

*Е.А. Фролов, д.т.н., проф., С.И. Кравченко, к.т.н., доц., О.Г. Носенко, асп.
Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка*

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Приведены решения повышения технического и технологического уровней производства, существенного повышения надежности и долговечности деталей машин и оборудования, снижения металлоемкости и трудоемкости изготовления технологического оснащения.

Ключевые слова: *высокие технологии, качество поверхности, нанесение и получение покрытий, надежность, долговечность, быстрое прототипирование, технология размерной обработки, технологическое оснащение.*

Введение. Современное передовое производство характеризуется как гибкое рыночно ориентированное. Это означает, что рынок определяет требования не только к конечному продукту, но и к его производству практически на всех этапах разработки и освоения.

Высокие технологии в машиностроении и их рабочие процессы следует рассматривать на общем фоне развития машиностроения и тех тенденций, которые возможно окажутся решающими при выпуске конкурентно-способной продукции.

При этом необходимо учитывать партионность, большое разнообразие типов и вариантов, а также специфичные для каждого потребителя исходные данные, повышающие требования к продукции, управлению производством, широте и глубине проектирования.

Формируется новое понимание производства: целостное рассмотрение и оптимизация потоков материалов, исключение расточительных затрат ресурсов любого вида, непрерывная оптимизация производства, применение передовых технологий и ориентация на человека, минимизация расходов при эксплуатации готовой продукции.

В связи с этим все большее внимание специалистов привлекают нетрадиционные технологии, которые в отличие от традиционных называют «наукоемкими»: интегрированные, прецизионные, нанотехнологии и др.

Анализ последних исследований и публикаций. Высокими следует считать такие технологии, которые обладают совокупностью основных признаков — наукоемкость, системность, физическое и математическое моделирование с целью структурно-параметрической оптимизации, высокоэффективный рабочий процесс размерной обработки, компьютерная технологическая среда, автоматизация всех этапов разработки и реализации при соответствующем технологическом (оснастка, оборудование, инструмент) и кадровом обеспечении, устойчивость, надежность, экологическая чистота и ресурсосбережение [1].

Столь же очевидно, что необходимо создавать новые производства «высокой технологии» особенно по тем направлениям и видам продукции, где мы занимаем передовые позиции. По этим направлениям нам не надо покупать лицензии, дорогостоящее оборудование и инструмент. А это экономит очень значительные средства, не говоря уже о престиже государства.

Цели работы. Среди вопросов, требующих исследования, разработки и интенсивного решения опережающими темпами, первоочередными являются следующие:

– создание быстро перестраиваемых комплексов различного технологического назначения, оснащенных автоматизированной и механизированной технологической оснасткой второго поколения;

- широкое применение систем автоматизированного проектирования, технологической подготовки производства и интегральных систем управления производством;
- применение принципиально новых видов материалов, обладающих по сравнению с традиционными материалами высокими физико-механическими свойствами, устойчивостью к износу и изменению геометрической формы;
- создание и совершенствование промышленной технологии и оборудования для получения широкой номенклатуры высокопрочных, коррозионностойких, жаростойких композиционных покрытий на основе вакуумно-плазменного и детонационно-газового и других высокоэффективных методов;
- широкое применение при конструировании и применении технологической оснастки композиционных материалов и пластических масс, способных заменить черные и цветные металлы и сплавы, и существенно улучшить эксплуатационные свойства, качество и долговечность оснастки;
- разработка технологии и оборудования с применением высоких давлений и вакуума для формирования и калибровки изделий сложной формы, синтеза инструмента.

Резльтирующая задача — совершенствование и дальнейшее развитие автоматизированной системы технологической подготовки и контроля производства в области управления предприятием, экономного использования материалов и решения производственных заданий.

