



УДК 621.951.47

*Кривцов В.С.¹, Бычков И.В.², Планковский С.И.¹, Лосев А.В.¹*¹ Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт». Украина, г. Харьков² Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины. Украина, г. Харьков

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Проведен анализ тенденций развития современных производственных систем. Показано, что для обеспечения конкурентоспособных показателей качества является необходимым объединение подсистем размерной обработки, прецизионных методов обработки и финишной очистки и снаряжения поверхностей и кромок. Приведены данные о взаимовлиянии технологических процессов этих подсистем и их влиянии на итоговые показатели качества продукции. Проведен анализ современных методов финишной очистки и отделки. Показано, что их интеграция в состав технологических систем на основе современных САМ/САЕ технологий является наиболее эффективной при использовании универсальных методов, например – термомпульсного.

Ключевые слова: производственная система; размерная обработка; технологический процесс; технологическая система; САМ/САЕ

Актуальность проблемы

Четко сформировавшейся тенденцией развития наукоемкой техники является непрерывное повышение требований её надежности, ресурса и эффективности. Происходит интенсивная миниатюризация механизмов, переход к массовому производству изделий механотроники.

В отечественной практике обеспечение качество продукции достигается многостадийной доводкой технологических процессов по результатам испытаний и эксплуатации изделий. Это длительный и неэффективный процесс, связанный с тем, что потребности в доработке продукции формируются вне рамок производственного цикла.

В то же время, ведущими промышленными государствами мира ведутся активные работы по созданию технологических систем нового поколения. Разрабатывается не только принципиально новое оборудование, но и методы его согласованного использования в составе единых информационно интегрированных систем.

Ставятся задачи инструментального обеспечения качества прецизионных деталей с исключением ручных доводочных работ. Разрабатывается оборудование и методы управления рельефом и элементным составом поверхностного слоя на молекулярном и атомарном уровне. Эти работы рассматриваются как элементы обеспечения доминирующего технологического превосходства в условиях глобальной экономики.

Отечественные исследования в указанной области хронически недофинансируются. Работы ведутся бессистемно, по отдельным направлениям, в которых имелся научно-технический задел. Создается угрожающий разрыв с ведущими промышленными центрами мира, что создает высокие риски потери конкурентоспособности продукции отечественного машиностроения.

Одним из вариантов развития технологических систем отечественных машиностроительных предприятий является использование опыта решения таких задач, накопленного в авиационно-космической отрасли. В частности, для этого могут быть использованы результаты многолетних исследований, проведенных в Национальном аэрокосмическом университете «ХАИ» по интеграции подсистем размерной обработки и финишной очистки в авиационном агрегатостроении.

Влияние технологической наследственности при размерной обработке на параметры качества

Центральное место в формообразовании деталей, в том числе прецизионных, занимает обработка резанием, трудоемкость которой в изготовлении авиационного двигателя составляет более 50%, а в изготовлении планера самолета порядка 35%. Номенклатура деталей, полученных обработкой лезвийным и абразивным инструментом, оценивается в 50000 для двигателей и до 200000 единиц для самолётов.

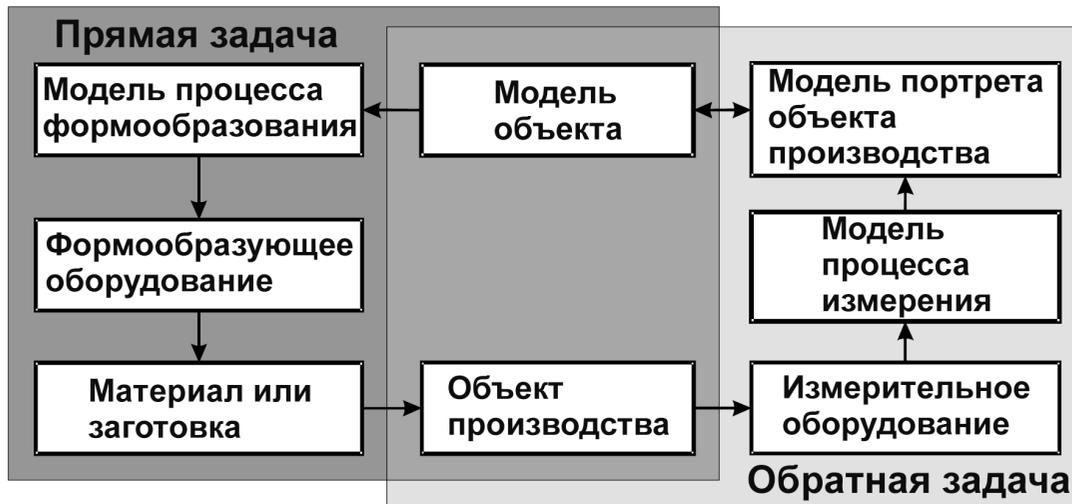


Рис. 1. Реализация первичного формообразования в машиностроении

Для их изготовления используется более ста наименований материалов. Этим определяется особое внимание, которое должно уделяться обработке резанием при создании технологических систем.

Применение современного высокоскоростного оборудования сокращает трудоёмкость механообработки в несколько раз. При его использовании получение требуемого качества поверхности неразрывно связано с обеспечением режимов с постоянной контурной скоростью, когда её отклонения не должны превышать 1–0,1% от заданного значения. Реализация этих условий возможно только при использовании оборудования с ЧПУ, а изготовление сложнопрофильных деталей требует в дополнение и многокоординатной обработки.

Прямая задача формообразования реализует преобразование заготовки в деталь в соответствии с её моделью на заданном формообразующем оборудовании с помощью выбранного инструмента стандартной формы (рис. 1). На сегодня она решается при помощи различных пакетов САМ. Моделирование процесса заключается в описании параметров локальной зоны формообразования и траектории её перемещения в координатах заготовки, которая определяется геометрией поверхностей детали, заготовки, инструмента и реализуется в соответствующей управляющей программе (УП) [1]. Алгоритмы многокоординатной обработки сложных поверхностей постоянно совершенствуются, обзор современных достижений в этой области приведен в работе [2].

