

В.С. Коваленко

МАШИНОСТРОЕНИЕ В НОВОМ ТЫСЯЧЕЛЕТИИ

*Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”,
пр. Перемоги, 37, 03056, Киев, Украина*

Двадцатый век принес человечеству небывалый расцвет науки и техники, современная промышленность стала решающим фактором в развитии экономики ведущих стран мира.

Несмотря на предлагаемую в последние годы модель развития цивилизованных стран по сценарию: индустриальное общество – информационное общество, как первая стадия постиндустриального общества, роль промышленного развития и, в частности, развития машиностроения ни в коей мере не у mažается. Наоборот, промышленность, машиностроение создают новые возможности для развития материальной базы информационных технологий, которые в свою очередь способствуют дальнейшему совершенствованию первых. Так, появление мощных быстродействующих компьютеров позволило выйти современным технологиям, машиностроению в целом на качественно новый уровень. Этому также способствуют и новые концепции и воззрения, получаемые в последние годы все большее признание и развитие в машиностроении. В то же время близится приход новых поколений компьютерной техники с уникальными возможностями: оптические, компьютеры на базе ДНК, молекулярные, квантовые. Создание таких компьютеров невозможно без разработки и использования новейших высоких технологий, интенсивного развития индустриального потенциала общества. Таким образом, будущее машиностроения видится как прочный сплав новейших технологий обработки материалов, изготовления изделий и новейших компьютерных технологий.

Концепция жизненного цикла в реализации продукта

Современное общество требует от инженера-машиностроителя решения комплексной проблемы – создаваемый продукт должен отвечать следующим требованиям:

Для выполнения указанных требований и обеспечения контроля над их соблюдением весь жизненный цикл продукта (изделия) должен представлять собой взаимосвязанную систему, все этапы которой (проектирование – изготовление – сбыт – эксплуатация – утилизация) жестко детерминированы и представляют собой замкнутую систему. Причем уже на стадии проектирования должны просматриваться основные характеристики последующих стадий (рис.1). Возможность получения максимальной информации на ранних стадиях цикла позволяет оценивать, анализировать, сравнивать и оптимизировать состояние изделия на каждой стадии и, в результате, вносить необходимые коррективы при минимальном уровне затрат на их реализацию. Совершенно очевидно, что воплощение данной концепции в практику требует использования новейших мощных быстродействующих компьютеров, составление объемных банков данных, разработки специального программного продукта.

Технологии на основе виртуальной и усиленной реальности в реализации продукта

Вне зависимости от вида продукта при его реализации обычно учитывается три вида факторов:

– профессиональные. Специалисты разных профессий, разного уровня, с разными представлениями участвуют в реализации продукта. Для устранения трудностей взаимопонимания, временных затрат при их общении для достижения общей цели нужен эффективный универсальный инструмент (методика, технология и пр.);

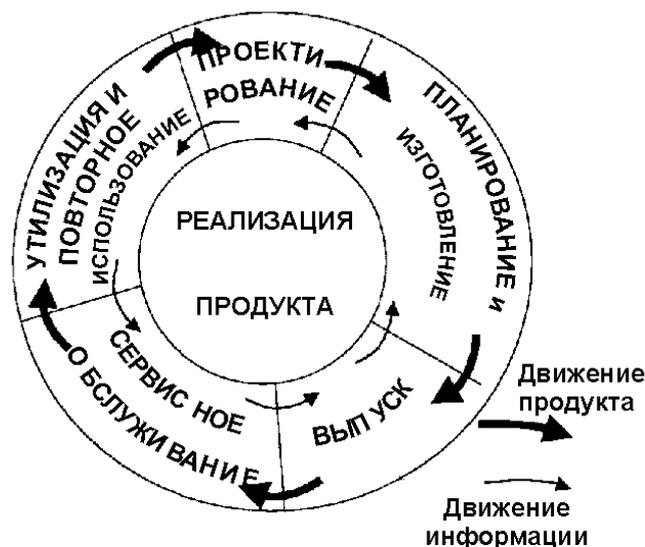


Рис. 1. Концепция жизненного цикла реализации продукта:

1 – оптимально выполнять предназначенную функцию; 2 – не причинять вреда экологии в процессе изготовления, эксплуатации и утилизации; 3 – иметь оптимальную себестоимость, материалоемкость, энергоемкость и т.п.