Основными компонентами данной системы являются: 1) гибкие системы проектирования, изготовления и сборки управляемые ЭВМ; 2) высокоэффективные рабочие процессы; 3) широкая кооперация и поставка деталей строго по графику; 4) системы снабжения и обеспечения производственных процессов; 5) компьютерные автоматизированные системы (проектирование, планирование, производство, обеспечение качества, сборка).

Изложение основного материала исследований. Наиболее перспективным путем повышения производительности труда на стадии технологической подготовки производства является автоматизация на базе широкого использования средств вычислительной техники. При этом необходимо работать над разработкой единого математического и программного обеспечения, автоматизированных систем проектирования, технологической подготовки, планирования и организации производства. Говоря об экономической стороне автоматизации, необходимо подчеркнуть, что только комплексная автоматизация дает возможность создания структуры промышленного предприятия, отвечающую требованиям эффективного использования прогрессивного оборудования.

Надежность работы машин непосредственно связана с качеством поверхностного слоя деталей, который характеризуется геометрическими и физико-механическими параметрами.

От качества поверхностного слоя зависят эксплуатационные свойства — сопротивление усталости, износостойкость, коррозионная и жаростойкость, сопротивление контактной усталости и др. Оптимальная поверхность должна быть достаточно твердой, иметь остаточные сжимающие напряжения, мелкодисперсную структуру, сглаженную форму микронеровностей с большой площадью опорной поверхности.

Физико-механические параметры поверхности достигаются нанесением на них соответствующих покрытий вакуумно-плазменным, детонационно-газовым, лазерным методами, пластическим деформированием, ионным азотированием, электроискровым легированием и другими методами.

В зависимости от назначения изделия, условий его работы, материала и теплостойкости должен быть решен комплекс задач по выбору состава и конструкции покрытия, оптимизации параметров его нанесения. Так при упрочнении режущего инструмента наибольшее распространение получили покрытия на основе соединений титана — нитрид титана (TiN), карбида титана (TiC), карбонитрида титана (TiCN). Такие покрытия хотя и повышают стойкость режущих инструментов, однако, позволяют решить задачу увеличения работоспособности частично, так как эффективны при обработке легированных конструк-

ционных сталей. При резании высокопрочных сталей и сплавов инструментом с покрытием на основе титана существенного увеличения стойкости не наблюдается.

Пластические деформации в зонах стружкообразования сильно зависят от сопротивления сдвигу на участке пластического контакта.

Именно на этом участке наиболее активно реализуются диффузионные процессы между инструментальными и обрабатываемыми материалами, которые и влияют на сопротивляемость срезанного слоя пластическому сдвигу. В частности, при насыщении локальных, объемов обрабатываемого материала в зоне пластического контакта легирующими элементами из инструментального материала сопротивление сдвигу будет возрастать, это обязательно приведет к росту коэффициента деформации и сил резания. Если покрытие, наряду с высокой теплостойкостью, химически инертно к обрабатываемому материалу, то оно выполняет роль активного барьера, сдерживающего диффузию атомов инструментального материала в обрабатываемый (сходящую стружку). В этом случае сопротивление пластическому сдвигу на участке пластического контакта снижается. Это приводит к уменьшению коэффициентов деформации и сил резания.

В связи с этим, для эффективной обработки трудно обрабатываемых материалов разработан ряд покрытий для режущих инструментов, применительно к определенным группам жаропрочных и высоколегированных сталей и сплавов.

Эффективные покрытия:

- для жаропрочных деформируемых сплавов и высоколегированных сталей — композиционное покрытие нитридов титан–хром (Ti/CrN), состоящее из 30 % хрома и 70 % титана (по массе);

- для хромистых нержавеющей и хромоникелевых сталей и сплавов — композиционное покрытие нитридов цирконий–гафний (Zr/HfN), состоящее из 80 % циркония и 20 % гафния (по массе);

- для титановых сплавов — нитрид циркония (ZrN).

Нанесение этих покрытий на рекомендуемый справочной литературой режущий инструмент позволяет увеличить его стойкость в 1,6–2 раза [2].