В процессе решения обратной задачи происходит сравнение изготовленной детали с эталоном в рамках выполнения операций контроля. Если традиционно две эти задачи были разделены, то на сегодняшний день сформировалась четкая тенденция их объединения путем оснащения обрабатывающих центров встроенными средствами контроля.

Современные встроенные измерительные системы позволяют строить модель поверхности детали, после чего ее контроль ведется на основе сравнения с эталоном в среде CAD/CAM модулей [3]. Развитие алгоритмов и техники встроенных измерений [4, 5] стали основой адаптивной размерной обработки. При таком методе встроенная в обрабатывающий центр измерительная система активно используется в ходе всего процесса обработки, начиная с базирования. Учет реальной геометрии заготовки и ее расположения в станке позволяет автоматически корректировать УП индивидуально для каждой детали при помощи достаточно простых алгоритмов преобразования координат. Это резко снижает время базирования крупногабаритных деталей, требования к станочным приспособлениям и позволяет существенно повысить точность обработки.

На современном уровне развития САМ систем при составлении УП учитываются деформации в системе СПИД, вызванные действием сил резания и неравномерностью поля температур. Все больше используются специализированные базы данных и знаний для автоматизации составления УП обработки типовых конструктивных элементов. Новейшие пакеты САМ достаточно точно дают представление о форме микрорельефа поверхности детали после механообработки (рис. 2).

На фоне таких впечатляющих успехов некоторые разработчики систем САМ утверждают, что они практически решили амбициозную задачу – деталь после механообработки может поступать на сборку без каких-либо доработок. Опыт авторов позволяет утверждать, что это не более чем рекламный ход. Решение задачи производства качественной прецизионной техники одной лишь размерной обработкой невозможно!

Дело в том, что размерная обработка является не только средством обеспечения точности размеров изделия. Она же является и причиной искажений

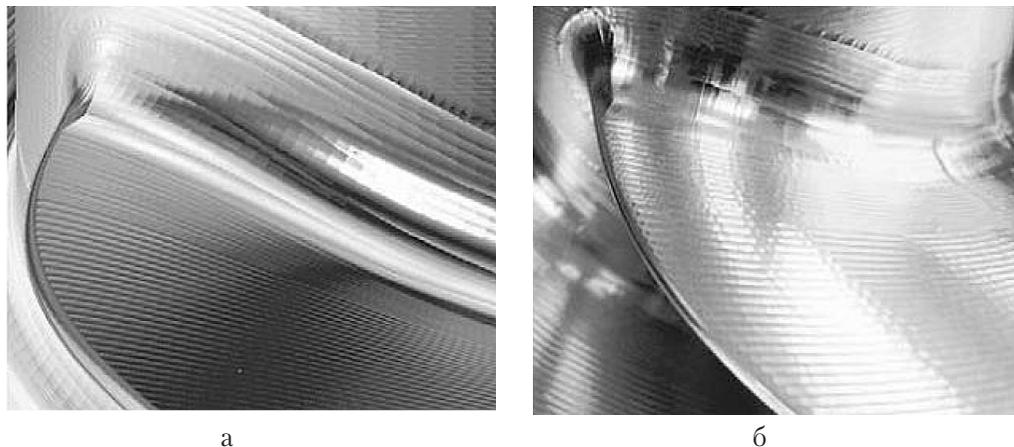


Рис. 2. Сравнение данных визуализатора САМ (а) с фотографией реальной детали (б)

геометрии кромок и поверхностей, а также источником технологических загрязнений. Избежать этих явлений при обработке резанием невозможно – это не неточности технологии, это проявление законов механики сплошных сред.

Так, например, при резании всегда образуются заусенцы на кромках. Их полное удаление лезвийным инструментом невозможно – его применение ведет к образованию вторичных заусенцев меньшего размера. К сожалению, в отечественной практике вопросы обеспечения качества кромок и поверхностей очень часто попросту игнорируются. Для того чтобы показать ошибочность таких представлений, приведем данные одного из ведущих производителей оборудования для финишной обработки прецизионных деталей – фирмы Extrude Hone (США).

В проспектах фирмы приводятся результаты измерения коэффициентов расхода в топливных форсунках с отверстиями, полученными электроэрозионным методом без обработки кромок и после их профилирования на экструзионно-абразивном оборудовании. Профилирование отверстия повышает точность обеспечения массового расхода через жиклер с $\pm 6\%$ до $\pm 1\%$, что непосредственно влияет на топливную эффективность двигателя [6].

В качестве еще одного примера рассмотрим режущий инструмент. На его стойкость оказывает значительное влияние состояние кромок. Их продольная шероховатость является результатом наложения друг на друга шероховатостей поверхностей, образующих кромку. При заточке режущих инструментов шлифованием шероховатость кромок оказывается в 1,5...2,5 больше, чем на поверхностях (рис. 3) [7].

Повышенная шероховатость кромок существенно снижает их прочность. Выступы микронеровностей из-за малой прочности разрушаются в первые секунды резания, впадины являются местом зарождения трещин. Разрушение режущей кромки на начальном этапе резания приводит к неуправляемо-

му износу инструмента. Никакие покрытия в таком случае проблему не решат.

Дополнительная финишная обработка кромок (например, магнитоабразивная) выравнивает шероховатость поверхностей и кромок. Одно это позволяет повысить стойкость инструмента в 1,5 раза. Дополнительное округление кромок радиусом порядка 0,01 мм позволяет повысить ее еще в 3...4 раза [7].