– географические. В глобальном рынке для эффективной реализации продукта разные стадии реализации происходят в разных местах (предприятиях, странах, континентах). Поэтому для достижения цели нужно преодолеть дистанционные, языковые барьеры, учесть местные традиции, обычаи, особенности и т.п.;

– временные. Для синхронизации всех стадий реализации продукта в разных условиях различных временных зон также нужен универсальный быстродействующий инструмент, который легко интегрируется в современные средства связи (электронная почта, спутниковая связь и т.п.).

Все эти социально-ориентированные проблемы могут быть комплексно решены лишь при эффективном использовании новых компьютерных информационных технологий, реализующих возможности современных мощных быстродействующих компьютеров.

В технологиях, основанных на виртуальной реальности (ВР), генерируемая компьютером среда полностью оторвана от реального мира, а пользователь целиком погружен в виртуальный мир. В технологиях, основанных на усиленной реальности (УР), виртуальная среда является лишь частичным представлением реального мира, на который она проецируется. Пользователь же полностью не погружен в виртуальный мир.

В технологиях, основанных на комбинации виртуальной и усиленной реальности (ВУР), создается виртуальная среда, которая может быть использована на каждой стадии жизненного цикла реализации продукта. Созданная с помощью ВУР среда дает возможность разработчику представить себе, как продукт будет обрабатываться на каждой стадии жизненного цикла его реализации, и при этом разработчик может виртуально вмешиваться в процесс на этапе проектирования с целью повышения эффективности всего жизненного цикла продукта [1]. На рис. 2 показана схема получения разработчиком комбинированной (виртуальной и реальной) визуальной информации с помощью специального информационного головного шлема. По одному каналу информация от компьютера подается через монитор в поле зрения разработчика. При использовании специального оптического устройства, установленного в поле зрения разработчика, подаваемое виртуальное изображение комбинируется (накладывается) с реальным изображением, наблюдаемым разработчиком в реальной среде на разных стадиях жизненного цикла продукта. Положение головы при этом оценивается соответствующими датчиками с тем, чтобы синхронизировать во времени и пространстве информационные потоки по двум каналам.

Быстро перестраиваемые производственные системы

Динамичные социальные и технологические изменения, характерные для второй половины XX столетия, равно как и возрастающая глобализация экономической конкуренции требуют разра-

ботки производственных систем, быстро адаптирующихся к динамичным изменениям рынка. Эволюция производственных систем для этого периода может быть представлена в следующем виде:

I. Поточные автоматизированные линии (DML – Dedicated Manufacturing Lines). Предложены в начале 60-х годов. Характеризуются высокой производительностью, ограниченной номенклатурой изделий, низкой конкурентоспособностью.

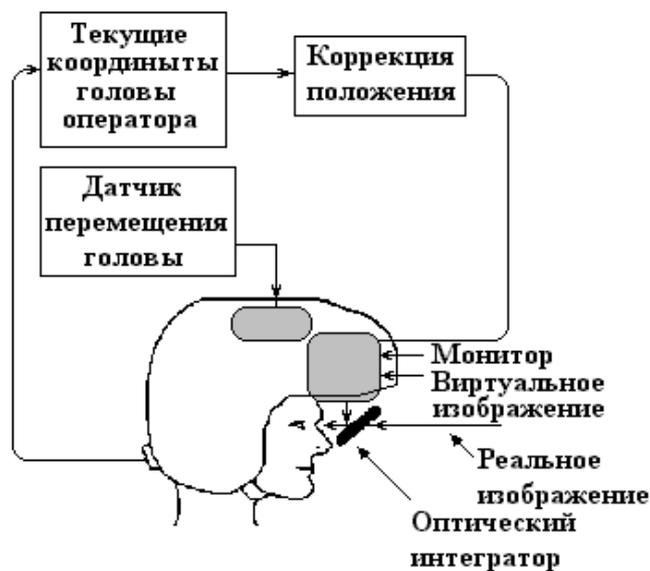


Рис. 2. Схема реализации продукта с помощью технологии на основе усиленной реальности.

II. Гибкие производственные системы (FMS – Flexible Manufacturing Systems). Предложены в начале 70-х годов. Характеризуются высокой производительностью, расширенной номенклатурой, недостаточной конкурентоспособностью.