Технологический процесс нанесения вакуумно-плазменных покрытий является многопараметрическим. Каждый из параметров или их сочетание оказывает влияние на фазовый состав, структуру и свойства покрытия. Изменение только одного параметра — давление в вакуумной камере — позволяет получить многослойную конструкцию покрытия с чередующимися по твердости слоями ($\alpha\text{-Me} + \alpha\text{-Me} \rightarrow \gamma\text{-Me} + \gamma\text{-Me}$).

Режущий инструмент с 4–6 такими слоями обладает достаточной пластичностью и эффективен при работе с ударными нагрузками и при прерывистом резании.

Получение покрытий с различными свойствами позволяет разрабатывать улучшенные конструкции деталей машин, при этом работоспособность узлов, в которые они входят, значительно повышается. Так, предложенная технология нанесения покрытия нитрида молибдена на кулак шарнира, а на сопрягаемый упор — нитрида титана, позволила снизить трение в 3 раза, увеличить чувствительность механизма в 3–4 раза и повысить общую долговечность работы механизма парораспределения турбины с 10 месяцев до 4 лет при работе в среде с температурой 260 °С.

Вакуумная технология способна также решать задачи, которые не под силу другим процессам. Для производства головок наведения управляемых аппаратов требуется коэффициент отражения сферической поверхности магнита из сплава ЮНДК-24 не менее 0,9 при работе с термоударами от +60 °С до –180 °С. Разработанный технологический процесс нанесения многослойного покрытия Zr + ZrN общей толщиной 0,4 мкм обеспечивает стабильное получение коэффициента отражения 0,92.

Свойства бомбардировки ионами низких энергий (до 2 кэВ) очищать поверхность от окисных пленок, вскрывать структурные дефекты в поверхностном слое, а также осуществлять интенсивный нагрев поверхности, могут быть использованы для создания эколо-

гически чистых технологий взамен химико-термических процессов (цианирование, азотирование) и нанесения гальванических покрытий, применяемых для улучшения эксплуатационных характеристик деталей из низкоуглеродистых сталей типа 08кп, 10, 20.

Все большее распространение получает использование вакуумно-плазменных технологий при нанесении защитно-декоративных покрытий на товары народного потребления из нержавеющей стали, нейзильбера, стекла, керамики, фосфора. Изделия при этом приобретают желаемую цветовую гамму, которая зависит как от состава реактивного газа, так и от толщины покрытия.

Повышение надежности и работоспособности наиболее ответственных и тяжело нагруженных деталей машин, работающих в условиях длительного трения, эрозионного воздействия, значительных механических и тепловых нагрузок, определяющих в связи с этим ресурс изделия, достигается методом детонационно-газового упрочнения путем нанесения на рабочие поверхности деталей упрочняющих и защитных покрытий импульсным высокоэнергетическим напылением порошкообразного материала с заданными технологическими характеристиками.

В настоящее время разработана и широко внедрена технология получения на рабочих поверхностях деталей эксплуатационного слоя с физико-механическими характеристиками, обеспечивающими оптимальные условия промышленной эксплуатации изделий.

Основными преимуществами метода детонационно-газового напыления в сравнении с другими методами газотермического высокотемпературного напыления (электродуговая металлизация, газопламенное и плазменное напыление) являются:

- возможность нанесения покрытий на холодную деталь (без необходимости предварительного, сопутствующего либо последующего ее нагрева);
- высокая прочность сцепления (адгезия) покрытия с материалом детали (до 250 МПа);
- высокая плотность покрытий (до 99 %);
- незначительный нагрев детали при напылении (до 200 °С), что позволяет наносить покрытия на окончательно обработанные детали;
- возможность нанесения чрезвычайно широкого круга материалов (металлов и сплавов, различных видов керамики — оксидов, карбидов и т. д., металлокерамики, а также их смесей).