Рис. 3. Продольная шероховатость режущих кромок сверла

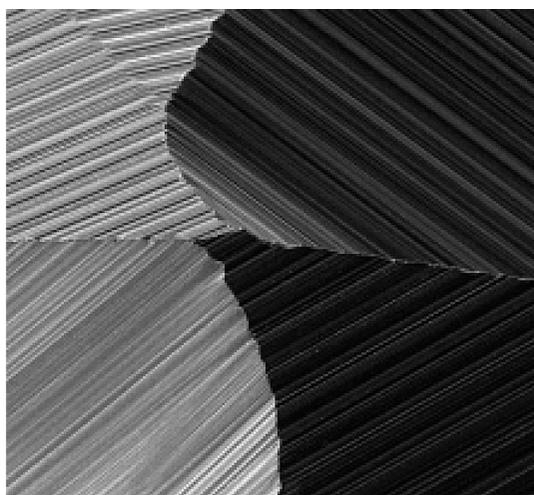


Рис. 3. Продольная шероховатость режущих кромок сверла

Опыт эксплуатации изделий машиностроения убедительно показывает, что их качество, в том числе безотказность работы и ресурс, во многом зависят от микрорельефа контактирующих поверхностей и промышленной чистоты машины [8, 9]. Обработка резанием сопровождается не только искажением кромок, но и образованием ликвидов на поверхностях деталей (рис. 4, 5) в виде микрозаусенцев и микрочастиц [10].

Работы по изучению причин формирования заусенцев на кромках, их связь со свойствами материала детали и режимами резания ведутся очень



Рис. 4. Фрагмент поверхности детали после чистовой токарной расточки с микрозаусенцами. Увеличение 240

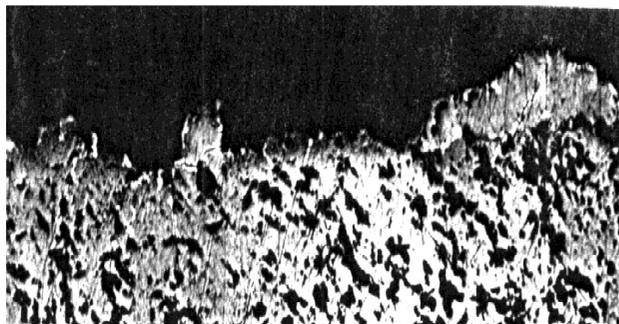


Рис. 5. Фрагмент поверхности детали после шлифования с микрочастицами обрабатываемого материала. Увеличение 500

активно. Из многочисленных публикаций на эту тему следует отметить работы лаборатории университета Беркли (США) под руководством профессора Дорнфилда [11, 12]. В то же время исследования в области изучения механизмов формирования ликвидов на поверхностях деталей находятся на самой ранней стадии и не освещаются в технической литературе.

По данным собственных исследований авторов образование микрочастиц неизбежно происходит при любых видах резания и существенно зависит как от режимов резания, так и от состояния режущего инструмента. На рис. 6 и 7 продемонстрировано влияние радиуса округления режущей кромки инструмента на образование микрозаусенцев на обрабатываемых

поверхностях. Образование микрочастиц непосредственно связано с процессом формирования микрозаусенцев и вибрациями в системе СПИД.

С учетом опыта развития технологий финишной обработки кромок, в настоящее время формулируются следующие направления исследований в этой области [13]:

- источники и механизм образования корпускулярных загрязнений;
- производственные и организационные меры их минимизации и предотвращения;
- разработка стандартов чистоты и средств метрологического оснащения;
- создание оборудования для очистки до заданного стандартами качества.

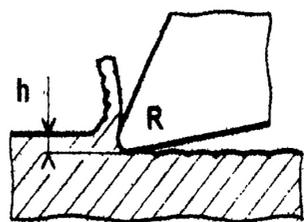


Рис. 6. Поверхность, обработанная инструментом с острой кромкой

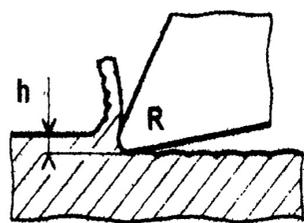
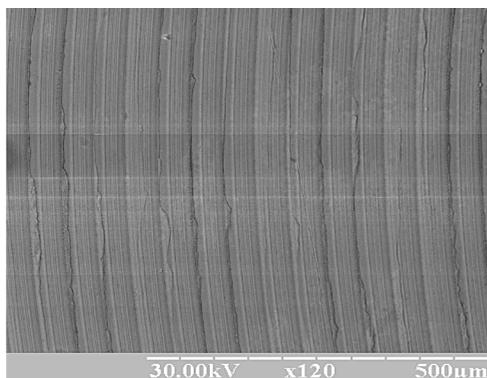
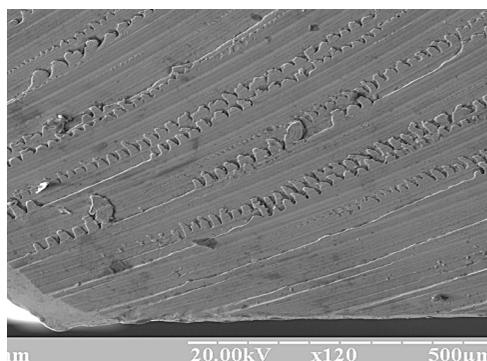


Рис. 7. Поверхность, обработанная резцом с притупленной кромкой



В процессе эксплуатации происходит дополнительное массовое загрязнение микрочастицами за счет истирания микрозаусенцев и быстроизнашиваемой части профиля шероховатости. Для гидравлических систем машин это приводит к постепенному увеличению концентрации частиц в рабочих жидкостях на порядок и более. Подавляющее количество загрязняющих частиц имеют размеры менее 5 мкм и не удерживаются фильтрами. Статистика отказов показывает, что основная доля приходится на превышение норм по массовой концентрации, а не по размерам не отфильтрованных частиц [14].

На рис. 8 показана зависимость наработки на отказ золотниковых агрегатов и гидронасосов в летных часах от класса чистоты рабочих жидкостей. Зависимости 1 и 2 соответствуют случаям превышения норм по массовой концентрации частиц меньших 5 мкм; 3, 4 – с концентрацией согласно ГОСТ 17216-2001.