III. Быстро перестраиваемые производственные системы (RMS – Reconfigurable Manufacturing Systems). Предложены в середине 90-х годов. Характеризуются высокой производительностью, отсутствием ограничений по номенклатуре, высокой конкурентоспособностью.

Последний тип производственных систем, основанный на гибком использовании блочных элементов оборудования, позволяет быстро перенастраивать производство в соответствии с постоянно изменяющимися потребностями рынка [2]. Очевидно, он будет характерен и для начала нового столетия.

Новые концепции в проектировании машин

Главное направление в разработке машиностроительной техники и в частности станков – создание интеллектуальных машин, производственных систем, способных самостоятельно адаптироваться к изменяющимся условиям, выбирать оптимальные условия функционирования.

В то же время предлагается новая парадигма в создании машин: вместо разработки машины, которая может выполнять любую работу человека, нужно создавать машины для выполнения работ, которые человек не может выполнять, или не хочет выполнять. При автоматизации и роботизации машиностроения должны учитываться важные социально-экономические факторы:

- наличие работы для человека;
- справедливость распределения доходов в «автоматизированном» обществе.

Интенсивно развиваются станки с параллельной кинематикой, что позволяет уйти от значительных усилий резания, массивных узлов, мощных приводов при создании обрабатывающего оборудования. При этом используются главные базовые механизмы типа – трипода, гексапода, гексаглайда (Tripod, Hexapod, Hexaglide). В таких системах компактная рабочая головка (шпиндель) с помощью трех и более телескопических подвижных стоек имеет возможность сообщить скоростной шаровой фрезе 6 степеней свободы при обработке деталей сложной пространственной формы.

Главное достоинство такого оборудования – параметры процесса обработки могут постоянно уточняться, а управляющий алгоритм может адаптироваться к изменяющимся условиям. Такие машины являются хорошим примером реализации базовой идеи замены материалоемких систем программным продуктом. Для использования всего потенциала новой концепции создания станков

должны быть предусмотрены возможности самокалибровки инструмента, адаптивного изменения подачи, скорости резания, полного контроля процесса.

Повышение надежности и долговечности деталей и инструмента

Среди различных методов повышения надежности и долговечности деталей машин и инструмента особое внимание привлекают поверхностные упрочняющие технологии – классические методы химико-термической обработки, методы поверхностного пластического деформирования, упрочнение плазменной струей, лазерное упрочнение, нанесение износостойких покрытий, комбинированные методы упрочняющей обработки и т.п.

В частности, в инструментальной промышленности возрастает роль износостойких покрытий, наносимых на рабочие поверхности режущего инструмента. В промышленно развитых странах уже сейчас от 40 до 80% всех операций механической обработки осуществляется режущим инструментом с износостойкими покрытиями. Причем в больших компаниях используется до 65% таких инструментов, в то время как в малых – до 35%. Наиболее распространенными износостойкими покрытиями являются карбиды и нитриды титана (TiN, TiC). Доля инструментов с такими покрытиями от общего количества инструментов с покрытиями составляет 2/3 [3]. Среди новых композиций для износостойких покрытий перспективными являются MoS₂, WC/C и др.

Удобным и перспективным средством повышения эксплуатационных характеристик деталей, инструмента, штампов, пресс-форм является лазерное поверхностное упрочнение. С помощью современного оборудования операция упрочнения осуществляется с высокой производительностью при малых затратах, обеспечивая повышение износостойкости в 3-6 раз. Оптимизация процесса позволяет существенно повысить эффективность лазерного поверхностного упрочнения [4].

Для упрочнения рабочих поверхностей значительной площади наиболее целесообразно использовать плазменную струю. Этот способ и в дальнейшем будет оптимальным при необходимости повышения износостойкости поверхности крупных прокатных валков, рабочих поверхностей различных габаритных деталей.

Микро- и нанообработка

В машиностроении ряда стран, не имеющих энергетических и сырьевых ресурсов, но обладающих значительным интеллектуальным и техническим потенциалом, серьезный акцент делается на развитии наукоемких технологий и оборудования, связанных с миниатюризацией выпускаемой продукции, снижением уровня ее материалоемкости и энергоемкости. Прежде всего, среди таких стран следует назвать Швейцарию и Японию, известных своими уникальными разработками в часовой промышленности и в приборостроении. Большое внимание этому направлению развития машиностроения и приборостроения уделяется также в США, Германии, Великобритании и Франции.

