшие вычисления, а также оптимизировать ресурсы, потребляемые для расчета [2].



Рис. 1. Подготовка рамы для дальнейших расчетов.

Рассмотрим непосредственно варианты сеток для данной рамы. Здесь можно выделить три возможных варианта.

Первый вариант – это создать сетку, рассматривая конструкцию как твердое тело. Данный метод является наиболее ресурсоемким, так как при необходимой густоте сетки, дальнейшие расчеты потребуют больших мощностей ввиду большого количества конечных элементов, входящих в ее состав. Касательно полученных результатов при использовании такой сетки можно сказать, что они вполне удовлетворяют своей точностью.

Вторым вариантом является рассмотрение рамы как балочной конструкции (рисунок 2). Этот вариант наиболее подходит для выполнения расчетов, так как в конструкции рамы много деталей, полученных вытягиванием профилей различной формы вдоль направляющей. При таком подходе каждый прямой элемент конструкции

определяется прямой линией, соединяющей два элемента (соединения) на его торцах. Каждый балочный элемент определяется двумя конечными узлами и поперечным сечением. При просмотре сетки и результатов балки могут быть представлены на фактической геометрии балки или цилиндрами независимо от фактического поперечного сечения. Однако стоит отметить, что при таком подходе еще на этапе создания деталей сборки необходимо учитывать и правильно создавать деталь, так как не всегда представляется возможным преобразовать модель в балку.

Третий возможный вариант - это представление конструкции в виде оболочки. Этот вариант подходит, если не представляется возможным использовать в расчетах балочные конструкции. В этом случае конструкция представляется набором тонкостенных оболочек, соответствующих своей толщиной исходным твердотельным моделям. Данный метод (так же, как и второй) позволяет экономично использовать расчетные мощности и упрощать процесс анализа.

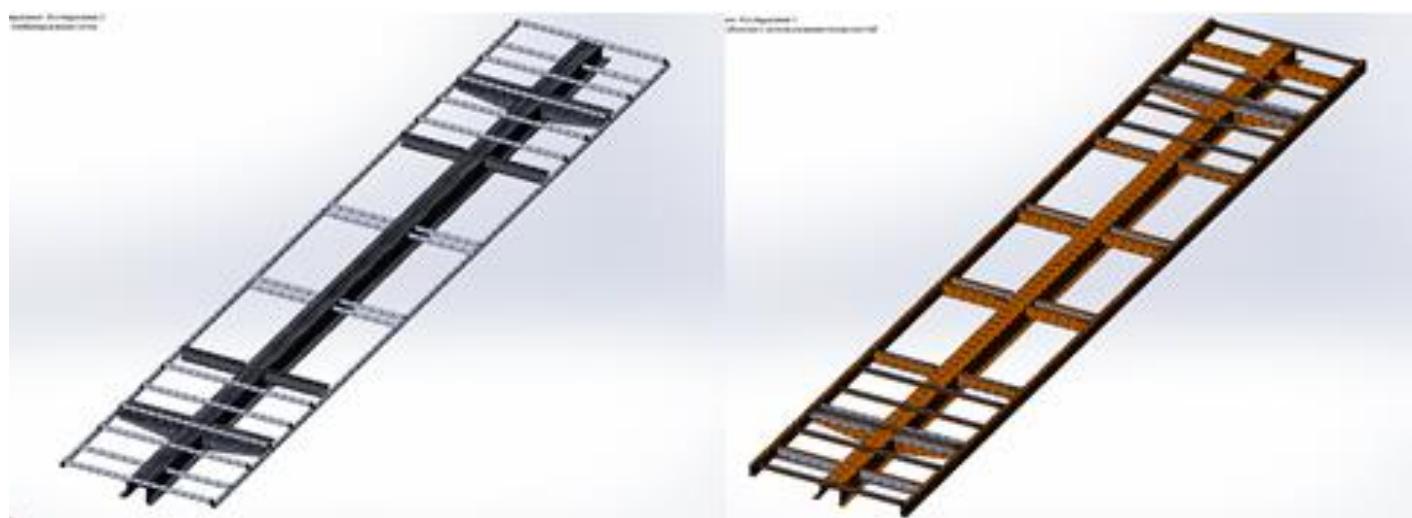


Рис. 2. Пример комбинированной сетки (слева) и сетки оболочки (справа).