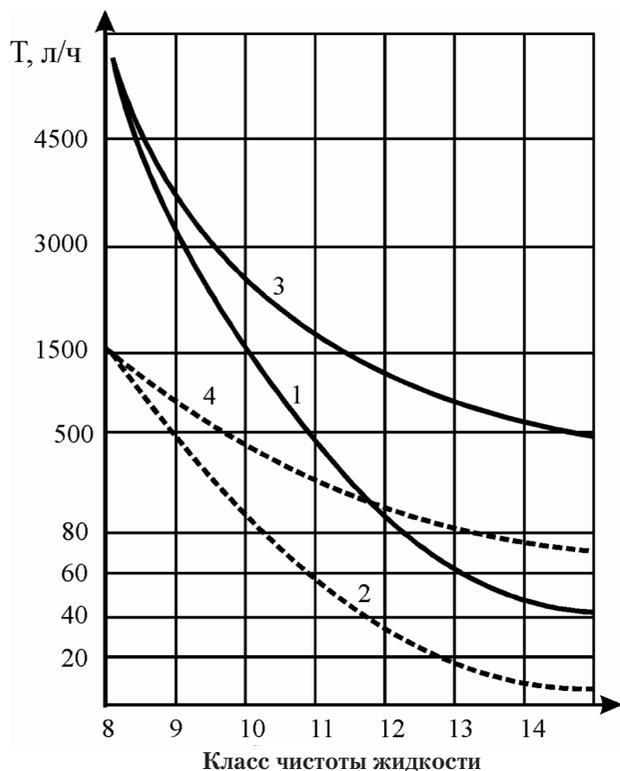


Рис. 8. Изменение времени наработки от класса чистоты жидкостей

Аналогичные данные получены в работе [15] при изучении влияния коэффициента очистки масла на срок действия подшипников качения. Испытанию были подвергнуты несколько сот подшипников, причем менялся только один параметр – абсолютный коэффициент очистки. Результаты испытаний показали, что при уменьшении размера микрочастиц с 40 до 3 мкм ресурс подшипников увеличился более чем в 6 раз.

В работе [16] системно изложены данные других исследований, устанавливающих влияние загрязненности микрочастицами на показатели качества изделий машиностроения – ресурс, надежность, герметичность. Таким образом, решение задачи производства конкурентоспособной техники без применения технологических подсистем финишной очистки невозможно.

Современные методы финишной отделки и очистки

К сожалению, следует отметить, что вопросы обеспечения качества кромок, а тем более очистки поверхностей от микрочастиц в отечественном машиностроении зачастую просто игнорируются. Особенно это проявляется в моторостроении, производстве топливной аппаратуры, арматуры гидравлических и пневматических систем.

В то же время в США, Японии, Германии, Южной Кореи, Китае и других высокоразвитых в промышленном отношении странах ведутся интенсивные исследования в области отделочно-очистных технологий. На сегодняшний день для таких операций применяется более ста методов, которые можно разделить на пять групп исходя из физико-химического воздействия на детали.

1. Механические методы, при которых удаление ликвидов осуществляется путем механического воздействия на обрабатываемые детали. К ним относятся: слесарные, лезвийные, абразивные методы, обработка давлением, ударные, галтовочные, центробежные, турбуляционные, вибрационные способы зачистки.

2. Химико-механические методы, при которых имеет место одновременное механическое воздействие инструмента и химическое воздействие внешней среды (жидкости). К этим методам относятся абразивная, гидродинамическая, галтовочная, центробежная, турбуляционная и вибрационная обработка с применением смазочно-охлаждающих жидкостей.

3. Химические методы, при которых удаление ликвидов осуществляется за счет воздействия химически активной жидкой или газовой среды; они подразделяются на химические, галтовочно-химические, турбуляционно-химические и виброхимические способы.

4. Электрохимические методы, для которых характерно химическое воздействие жидкой среды и электрического тока, проходящего через электролит и материал детали. Они подразделяются на электрохимические с погружением, электрохимические локальные, галтовочно-электрические, виброэлектрические способы.

5. Физические методы, при которых обработка осуществляется за счет воздействия на материал

различными физическими процессами (ультразвуковыми волнами, электрическими разрядами, электрогидравлическими ударами и др.). Их подразделяют на ультразвуковые, электроконтактные и импульсные (взрывной, электрогидравлический, термоимпульсный и др.) способы.

К 2000 году в мире существовало около 1000 фирм, производящих оборудование для этих целей или предлагающих услуги, связанные с финишной обработкой. Общей чертой современного оборудования для финишной отделки является наличие систем ЧПУ. В целом существующее оборудование позволяет проводить эффективную обработку кромок практически всей номенклатуры деталей машиностроения.

Конструктивные особенности оборудования для финишной обработки прецизионных деталей приводят к тому, что практически применяться могут только некоторые из разработанных на сегодня методов. В табл. 1 приведены сравнительные возможности этих методов для выполнения некоторых задач, характерных при изготовлении высокоточных деталей.

Анализ приведенных данных показывает, что выполнение полного комплекса операций по финишной отделке прецизионных деталей каким-либо одним из представленных методов, невозможно. Наибольшее количество операций (7 из 10) может быть выполнено термоимпульсным и экструзионно-абразивным методом. Комбинация этих методов

покрывает все перечисленные финишные операции за исключением обработки отверстий сверхмалого диаметра, для которой необходимо специализированное оборудование [13].

В качестве основного метода очистки поверхностей в настоящее время рассматривается воздействие потоком чистящей жидкости [17]. Такой метод чувствителен к геометрии обрабатываемой детали, особенно для внутренних полостей и требует учета особенностей процесса очистки на самых ранних стадиях проектирования механизмов.

В настоящее время такие нормы проектирования существуют в виде самых общих рекомендаций, основанных на эмпирических данных. Дополнительной сложностью является влияние физико-химических, морфологических и механических свойств поверхности обрабатываемой детали на возможность перемещения и прилипания загрязняющих веществ при воздействии чистящей среды.

Отметим, что из всех методов, упомянутых в табл. 1 только два не приводят к дополнительным загрязнениям при обработке — электрохимический и термоимпульсный метод. Электрохимическая обработка позволяет удалить металлические микрочастицы, а термоимпульсная — микрочастицы любых материалов [10, 18]. С этой точки зрения термоимпульсный метод в наибольшей степени соответствует современным и вновь формирующимся требованиям по финишной отделке и очистке.