Япония добилась огромных успехов в области микротехники и микротехнологии и успешно осваивает диапазон наноразмеров в технике и технологии. Учитывая важность и приоритетность для страны развития данного научного и технологического направления правительством утвержден Национальный проект по разработке микротехники и микротехнологии. В рамках этого проекта в декабре 1999 г. в Токио состоялась выставка микро станков для обработки и сборки супермалых деталей и узлов. Такие детали и узлы необходимы для создания микро- и наноприборов, суперкомпактных механизмов, например, микронасосов для перекачки крови при локальной блокировке кровеносных сосудов, нанороботов для перемещения внутри кровеносных сосудов при выполнении уникальных операций и пр.

При освоении нанотехники и нанотехнологии используется опыт, накопленный в экспериментальной физике при манипулировании со сверхмалыми частицами с точностью до нанометров. Так, специалистами ряда научных центров Швейцарии, а также японскими учеными разрабатывается наноробот для выполнения сверхпрецизионных операций (рабочая зона робота составляет 1 см, точность выполнения операций – 10 нм) [5].

Рассматриваемое направление будет активно развиваться в будущем, так как позволит более рационально использовать материальные и энергетические ресурсы при изготовлении сложных наукоемких изделий, даст возможность выйти на принципиально новые технические решения.

Синтез трехмерных объектов

В последние годы заметно возрастающее влияние естественных наук на развитие техники и, в частности, на развитие машиностроения. Это существенно отразилось на становлении биомеханики, бионики и других современных отраслей науки и техники. В технологии обработки материалов это влияние проявилось в использовании естественного принципа роста биологических объектов.

С использованием новейших достижений науки и техники от классического принципа – послойного удаления с заготовки всего лишнего до получения детали заданной формы и размеров удалось прийти к реализации качественно нового принципа – послойному наращиванию (росту) детали до получения изделия с требуемыми параметрами. Особая роль в разработке различных методов синтеза трехмерных объектов принадлежит лазерному излучению [6], хотя для некоторых методов возможно использование электроразрядного, электрохимического и других процессов воздействия на материал.

В зависимости от особенностей технологии, типа используемого лазерного излучения и материала выращиваемого объекта процесс известен под следующими названиями:

Optical Fabrication (OP) – оптическая обработка;

Rapid Prototyping (RP) – быстрое прототипирование;

3D-component Forming (3DCF) – формирование трехмерных объектов;

Solid Freeform Fabrication (SFF) – получение изделий сложной формы;

Stereolithography Processing (SLP) – стереолитографическое изготовление;

Laminated Object Manufacturing (LOM) – изготовление слоистых объектов;

Direct Light Fabrication (DLF) – изготовление направленным светом;

Selected Laser Sintering (SLS) – избирательное лазерное спекание.

Разработка технологий синтеза трехмерных объектов позволяет изготавливать детали с заданными свойствами различных участков детали, значительно сократить цикл от чертежа к готовому изделию, очень быстро (в течение нескольких часов) изготовить деталь (или ее модель, прототип) сложной пространственной формы без использования специального инструмента и оснастки.

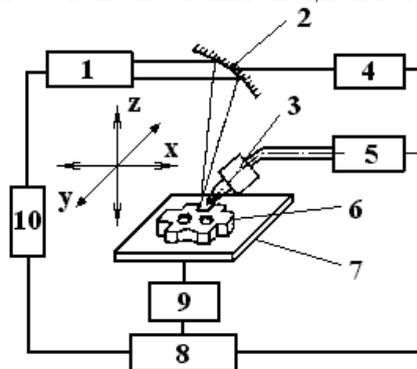


Рис. 3. Схема синтеза трехмерных объектов из металлических порошковых материалов сканирующим лазерным излучением:

1 – лазер; 2 – сканатор; 3 – порошковый питатель; 4 – привод сканатора; 5 – смеситель порошков; 6 – выращиваемый объект; 7 – рабочий стол; 8 – система управления; 9 – привод стола; 10 – источник питания оборудования.