В заключение можно отметить, что выбор принципа, по которому будет строиться вычислительная сетка, оказывает существенную роль в последующих расчетах. Правильно выбранный метод позволяет не только сократить время анализа и требуемые вычислительные ресурсы, но и избежать различных ошибок в решениях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алямовский А. А., Собачкин А. А., Одинцов Е. В. и др. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.
2. Алямовский А. А. SolidWorks / COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 с.

**ИГНАТЬЕВ И. С., САВАНИН А. С.**  
**АНАЛИЗ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ**  
**ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ**

**Аннотация.** Статья содержит анализ программного обеспечения, входящего в состав современных испытательных стендов. Приведено описание состава программного обеспечения, рассмотрены его функциональные возможности.

**Ключевые слова:** программа, испытания, стенд.

**IGNATIEV I. S., SAVANIN A. S.**  
**ANALYSIS OF MODERN TEST STANDS SOFTWARE**

**Abstract.** The paper presents an analysis of the software available for modern test stands. The authors give a description of the software in question and its functional scope.

**Keywords:** software, test stand.

Развитие российской промышленности в настоящее время обусловлено применением новых материалов, способных противостоять высоким и низким температурам, силовым нагрузкам и другим влияющим факторам в течение длительного промежутка времени. Использование подобных материалов невозможно без их испытаний на усталость, на растяжение, на вибропрочность в широком диапазоне изменения влияющих величин. При разработке и изготовлении сложных объектов из данных материалов особое значение имеют процессы испытаний и контроля качества, целью которых является подтверждение способности оборудования выполнять свои функции в соответствии со своим назначением. Данные испытания возможно провести с использованием специальных испытательных стендов.

Как правило, испытательные стены, аттестация которых проводится в соответствии с ГОСТ Р 8.568 [1], состоят из силовой части и программного обеспечения. В общем случае, силовая часть состоит из насосной станции, гидроцилиндров, датчиков силы и перемещения, используемых для управления в цепях обратной связи стенда. Возможно дополнительное укомплектование испытательного стендад другими типами датчиков для контроля испытуемого образца в соответствии с программой и методикой испытаний.

Работой испытательного стендад, а также процессом испытаний управляет специальное программное обеспечение, представляющее собой автоматизированную систему управления стендом, состоящую из аппаратной и программной частей, которые, в зависимости от поставленных задач, содержат различные элементы и модули. При использовании в качестве аппаратно-программного обеспечения испытательной установки, все вышеописанные

функции и алгоритмы их реализации, обеспечиваются с помощью специальных программ. Как правило, это 32-х битное программное обеспечение, работающее под управлением ОС Windows. Программы состоит из основной программы и прикладных модулей, которые используют основную программу как платформу. Основное назначение прикладных модулей – расширение стандартных возможностей программы (управление и отображение) до специализированных вычислений и самостоятельно запрограммированных функций управления силовой частью испытательного стенда. Система модулей обеспечивает регулирование по любому из заданных параметров испытаний, вывод этих параметров в виде, удобном для оператора, а так же осуществляет оценку точности их воспроизведения.

Основные программы обычно имеют следующие возможности:

- решение прикладных задач;
- ввод и хранение параметров, графическое отображение входных данных в реальном масштабе времени;
- построение временных графиков нагрузок, напряжений, перемещений, деформаций;
- отображение результатов статистического анализа полученных данных (среднее, мин/макс, диапазон, медиана, ошибка и т.д.);
- отображение данных по управлению.