Таблица 1.

Сравнительная характеристика методов финишной отделки прецизионных деталей

Типичные операции при финишной обработке прецизионных деталей	Экструзионно-абразивный	Магнитно-абразивный	Ультразвуковой	Электрохимический	Термоимпульсный
Очистка внутренних поверхностей	•		•		•
Управление углом и радиусом кромки отверстий ($\varnothing > 1,5$ мм)	•			•	•
Управление углом и радиусом кромки отверстий ($\varnothing < 1,5$ мм)	•	•		•	•
Формирование профиля отверстий для управления расходом	•	•			
Финишная обработка отверстий ($\varnothing < 0,4$ мм)		•			•
Очистка криволинейных и фасонных поверхностей	•		•	•	•
Очистка глухих отверстий					•
Финишная обработка сквозных отверстий ($l/\varnothing > 5$)	•				•
Удаление оплавленных слоев после лазерной обработки	•	•		•	
Финишная обработка прецизионных поверхностей		•	•	•	•

При термоимпульсной обработке удаление заусенцев и технологических загрязнений производится за счет быстротечного теплового воздействия на деталь, расположенную в рабочей камере, продуктами сгорания топливной смеси. Часть смеси сгорает в детонационном режиме, что приводит к резкой интенсификации процессов теплообмена. Выпуск продуктов сгорания производится в горячем состоянии, поэтому окислы и удаленные материалы не осаждаются на обрабатываемых поверхностях. Из-за малого времени обработки (порядка сотых долей секунды) каких-либо изменений в поверхностном слое детали не происходит. Имеется положительный опыт использования этих технологий на серийных заводах, в том числе для очистки прецизионных деталей агрегатов авиационных двигателей [10, 18, 19].

Важнейшим преимуществом такого метода обработки является автоматическое формирование геометрии кромок. Оно происходит на основе физических законов и требует лишь корректной установки интенсивности и времени обработки. В качестве примера на рис. 9 приведена фотография кромки режущего инструмента после доводки поверхностей и последующей термоимпульсной

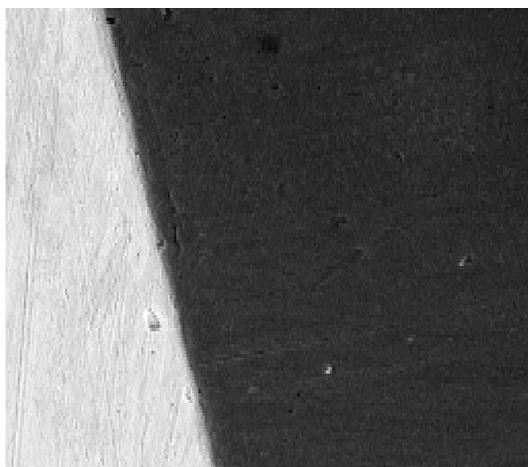


Рис. 8. Режущая кромка фрезы после доводки и термоимпульсной обработки жидкостей

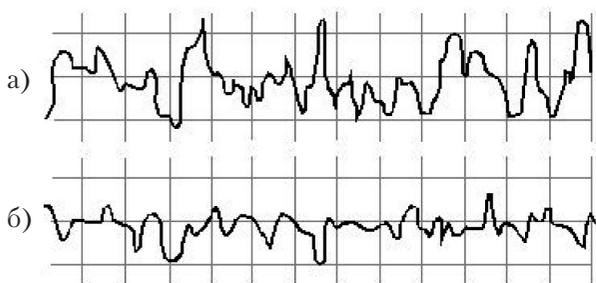


Рис. 9. Микронеровности образца:

- а) $R_a = 1,86...+1,94$ после механической обработки;
 б) $R_a = 1,12...+1,28$ после термоимпульсной обработки

обработки. Разница с кромкой, полученной шлифованием (рис. 3) очевидна.

Согласованное применение размерной обработки и технологий финишной отделки поверхностей позволяют формировать функционально необходимый профиль шероховатости поверхностей. Проведенные исследования [20] показали, что у поверхностей, обладающих одинаковой шероховатостью по параметру R_a , но имеющих большую маслостойкость, износостойкость увеличивается в 3...6 раз, период приработки уменьшается в 1,5...3 раза, снижается уровень шума и повышается плавность хода сопряженных деталей. На рис. 9 показаны микронеровности образца после механической обработки и термоимпульсного удаления быстро изнашиваемой части профиля шероховатости [18].

Особенность технологий финишной отделки, очистки поверхностей и кромок заключается в том, что их эффективность проявляется только при обработке 100% деталей, входящих в автономные узлы и агрегаты, гидро- и пневмосистем. Их применение необходимо не только на завершающих операциях обработки деталей, но и внутри технологической цепочки.

Так, например, операции выглаживания притирами без удаления микрозаусенцев приводят к образованию на поверхностях пленов микронного и субмикронного размеров, а операции накатки без удаления микрочастиц после предшествующей механообработки приводят к шаржированию поверхности – внедрению абразивных частиц в более мягкую поверхность детали.

Таким образом, для обеспечения конкурентоспособных показателей качества продукции машиностроения, особенно высокоточных механизмов, в современных условиях необходимо согласованное применение размерной обработки и технологий отделки и очистки кромок и поверхностей на основе единой технологической системы.

Задачи создания нового поколения технологических систем

Построение производства, в соответствии с проявляющимися тенденциями его развития, приводит к необходимости синтеза его из множества элементов, зачастую, с противоречивыми свойствами, что предопределяет поиск рационального состава и сочетаний её элементов. Их выбор формируется на базе знаний о взаимном влиянии и установлении соответствующих закономерностей, которым подчиняются эти влияния.

Рационально построенная технологическая система должна обладать суммарными свойствами, которые прогнозировано и устойчиво обеспечивают требуемое качество с максимальным экономическим эффектом. Создание высокопроизводительных гиб-

ких технологических систем приводит к фундаментальным изменениям в организации производства конкурентоспособной техники.