До недавнего времени, пользуясь рассматриваемыми технологиями, можно было изготавливать детали в основном из различных видов пластмасс, керамики, плотной бумаги, пропитанной клеем, металлических пластин и фольг. Серьезные успехи, достигнутые в последние годы в области лазерной наплавки металлических композиций, позволили реализовать технологию выращивания трехмерных металлических объектов (рис. 3) [6]. В этом случае можно программировать не только форму и размерные характеристики получаемых деталей, но и состав материала, а, следовательно, и свойства детали в разных ее сечениях. Благодаря таким уникальным характеристикам технологии она в ряде случаев получила и новое название – прямое осаждение металла (DMD – Direct Metal Deposition). Такая технология очень перспективна для получения сложных полостей штампов, литейных форм, пресс-форм, другой оснастки для изготовления деталей давлением, а также для ремонта износившихся участков такой дорогостоящей оснастки [7].

По принципу синтеза трехмерных объектов при создании моделей (прототипов) изделий предложена технология послойного “выращивания” объекта путем локального замораживания микропорций воды, подаваемой от дозатора по программе сканирующим соплом. Полученная модель может быть использована для получения, например, полости крупногабаритной литейной формы. Определяются другие возможные области использования новой технологической разработки [8].

Очевидно, что в будущем с увеличением сложности пространственной формы изделий, неизбежным ростом номенклатуры таких изделий при одновременном снижении серийности выпуска,

необходимости частых изменений выпускаемой продукции, диктуемых потребностями рынка, роль различных технологий синтеза трехмерных изделий неизмеримо возрастет.

Лазерная технология

В этой сравнительно новой области науки и техники в последние годы наблюдается настоящий бум, связанный как с созданием новых типов лазеров, так и с появлением новых применений лазерного излучения. Одним из главных недостатков лазерных систем до недавнего времени считался низкий КПД излучателей, приводящий к большому потреблению электроэнергии, требующий использования специальных систем охлаждения, обуславливающий значительные габариты технологического оборудования. Появление надежных и доступных полупроводниковых лазеров (имеющих КПД до нескольких десятков процентов) позволило использовать их для накачки мощных лазеров на твердом теле, что повысило эффективность лазеров на алюмоиттриевом гранате (АИГ), а также значительно упростило конструкцию технологических установок. Сейчас уже разработаны установки с мощностью излучения до нескольких киловатт. Их можно использовать для упрочнения, сварки, наплавки и т.п. Следующим шагом является создание малогабаритных матричных полупроводниковых лазеров мощностью до нескольких сотен ватт, которые в скором времени явятся серьезными конкурентами другим существующим типам лазеров. Излучение этих лазеров так же, как и излучение твердотельных лазеров на АИГ может сравнительно легко транспортироваться на значительные расстояния, подаваться в труднодоступные места с помощью оптических волоконных световодов, что является важным достоинством указанных типов лазеров.

Совершенно новые технологические возможности предлагают так называемые световолоконные лазеры (Fiber Optics Laser). В них активной средой является само волокно, компактно собранное на катушке, а оптическая накачка осуществляется полупроводниковыми лазерами. Излучение эмиттируется из торца волокна. В настоящее время уже имеются образцы таких лазеров с мощностью излучения до нескольких десятков ватт. Усилия специалистов направлены на достижение мощности на 2–3 порядка выше [9].

Появились также довольно надежные эксимерные лазеры, генерирующие излучение в ультрафиолетовой области электромагнитного спектра. Благодаря очень малой длине волны излучения и наносекундным импульсам с помощью этих лазеров удастся выполнить уникальные операции микрообработки с высокой производительностью. Применение ультрафиолетового лазерного излучения для суперфинишной обработки оптических поверхностей и ответственных элементов оптоэлектроники позволяет получить качество поверхности, не достижимое никакими другими существующими методами. Такая лазерная поверхностная обработка позволяет управлять параметрами микрорельефа поверхности в пределах от нескольких нанометров до долей нанометра. Так, при суперфинишной лазерной обработке поверхности монокристалла кремния съем материала составляет 0,32 ангстрема за импульс [10]. Такое качество поверхности необходимо, например, при суперфинишной обработке ответственных деталей рентгеновского телескопа, создаваемого в соответствии с Национальным проектом Японии, для поиска новых галактик и изучения высокоэнергетических астрофизических явлений.