Прикладные модули программного комплекса обеспечивают управление следующими видами испытаний:

- испытания металлов на растяжение/сжатие согласно стандартам DIN и EN;
- испытания на кручение;
- испытания на циклическую жесткость колец и труб давления;
- адаптивные испытания (сопротивление стыковому сдвигу, испытание пружин, циклическая нагрузка, напряжение сжатия, калибровка датчиков силы).

Блочная объектно-ориентированная архитектура программного обеспечения позволяет соединять любое количество блоков для проведения тестовых испытаний, дает возможность определять индивидуальные скорости и критерии окончания теста, а также объединять различные программные модули. Так, например, в аппаратную часть испытательных стендов входят измерительные системы, которые снабжены пакетом программ, позволяющим автоматизировать процесс измерений, а в случае контроля параметров испытаний, осуществить связь с установкой, задающей значения параметров, провести расчет необходимых условий.

Очевидным преимуществом подобных испытательных стендов и входящих в их состав измерительных подсистем является возможность учёта и адаптации условий

проведения испытаний материалов (необходимой частоты и продолжительности испытаний, измерений, требований к обработке и предоставлению результатов) в соответствии с отраслевыми, национальными и межгосударственными стандартами. Преимуществом является и то, что программное обеспечение испытательных стендов открыто для добавления новых модулей в соответствии с требованиями стандартов и изменяющимися условиями испытаний.

Высокая стоимость испытываемых изделий и сложность изготовления накладывает большую ответственность на процессы их испытаний. Обеспечить высокую точность испытаний возможно с помощью описанного программного обеспечения. Применение данного программного обеспечения позволит провести испытания в кратчайшие сроки в полном соответствии с программами и методиками испытаний.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 8.568-97: Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://standartgost.ru%20P%208.568-97> (дата обращения 20.12.2013).

**СТЕПАНОВСКИЙ А. С.**  
**ИОННАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ**

**Аннотация.** Ионная обработка относительно молодое направление в технологии обеспечения качества поверхностного слоя деталей. В данной статье раскрывается вопрос природы обработки заготовок при помощи элементарных частиц – ионов.

**Ключевые слова:** обработка, ион, поток, поверхностный слой, машиностроение.

**STEPANOVSKY A. S.**  
**ION PROCESSING OF MATERIALS**

**Abstract.** Ion processing is quite a new trend in technology. It is used to ensure the quality of the parts' surface layer. In this connection, the article considers the nature of workpieces processing by elementary particles – ions.

**Keywords:** processing, ion, flux, surface layer, engineering.

Ионная обработка относительно молодое направление в технологии обеспечения качества поверхностного слоя деталей. Первые статьи по этой тематике датируются началом 60-х годов прошлого века. Но развиваться, как новая ветвь технологии начала только в 80-х годах.

Ионная обработка универсальный метод, который позволяет повысить прочность, износостойкость, долговечность, и другие физико-химические свойства материала. Она обладает рядом преимуществ, таких как: возможность вводить любой элемент таблицы Менделеева, возможность легирования любого металла, возможность работы с любой чистотой материала, возможность работать при любых температурах (от гелиевых температур до температур плавления), и др. Этот метод применяется во многих отраслях промышленности.

Ион – это атом, лишенный части или всех электронов и имеющий положительный электрический заряд. С помощью электромагнитных полей ионы можно разгонять до больших скоростей, фокусировать и изменять направление их полета. Тяжелые ионы, имеющие массу, больше массы ядра гелия и больший заряд, при прохождении через вещество изменяют свойства его кристаллической решетки. Часть атомов выбивается из кристаллической решетки и смещается, а из внедрившихся атомов образуются атомы нового вещества. Обработка потоками заряженных частиц дает возможность целенаправленного изменения состояния поверхностного слоя деталей. Достоинства ионной и электронной обработки:

- широкие технологические возможности (легирование поверхностного слоя любыми легирующими элементами, очистка от загрязнений, распыление тонких слоев основного материала, осаждение покрытий из ионных пучков);
- локальность обработки;
- высокая химическая чистота;
- возможность полной автоматизации.