Технологическая система, объединяющая размерную обработку, методы прецизионной обработки, технологии отделки и очистки предполагает изменение стратегии назначения режимов при механообработке.

На сегодняшний день, даже в самых современных САМ системах, их выбирают исходя из максимальной производительности получения макрогеометрии, не учитывая физики образования ликвидов. Альтернативой является их назначение на основе прогнозируемой наследственности при образовании микрорельефа, заусенцев, микрочастиц.

Чтобы удалить ликвиды в первом случае необходимо применить около десяти узкоспециализированных методов, включая электрохимические, механические, ультразвуковые с последующей прокачкой каналов моющими жидкостями, поскольку при обработке образуются ликвиды с различными свойствами и размерами.

Во втором случае технологические режимы механической обработки назначаются с учетом последующего удаления ликвидов. Выравнивание размеров ликвидов, их перенос в процессе изготовления детали в места, где они могут быть легко удалены, позволяет проводить операции очистки и отделки на универсальном оборудовании с ЧПУ.

Это в разы снижает общую трудоемкость изготовления с одновременным обеспечением заданного уровня качества [20].

Объединение решения прямых и обратных задач формообразования с задачами обеспечения промышленной чистоты и микрорельефа должно стать основой технологических систем нового поколения (рис. 10). В такой системе контроль макроотклонений после изготовления детали, т.е. решения прямой задачи, производится совместно с решением обратной задачи формообразования при сопоставлении портрета изделия с эталонной моделью в среде САД/САМ систем, а контроль чистоты поверхностей и их микрорельефа выполняется как в ходе изготовления детали, так и в качестве финишных операций технологического процесса.

Для эффективного использования таких систем необходимо создание специализированных экспертных систем и баз данных, позволяющих получать информацию, необходимую для назначения режимов очистки, исходя из параметров предшествующей размерной обработки. Такие работы ведутся в США и Евросоюзе. Однако необходима адаптация таких систем для материалов, применяющихся в отечественной практике.

Задачи информационной интеграции подсистем размерной обработки и очистки требуют разработки специализированных САМ/САЕ модулей для создания УП для оборудования финишной отделки и

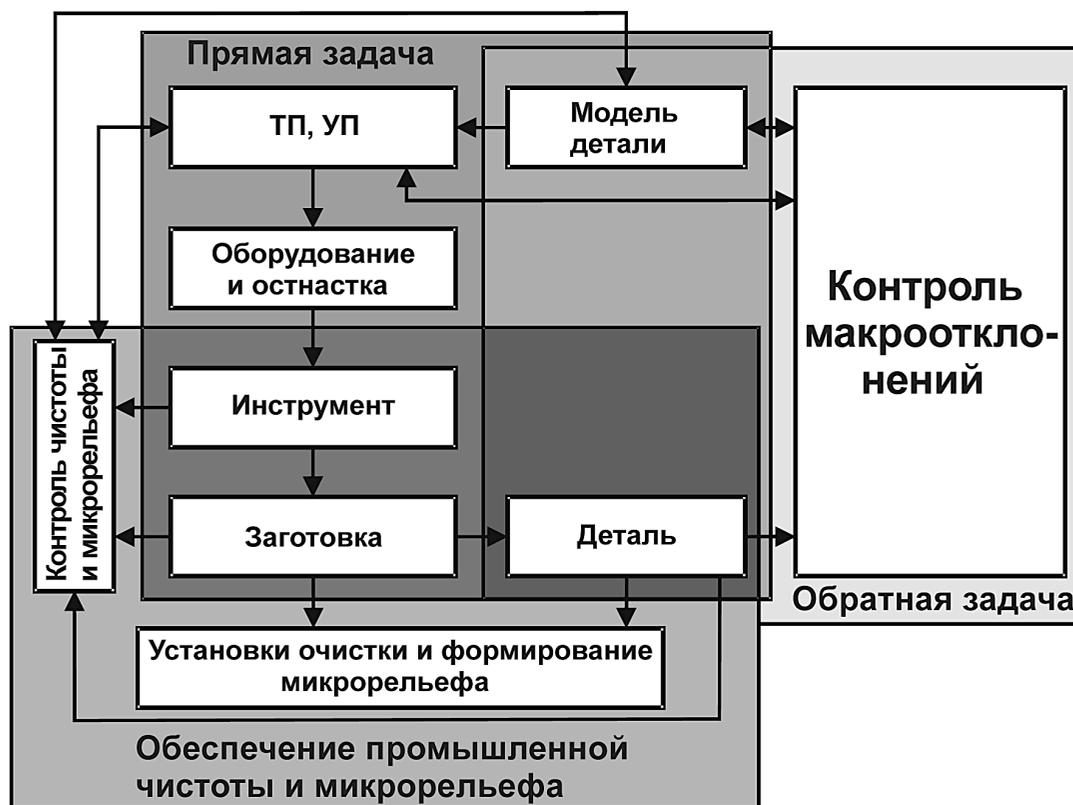


Рис. 10. Взаимосвязь элементов технологических систем нового поколения



очистки. Отдельной задачей является разработка принципов совместного использования оборудования этих подсистем для создания заданного функционального микрорельефа поверхностей.

Важнейшей задачей создания таких технологических систем является кадровое сопровождение разработанных технологий на предприятиях путем подготовки и переподготовки специалистов на основе передовых научных исследований. К большому сожалению, до настоящего времени очистным и отделочным технологиям, методам формирования геометрии поверхностей и кромок, промышленной чистоте и их системной связи с характеристиками качества продукции не уделяется никакого внимания в подавляющем большинстве учебников и технической литературе.

Наконец необходимо интенсифицировать работы по созданию отечественного автоматизированного оборудования для финишной отделки и очистки на основе передовых отечественных научных разработок. В первую очередь следует использовать результаты в области магнито-абразивных и термоимпульсных процессов, которые не уступают уровню, достигнутому в ведущих промышленных государствах.