Эффективность применения детонационных покрытий связана, прежде всего, с повышением срока службы упрочненных деталей. Причем, увеличение затрат на их изготовление значительно ниже по сравнению с экономией от увеличения срока их службы. Кроме того, детонационное напыление в целом ряде случаев позволяет заменить дорогостоящие стали и цветные металлы на более дешевые недефицитные материалы за счет придания необходимых эксплуатационных свойств только рабочим поверхностям, непосредственно подверженным влиянию неблагоприятных факторов, вместо упрочнения детали в целом. Все вместе это обуславливает получение значительной экономии материальных и энергетических ресурсов, а также улучшение экологической ситуации.

С помощью широко применяемых технологий окончательной обработки (шлифование, хонингование, доводка) создается необходимая форма поверхности с заданной точностью. Однако в ряде случаев традиционные технологии не обеспечивают оптимальное качество и точность рабочих поверхностей.

В этих случаях целесообразно использовать технологии поверхностного пластического деформирования (обкатывание и раскатывание шаровым и роликовым инструментом, алмазное выглаживание, ударная обработка специальным инструментом).

В результате упрочняется поверхностный слой, повышается износостойкость, стойкость к коррозионным воздействиям и др. Во многих случаях удается повысить запас прочности деталей, работающих при переменных нагрузках в 1,5–2 раза.

Другим перспективным направлением при изготовлении и ремонте деталей является отделочно-зачистная обработка и одна из ее разновидностей — виброобработка. Широкие

технологические возможности этого метода в сочетании с высокой производительностью на очистных, доделочных, шлифовально-полировальных и упрочняющих операциях поставили его в число наиболее приемлемых и перспективных способов обработки деталей.

Работа виброустановок основана на принципе неуравновешенного момента, создаваемого при помощи грузов, закрепленных на концах вала вибратора. Механические колебания рабочей среды и обрабатываемых деталей при этом составляют 20–50 Гц с амплитудой от 1 до 10 мм.

В зависимости от назначения технологической операции, материала детали и способа ведения процесса состав рабочей среды может быть: твердых абразивов, неабразивных материалов, жидких наполнителей в виде водных растворов с различного рода добавками (моющие, разделяющие, травящие, пассивирующие и др.). На виброустановках обрабатывается широкая номенклатура деталей (крепеж, корпуса, соединительная арматура, валики, лопатки и др.).

Особый интерес представляет дальнейшее развитие и широкое применение технологии быстрого изготовления заготовок деталей, получаемых точным литьем в оболочковые формы на базе систем быстрого прототипирования [3].

Система быстрого прототипирования позволяет получать физическую копию трехмерной компьютерной модели детали любой сложности, запроецированной с помощью различных систем САПР.

В основе этой технологии лежит процесс выращивания физической копии компьютерной модели последовательно отверждением полимерной жидкости (метод стериолитографии) или из слоев ламинированной бумаги, фольги путем ее послойного раскроя лучом лазера с последующим термопрессованием слоев (метод тонких пленок).

При использовании традиционной технологии нужны две металлические пресс-формы: модельная и стержневая, очень дорогостоящие и трудоемкие.

Применение же систем быстрого прототипирования позволяет сократить до 70 % время и трудоемкость создания прототипа изделия; создается полная индивидуализация прототипа, а сам технологический процесс является экологически чистым и безотходным.

Технологическая ниша данных технологий — изготовление опытных образцов и первых комплектов деталей, отработка конструктивных вариантов изделий сложной формы.

Размерная обработка является определяющей в цепочке технологических переделов, так как она в основном обеспечивает реализацию замысла конструктора по созданию деталей с заданными служебными свойствами. Кроме этого совершенствование технологии размерной обработки, на долю которой приходится не менее 40 % общей трудоемкости изготовления машин (около 80 % их деталей подвергаются размерной обработке), определяет технический прогресс в машиностроении.