В зависимости от параметров ионного или электронного потока в поверхностном слое деталей могут происходить различные процессы. При энергии ионов  $E \approx 10\ldots100$  эВ на поверхности детали происходит конденсация ионов. Такая обработка используется для осаждения покрытий. Если  $E \approx 10^2\ldots10^3$  эВ, то реализуется процесс ионного распыления (травления), который применяется для очистки поверхностей деталей, активирования поверхностного слоя, формирования микрорельефа. При  $E \geq 10^4$  эВ происходит ионная имплантация, т.е. внедрение ионов имплантируемого вещества в поверхностный слой детали. Таким образом, можно модифицировать поверхностный слой путем его легирования практически любыми элементами.

Имплантация приводит к увеличению концентрации дефектов в облучаемом материале, которые в этом случае называют радиационным. При больших дозах облучения поверхностного слоя детали становятся аморфными из-за высокой концентрации радиационных дефектов. Ионная бомбардировка и облучение электронами приводят к нагреву поверхностного слоя, а в ряде случаев наблюдается образование газовых пузырьков и микропор, которые приводят к уменьшению плотности материала.

Для каждой детали существует предельная температура нагрева, максимальная интенсивность ионного потока, ограничивающая производительность процесса.

В зависимости от способа получения потока ионов обработку можно разделить на ионно-плазменную и ионно-лучевую. Ионно-плазменная обработка осуществляется путем бомбардировки ионами за счет создания плазменного облака вокруг детали и подачи на нее отрицательного потенциала. При ионно-лучевой обработке деталь бомбардируется ионным потоком, формируемым в ускорителе.

Вакуумная плазменная технология высоких энергий базируется на принципе испарения и ионизации осаждаемого материала с помощью вакуумно-дугового разряда, горящего в парах материала покрытия. Образующаяся плазма фокусируется в поток, ускоряется и направляется на покрываемую поверхность. В зависимости от энергии ионов протекает либо процесс ионной очистки, либо осаждение покрытия на термоактивированную и очищенную ионной бомбардировкой поверхность. Метод обеспечивает получение покрытий с субмелкозернистой структурой, с высокой адгезионной прочностью, плотностью

и пластичностью. Ионно-лучевое распыление позволяет эффективно очищать поверхность детали. При высоких дозах облучения происходит «травление» материала, выявляется его макро- и микроструктура, что позволяет заменить экологически вредный процесс химического травления. Ионное распыление является эффективным способом подготовки поверхности детали под осаждение покрытий. Ионно-лучевое распыление способствует формированию на границе покрытия с основным металлом карбидной прослойки, которая является эффективным диффузионным барьером.

Перспективным способом обработки ряда ответственных деталей является ионная имплантация. Глубина проникновения ионов при имплантации зависит от их массы, энергии, состояния поверхностного слоя детали, температуры и других факторов. В первом приближении распределении имплантируемого элемента по глубине поверхностного слоя может быть описано гауссовой кривой с максимумом на глубине 0,01...0,1 мкм. Используя высокоинтенсивные пучки, либо нагрев детали, можно значительно увеличить глубину внедрения ионов (до 5 мкм). Имплантация обычно приводит к увеличению микротвердости поверхностного слоя в результате формирования упрочняющих фаз и дефектов кристаллической решетки. Она повышает сопротивление усталости деталей из жаропрочной высокохромистой стали на 15% (при 600<sup>0</sup> С). Имплантация азота, бора, а также азота совместно с бором позволяет увеличить долговечность образцов из титановых сплавов при 500<sup>0</sup> С в 4...8 раз [1].