В настоящей статье не затронуты многие вопросы инженерии поверхности. В частности за её рамками осталась такая важная тема, как нанесений покрытий со специальными свойствами. Эти технологии, безусловно, также должны быть элементами новых технологических систем в машиностроении. Однако их использование, по мнению авторов, должно начинаться там, где заканчиваются возможности обычных технологий, и только тогда, когда поверхности и кромки деталей самым тщательным образом подготовлены.

Выводы

Обеспечению конкурентоспособного уровня качества изделий машиностроения с минимизацией эксплуатационных расходов способствует реализация следующих мероприятий:

1. Представления формообразования в виде процесса решения трёх задач: прямой – непосредственного получения формы детали, обратной – доказательства соответствия её геометрии эталону в пределах макроотклонений и обеспечения микрорельефа с требуемой промышленной чистотой поверхностей.

2. Нахождение зависимости размеров образующихся ликвидов от состояния режущих кромок инструментов позволит определить, согласование режимов резания с характеристиками установок по формированию микрорельефа поверхностей и обеспечения их промышленной чистоты.

3. Формулирование условий для построения технологической системы, которая позволит решить

проблему удаления заусенцев, микрочастиц, быстро изнашиваемой части микрорельефа одновременно с внутренних и наружных сложнопрофильных поверхностей и кромок деталей, что позволит прогнозировать качество очистки от технологических загрязнений и надежность изделий в эксплуатации.

Литература

- [1] Бычков, И. В. Зона формообразования в процессах формирования поверхности детали /И. В. Бычков, Е. Н. Бут, А. К. Мялица // Вопросы проектирования и производства летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4(55). – X., 2008. – С 35 – 39.
- [2] Recent development in CNC machining of freedom surfaces: a state-of-the art review/A. Lasemi, D. Xue, P. Gu// Computer-aided design. – 42. – 2010. – P. 641–654.
- [3] Бычков, И. В. Прямая и обратная задачи формообразования / И. В. Бычков, А. К. Мялица, С. А. Третьяков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – X.: НАКУ «ХАИ», 2002. – Вып. 14. – С. 9 – 14.
- [4] Computer-Aided inspection planning – the state of the art/ F. Zhao, X. Xu, S.Q. Xie// Computers in industry. – 60. – 2009. – P. 453-466.
- [5] Free-form surface inspection techniques state of the art review/ Y. Li, P. Gu// Computer-aided design. – 36. – 2004. – P. 1395-1417.
- [6] Extrude Hone – finishing technologies, finishing solutions. [электронный ресурс], режим доступа: <http://www.extrudehone.com/media/files/capabilities.pdf>.
- [7] Барон, Ю.М. Влияние состояния кромок лезвий на эффективность режущих инструментов/ Ю.М. Барон// Инструмент и технологии. – Спб., 1997. – Вып. 5. – С.1-11.
- [8] Основы трибологии (трение, износ, смазка) / А.В. Чичинадзе, Э.Д. Браун, Н.А. Буше и др. – М.: Машиностроение, 2001. – 664 с.
- [9] Белянин, П.Н. Промышленная чистота машин / Н.П. Белянин, В.М. Данилов. – М.:Машиностроение. – 1982. – 224 с.
- [10] Жданов, А.А. Технологии термоимпульсной отделки поверхностей прецизионных деталей в авиационной промышленности и численные исследования / А.А. Жданов, А.В. Лосев // Сб. науч. трудов НАУ им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт». Сер. «Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии» – 2003. – вып. 19 – С. 174 – 183.
- [11] Burr prevention and minimization for the aerospace industry. Laboratory for manufacturing automation. Research reports 1999 – 2000. University of California, Berkeley. 2002. – P.4 – 9.
- [12] Optimization of the face milling process: tool path and tool design. Issues, Part 1. Algorithm and tool path

- design. Laboratory for manufacturing automation. Research reports 2001–2002. University of California, Berkeley. 2002. – P.61 – 68.
- [13] Планковский С.И. Современное состояние и перспективы развития технологий финишной отделки прецизионных деталей летательных аппаратов/ С.И. Планковский, А.В. Лосев, О.В. Шипуль, О.С. Борисова // Авиационно-космическая техника и технология. – 2010. – №2(69). – С.39 – 47.
- [14] Тимиркеев Р.Г. Количественные зависимости влияния параметров механических примесей на показатели надежности золотниковых агрегатов гидротопливных систем/ Р.Г. Тимиркеев, В.В. Плихунов, Н.Н. Губин // Авиационная промышленность. – 2000. – №3. – С. 102 – 105.
- [15] Macpherson P. Influence of wear debris on rolling contact fatigue. Rolling contact fatigue of bearing steels/ P. Macpherson, R. Sales. ASTM STP 771. – 1982. – P. 255 – 274.
- [16] Шнейдер, Ю. Г. Образование регулярных микрорельефов на деталях и их эксплуатационные свойства / Ю. Г. Шнейдер. Л.: Машиностроение, 1972. – 240 с.
- [17] Dornfeld D. Cleanability of mechanical components// D. Dornfeld, S. McMains, D. Arbelaez и др. University of California, Berkeley. – 2008. – 12 p.
- [18] Сломинская, Е.Н. Задача оптимизации режимов термомпульсной отделки поверхностей деталей и пути ее решения / Е.Н. Сломинская, А.В. Лосев // Авиационная промышленность. – 2000. – №2. – С. 21–23.
- [19] Лосев А.В. Отделочно-зачистные технологии в производстве летательных аппаратов и в машиностроении / А.В. Лосев, В.А. Фадеев // Авиационно-космическая техника и технология. – X., ХАИ. – 2007. – №4 (40) – С. 6–12.
- [20] Лосев, А.В. Необходимость использования отделочно-зачистных технологий в машиностроении / А.В. Лосев, О. А. Лосева, Ю.С. Дмитриевская // Металлообработка. – Спб., 2009. – Вып.1(49). – С. 2–9.