Основные направления развития технологии размерной обработки, учитывающие как организационные технические факторы, так и рабочие процессы размерной обработки:

- разработка новых принципов организации технологии, дающих возможность управлять ее параметрами и структурой в цикле проектирования и изготовления;
- интенсификация и повышение качества за счет новейших и синтеза существующих рабочих процессов;
- создание новых прогрессивных средств технологического оснащения (оборудование, оснастка, инструмент), в том числе гибких модулей.

Основные направления развития обработки резанием связаны с ее интенсификацией за счет новейших и синтеза существующих методов обработки. Основная тенденция — смещение технологических показателей в размерной обработке в направлении более высокой степени точности и качества в результате изменения соотношения отдельных видов обработки. Уменьшается объем токарной обработки за счет внедрения абразивной обработки, увеличивается доля прецизионного шлифования и, напротив, внедрение лезвийной обработки сверхтвердыми материалами может вытеснить абразивную обработку.

В то же время, лезвийная обработка будет использовать методы сверхскоростного резания, позволяющего повысить скорости и подачи в несколько раз по сравнению с существующими на сегодняшний день. Так, например, для фрезерования до 100 м/с и 14000 мм/мин.

Соответственно, новый уровень финишной обработки может быть достигнут на основе развития триботехнологии. Триботехнология финишной обработки обеспечивает создание практически безизносных пар трения за счет комбинированного воздействия алмазно-абразивного, деформирующего и антифрикционного инструмента, обеспечивающего управление как геометрическими, так и физико-химическими параметрами поверхности. При этом обеспечивается повышение ресурса пар трения в 3–10 раз.

В области электрохимической обработки (ЭХО) и электрофизической обработки (ЭФО), и комбинированных методов обработки можно отметить следующие основные тенденции развития:

- более широкое использование комбинированных методов шлифования на основе использования традиционных методов, электроэрозионных (ЭЭ) и электрохимических (ЭХ) методов обработки, эрозионно-химической обработки, совмещение ультразвуковой и ЭЭ обработки;

- применение плазменно-механической обработки, обеспечивающей повышение производительности в 1,2–10 раз, и стойкости режущего инструмента в 2–5 раз [4].

При обработке ювенильных, (сверхгладких и сверхчистых) поверхностей деталей с субмикронной точностью применяются методы нанотехнологии, базирующейся на принципиально новых физико-химических процессах размерной обработки, обеспечивающих шероховатость в тысячных долях мкм.

В области технологической оснащенности перспективы технического совершенствования автоматизированных производств требуют создания гибких средств технологического оснащения. Материальной базой в данном случае является система переналаживаемой технологической оснастки (ПТО).

Рассматривая перспективы теории и практики размерной обработки, следует считать, что их теоретическими основами являются последние достижения фундаментальных наук, которые дают возможность применять для изготовления машин все многообразие возможных физико-химических явлений; особо эффективны разработки по созданию комбинированных методов обработки, использующих последовательное или одновременное воздействие ряда механических, электрических, магнитных процессов.

В ряде изделий предприятий отрасли применяются сложно рельефные детали из высокопрочных и трудно деформируемых материалов и сплавов, изготавливаемые методами глубокой вытяжки и рельефной формовки в несколько переходов с последующим выполнением различных разделительных операций: вырубки, пробивки, обрезки по контуру и т. д. Изготовление комплектов крупногабаритных штампов для производства этих деталей связано с большими техническими трудностями, а в ряде случаев экономически нецелесообразно. Время их изготовления может составлять от 8 месяцев до 1 года, что совершенно не соответствует быстрой сменяемости объектов производства.

В настоящее время при производстве сложно профильных деталей все шире применяются высокоэнергетические методы штамповки, наиболее перспективным из которых является метод ударной импульсной штамповки, осуществляемый с энергией до 63 кДж. Отличительной особенностью метода является осуществление деформирования материала импульсом высокого давления. Дальнейшее развитие и широкое внедрение данного метода сдерживается из-за отсутствия технологического оборудования большой мощности.