Перспективным методом ионно-лучевой обработки является облучение импульсными мощными ионными пучками (МИП) с энергией до 300 кэВ, плотностью тока 10...100 А/см<sup>2</sup> и длительностью импульса 10<sup>-7</sup>...10<sup>-8</sup> с. Воздействие МИП приводит к нагреву, плавлению и испарению слоя материала толщиной до 1 мкм. Из-за малой длительности импульса тепло не успевает распространяться вглубь детали. Над поверхностью детали происходит образование плазменного облака и его расширение, формируется ударная волна. После прекращения облучения поверхностный слой быстро остывает и на нем конденсируются пары. Обработка МИП позволяет удалять поверхностные пленки, нагар и упрочнять поверхностный слой путем изменения структурно-фазового состояния.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Овсеенко А. Н., Серебряков В. И., Гаек М. М. Технологическое обеспечение качества изделий машиностроения. – М.: Янус-К, 2004. – 296 с.

ЗИМИНА А. А.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ НА УРОВНЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются вопросы совершенствования управления на уровне рабочего процесса на основе изменения режимов обработки заготовок (подачи и скорости резания). Рассмотрен вопрос применения ERP- и MES-систем при совершенствовании управления на уровне цеха.

**Ключевые слова:** рабочий процесс, ЧПУ, скорость, подача, станки.

ZIMINA A. A.

## CONTROL IMPROVEMENT AT WORKFLOW LEVEL

**Abstract.** This article deals with some issues of control improvement at workflow level. Particularly, the author studies the change of workpiece processing modes (feeding and speed of cutting). In this connection, the prospects of ERP- and MES-systems application for workshop control improvement are considered.

**Keywords:** workflow, CNC, speed, feeding, machinery.

Замена устаревшего оборудования систем с числовым программным управлением (ЧПУ) для многих предприятий является насущной необходимостью как по техническим, так и по экономическим причинам. К числу этих причин относятся:

- удорожание расходных материалов;
- моральное и физическое старение имеющихся систем;
- увеличивающиеся требования к надежности, точности обработки и производительности станков.

На сегодняшний день на предприятиях применяют системы с числовым программным управлением (СЧПУ) с закрытой архитектурой на базе микроЭВМ, ПК, ПК с расширением реального времени, а также с открытой архитектурой, являющейся частью автоматизированной интегрированной системы на базе ПК с РВ-расширениями, работающими по клиент-серверной технологии с применением SCADA-систем.

Для большинства предприятий, проводящих техническую реконструкцию оборудования, системы открытого типа пока неприемлемы ввиду отсутствия у них автоматизированных систем управления, внедрение которых требует значительных экономических затрат. Поэтому на первом этапе реконструкции более предпочтительным для предприятия является использование систем закрытого типа.

Задачу повышения эффективности управления рабочими процессами целесообразно решать на основе совершенствования законов измерения подачи и скорости резания, в

частности, задавая их в функции пути, пройденного режущим инструментом. При этом законы должны быть такими, чтобы, во-первых, их можно было использовать как типовые решения при выполнении различных технологических операций, во-вторых, чтобы их можно было задавать в одном кадре управляющей программы. К таким законам относятся [1]:

1) Линейное изменение минутной подачи – осуществляется путем приращения на величину  $S$  на каждом участке длины  $l$ .

Область применения алгоритма, реализующего закон линейного изменения подачи, достаточно обширна. Например, на станках токарной группы регулированием подачи можно добиться повышения точности формы нежестких деталей в продольном сечении, сократить время на формообразование некоторых элементарных поверхностей детали, предотвратить явление выкрашивания кромок заготовки при выходе режущего инструмента из зоны резания и др. На фрезерных станках за счет регулирования подачи в функции пути можно существенно снизить влияние отжимов консольно закрепленного режущего инструмента на точность воспроизводимого контура детали.

2) Осцилирующее изменение подачи – заключается в ее периодическом увеличении от  $S_{\min}$  до  $S_{\max}$  с последующим снижением до первоначального значения.