Krivtsov V.S.¹, Bychkov I.V.², Plankovskiy S.I.¹, Losev A.V.¹

¹National Aerospace University «Kharkov Aviation Institute». Ukraine, Kharkov

²A. N. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine. Ukraine, Kharkov

TECHNOLOGICAL SYSTEMS OF QUALITY ASSURANCE MACHINERY PRODUCTS

The analysis of trends in developing of production systems is done. It is shown that in order to ensure competitive quality, integration of such subsystems as dimensional processing, precision machining and finish cleaning of surfaces and edge are needed. The data of the mutual influence of technological processes of these subsystems and their impact on the final quality product are given. An analysis of modern methods of cleaning and finishing is made. It is shown that their integration into the technological systems based on advanced CAM / CAE technology is most effective when using universal methods of finishing, for example – thermalpulse.

Keywords: production systems; dimensional processing; technological processes; technological systems; CAM / CAE.

References

- [1] Bychkov, I. V. Zona formoobrazovaniya v processakh formirovaniya poverhnosti detali / I. V. Bychkov, E. N. But, A. K. Mjalica // Voprosy proektirovaniya i proizvodstva letatelnykh apparatov: sb. nauch. tr. Nac. ajerokosm. un-ta im. N. E. Zhukovskogo «KhAI». – Вып. 4 (55). – Kh., 2008. – S 35–39.
- [2] Recent development in CNC machining of freedom surfaces: a state-of-the art review/A. Lasemi, D. Xue, P. Gu// Computer-aided design. – 42. – 2010. – P. 641–654.
- [3] Bychkov, I. V. Pryamaya i obratnaya zadachi formoobrazovaniya / I. V. Bychkov, A. K. Mjalica, S. A. Tret'jakov // Otkrytye informacionnye i kompjuternye integrirovannye tehnologii. – H.: NAKU «KhAI», 2002. – Вып. 14. – S. 9–14.
- [4] Computer-Aided inspection planning – the state of the art/ F. Zhao, X. Xu, S.Q. Xie// Computers in industry. – 60. – 2009. – P. 453–466.



- [5] Free-form surface inspection techniques state of the art review/ Y. Li, P. Gu// Computer-aided design. – 36. – 2004. – P. 1395-1417.
- [6] Extrude Hone – finishing technologies, finishing solutions. [электронный ресурс], режим доступа: <http://www.extrudehone.com/media/files/capabilities.pdf>.
- [7] Baron, Ju. M. Vliyanie sostojanija kromok lezviy na effektivnost rezhushhih instrumentov/ Y. M. Baron // Instrument i tehnologii. – Spb., 1997. – Vyp. 5. – S. 1-11.
- [8] Osnovy tribologii (trenie, iznos, smazka) /A. V. Chichinadze, Y. D. Braun, N. A. Bushe i dr. – M.: Mashinostroenie, 2001. – 664 s.
- [9] Belyanin, P. N. Promyshlennaya chistota mashin / N. P. Belyanin, V. M. Danilov. – M.: Mashinostroenie .– 1982. – 224 s.
- [10] Zhdanov, A.A. Tehnologii termoimpulsnoj otdelki poverhnostey precizionnykh detaley v aviacionnoy promyshlennosti i chislennye issledovaniya / A. A. Zhdanov, A. V. Losev // Sb. nauch. trudov NAU im. N.E. Zhukovskogo «Kharkovskij aviacionnyj institut». Ser. «Otkrytye informacionnye i kompyuternye integrirovannye tehnologii» - 2003. – vyp. 19 – S. 174–183.
- [11] Burr prevention and minimization for the aerospace industry. Laboratory for manufacturing automation. Research reports 1999 – 2000. University of California, Berkeley. 2002. – P. 4 – 9.
- [12] Optimization of the face milling process: tool path and tool design. Issues, Part 1. Algorithm and tool path design. Laboratory for manufacturing automation. Research reports 2001–2002. University of California, Berkeley. 2002.– P. 61 – 68.
- [13] Plankovskiy, S. I. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya tehnologiy finishnoy otdelki precizionnykh detaley letatelnykh apparatov / S. I. Plankovskiy, A. V. Losev, O. V. Shipul, O. S. Borisova // Aviacionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya. – 2010. – №2 (69). – S.39–47.
- [14] Timirkeev, R. G. Kolichestvennye zavisimosti vliyaniya parametrov mehanicheskikh primesey na pokazateli nadezhnosti zolotnikovyykh agregatov gidrotoplivnykh system / R. G. Timirkeev, V. V. Plihunov, N. N. Gubin // Aviacionnaya promyshlennost. – 2000. – №3. – S. 102–105.
- [15] Macpherson P. Influence of wear debris on rolling contact fatigue. Rolling contact fatigue of bearing steels/ P. Macpherson, R. Sales. ASTM STP 771. – 1982. – P.255 – 274.
- [16] Shneyder, Y. G. Obrazovanie reguljarnykh mikrorelefov na detalyah i ikh ekspluatatsionnye svoustva / Y. G. Shnejder. L.: Mashinostroenie, 1972. – 240 s.
- [17] Dornfeld D. Cleanability of mechanical components// D. Dornfeld, S. McMains, D. Arbelaez и др. University of California, Berkeley. – 2008. – 12 p.
- [18] Slominskaya, E .N. Zadacha optimizacii rezhimov termoimpulsnoj otdelki poverhnostey detaley i puti ee resheniya / E. N. Slominskaya, A. V. Losev // Aviacionnaya promyshlennost. – 2000. - №2. – С. 21–23.
- [19] Losev, A.V. Otdelochno-zachistnye tehnologii v proizvodstve letatelnykh apparatov i v mashinostroenii / A. V . Losev, V. A. Fadeev // Aviacionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya. – Kh., KhAI. – 2007. – №4 (40) – S. 6–12.
- [20] Losev, A. V. Neobhodimost' ispol'zovaniya otdelochno-zachistnykh tehnologij v mashinostroenii / A. V. Losev, O. A. Loseva, Ju. S. Dmitrevskaja // Metalloobrabotka. – SPb., 2009. – Vyp.1(49). – S. 2–9.