Наиболее перспективными направлениями в области технологии и оборудования для ударной импульсной штамповки являются:

- разработка гидроударного и пневмоударного оборудования с энергией импульса 75–100 кДж, работающего в автоматическом и полуавтоматическом режиме (габаритные размеры штампуемых деталей — 750×1000 мм);

- разработка технологии получения сложно профильных деталей за один переход в одной матрице с доведением толщины штампуемого металла для трудно деформируемых малопластичных материалов до 3,0 мм, а легированных — до 6,0 мм;
- интенсификация процессов ударной импульсной штамповки за счет использования пластифицирующих покрытий на основе меди и цинка;
- расширение номенклатуры деталей, штампуемых полиуретаном на ударном оборудовании.

Применение метода ударной импульсной штамповки позволит сократить сроки, технологической подготовки производства за счет простоты и дешевизны штамповой оснастки в 2–3 раза, уменьшить стоимость и количество необходимых штампов в 3–5 раз, снизить их металлоемкость на 50–80 %.

Выводы. Путем реализации предложенных решений предусматривается радикально повысить технический и технологический уровень производства, существенно повысить надежность и долговечность деталей машин и оборудования, снизить металлоемкость и трудоемкость изготовления технологической оснастки, обеспечить экономию конструкционных, быстрорежущих и инструментальных сталей, сократить сроки технологической подготовки производства, создать технологические заделы для разработки техники нового поколения.

Литература

1. Мовшиович А.Я. Основные тенденции развития высоких технологий в машиностроении [Текст] / А.Я. Мовшиович // Сб. науч. тр. НТУ «ХПИ». – 2001. – Вып. 11. – С. 8–11.
2. Нанесение износостойких покрытий на быстрорежущий инструмент [Текст] / Ю.Н. Внуков, А.А. Марков и др. – К.: Техника, 1992. – 143 с.
3. Товажнянский Л.Л. Интегрированные технологии ускоренного прототипирования и изготовления [Текст]: моногр. / Л.Л. Товажнянский, А.И. Грабченко, С.И. Чернышови др.: под. ред. Товажнянского Л.Л., Грабченко А.И. – 2-е изд., перераб. и доп. – Х.: Модель Вселенной, 2005. – 224 с.
4. Фролов С.А. Технологічні аспекти керування якістю виробів машинобудування [Текст]: моногр. / С.А. Фролов, В.В. Муравльов, О.В. Нижник та ін.: під ред. С.А. Фролова. – Х.: ТОВ «Щедра садиба плюс», 2014. – 240 с.: іл.

© Е.А. Фролов, С.И. Кравченко, О.Г. Носенко

*С.А. Фролов, д.т.н., проф., С.И. Кравченко, к.т.н., доц., О.Г. Носенко, асп.
Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка*

ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ВИСОКИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МАШИНОБУДУВАННІ

Приведені рішення підвищення технічного і технологічного рівнів виробництва, суттєвого підвищення надійності і довговічності деталей машин та обладнання, зниження металоємкості та трудомісткості виготовлення технологічного оснащення.

Ключові слова: високі технології, якість поверхні, нанесення й отримання покриттів, надійність, довговічність, швидке прототипування, технологія розмірної обробки, технологічне оснащення.

*Ye.A. Frolov, Doctor of Technical Sciences, Professor, S.I. Kravchenko, Ph.D., Associate Professor, O.G. Nosenko, Post-graduate student
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University*

THE MAIN TENDENCIES OF DEVELOPMENT OF HIGH TECHNOLOGY IN ENGINEERING

Decisions of increasing technical and technological levels of production, substantial increasing of reliability and longevity of details of machines and equipment, reduction of metal intensiveness and labour intensiveness of making the technological equipment were brought.

Keywords: high technologies, quality of surface, causing and receipt of coverages, reliability, longevity, rapid prototyping, technology of size treatment, technological equipment.