Введение в процесс резания кинематической нестабильности путем осцилирующего изменения подачи может быть эффективным для повышения виброустойчивости технологической системы при обработке заготовок на станках токарной группы. Реализация закона модулированного изменения подачи позволяет добиться сдвига границы резания, при этом производительность обработки существенно возрастает.

3) Алгоритм прерывания подачи УЧПУ периодически через определённое число импульсов, поступающих на привод подач, выдает импульсы, которые на привод подач не поступают.

Включение в состав технологического программного обеспечения УЧПУ алгоритма прерывания подачи расширяет функциональные возможности станка. Это выражается в возможности создания постоянных циклов с выдержкой времени, используемых для совершенствования процесса формообразования, а так же в уменьшении затрат на разработку и отладку управляющих программ. Для станков токарной группы прерывание подачи может быть реализовано также с целью кинематического дробления стружки.

Рост уровня автоматизации является основным направлением развития современного машиностроительного производства. В связи с этим требования к повышению его гибкости превалируют над требованиями к производительности. В области создания гибких производств происходят переориентация на проектирование гибких производственных ячеек

и модулей вместо крупных систем; усиление роли станкостроителей в разработке проектов автоматизации машиностроительных заводов. Учитывая наукоёмкость гибких производств и их перспективность, развитые страны реализуют международный научно-технические программы создания таких производств в электронной, электротехнической, машиностроительной и автомобильной промышленности.

В области систем ЧПУ также произошли кардинальные изменения, затрагивающие спектр функциональных возможностей, аппаратную платформу и системные средства, архитектуру и состав прикладного математического обеспечения.

Структуру современных автоматизированных систем управления производством можно представить как многоуровневую, где на верхнем уровне (АСУП) с помощью ERP решают задачи стратегического характера – управление ресурсами предприятия и укрупненное планирование. Для каждого цеха определяют, сколько и каких машин, узлов и деталей необходимо изготовить к определенному сроку.

В дальнейшем эти объемы работ необходимо на конкретных единицах оборудования с учетом их переналадок, ремонтов, отказов, транспортных и складских операций, состава и численности персонала цеха и других производственных факторов. При выполнении работ необходимо стремиться к максимально полной загрузке оборудования и в то же время – к высвобождению лишних станков, т.е. составлять расписание работы цехов так, чтобы минимизировать объем незавершенного производства. За выполнение этих задач отвечает автоматизированная система управления производственными процессами (АСУПП) класса MES (Manufacturing Execution Systems).

MES-система – это интегрированная информационно-вычислительная система, объединяющая инструменты и методы управления подготовкой производства в режиме реального времени. Программные приложения MES-систем выполняют следующие функции: управление производственными и человеческими ресурсами в рамках ТП; планирование и контроля последовательность операций ТП; управление качеством продукции; хранение исходных материалов и произведенных продукции по технологическим подразделениям; техническое обслуживание производственного оборудования; интеграция с ERP-системой. ERP-система формирует объемные планы для цехов, а с помощью сессии MES-системы каждый цех формирует детализированные расписания. В системе управления должны быть два контура диспетчирования. Внешний контур организуемой ERP-системой, следит за выполнением заданного объема работ при существующих временных ограничениях по горизонту планирования и сроком выпуска продукции конкретного наименования. При этом формируются рассогласование между заданным и фактическим объемами работ. Внутренний контур, организуемый MES-системой, определяет

рассогласование по времени в случае, если расписание для какого-либо цеха по тем или иным причинам не выполняются и подлежат пересчету.

Благодаря своему прикладному и предметно-ориентированному характеру MES-системы могут служить для большинства отечественных предприятий наиболее реальным инструментом повышения конкурентоспособности продукции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бржозовский Б. М., Мартынов В. В., Схиртладзе А. Г. Управление системами и процессами: учебник. – Старый Оскол: ТНТ, 2010. – 296 с.