Вместе с тем до сих пор актуальны и находят широкое распространение лазеры на CO_2 . Несмотря на ряд недостатков на сегодняшний день они обеспечивают самую высокую среднюю мощность излучения относительно доступными средствами. Наиболее распространены лазерные производственные комплексы с уровнем мощности 2–6 кВт. При многолучевой обработке используются лазеры мощностью 15–45 кВт. В связи же с конверсией военно-промышленного комплекса изучается возможность применения для промышленных целей сверхмощных лазеров на CO_2 [11].

Особые перспективы развития лазерная технология имеет в автомобилестроении в связи с началом широкого использования листового алюминия и его сплавов при изготовлении кузовов автомобиля. Эта тенденция развивается в связи с тем, что применение алюминия ведет к 25% сокращению затрат на изготовление автомобиля и дает существенные выгоды при его эксплуатации (в частности, сокращение расхода топлива благодаря уменьшению веса). Широкое же применение алюминия в автомобилестроении возможно лишь при использовании высокоэффективных процессов лазерного раскроя и лазерной сварки листового алюминия.

Наряду с совершенствованием уже ставших традиционными лазерных технологий размерной обработки, упрочнения, сварки и т.д. среди новых применений лазера нельзя не упомянуть лазерную маркировку, гравирование изделий, нанесение закодированных аудио- и видеoinформации на компакт-диски, что равнозначно революции в информационных технологиях. Возможности совершенствования в этой области далеко не исчерпаны, особенно в плане повышения разрешающей

способности и, следовательно, компактности различных систем при разработке лазеров с очень малыми длинами волн излучения.

Большие резервы в расширении возможностей использования лазерного излучения кроются не только в уменьшении длины волны излучения, но и в сокращении длительности лазерных импульсов. Так, при использовании фемтосекундных импульсов реализуется механизм разрушения материала путем абляции, что позволяет реализовать особо качественную прецизионную размерную обработку (без следов оплавления или испарения материала) [12].

Развитие лазерной технологии далеко от насыщения и в будущем можно предвидеть целый ряд ярких новых уникальных применений лазерной техники и технологии [13].

Другие нетрадиционные методы обработки материалов

Эти методы обработки охватывают все технологии, основанные на механизмах, отличных от механического воздействия на материал. До недавнего времени их объединяли названием «Электрофизические и электрохимические методы обработки». В связи с появлением процессов, не вписывающихся в эту систему, получают распространение новые названия – «физико-технические методы обработки», «обработка материалов по специальным технологиям», «нетрадиционные методы обработки». В последнее время эти методы интенсивно развиваются, и прогнозируется их еще более активное развитие и внедрение в производство.

Электрохимическая обработка занимает прочные позиции в аэрокосмическом комплексе при необходимости изготовления сложнопрофильных деталей из труднообрабатываемых жаропрочных сплавов. Высокая производительность и качество обработки, отсутствие остаточных напряжений, зоны термического влияния, заусенцев после обработки являются существенными достоинствами технологии, определяющими ее дальнейшее использование и развитие [14].

Электроразрядная обработка является до сих пор одним из самых распространенных методов нетрадиционной обработки и благодаря своим уникальным возможностям и достигнутому уровню развития останется таковым и в ближайшие годы. Особенно интересные результаты следует ожидать в микрообработке, где уже и сейчас имеются уникальные достижения [15].

Биообработка. Очень необычный метод биологической размерной обработки металлических материалов разрабатывается в лаборатории нетрадиционной обработки Университета Окаяма в Японии. Суть предложенного метода заключается в использовании для сверхлокального разрушения материала особого вида бактерий, способных "перерабатывать" или "есть" металл. В природе существуют микроорганизмы, которые в качестве источника энергии используют энергию окисления неорганического вещества (например, железа, серы). Это бактерии типа тиобацилус феррооксидант (*Thiobacillus ferrooxidans*) и тиобацилус тиооксидант (*Thiobacillus thiooxidans*). Так, например, бактерия тиобацилус феррооксидант может получить энергию при окислении двухвалентного железа. Эта бактерия имеет очень малые размеры – диаметр около 0,5 мкм, длина 1 мкм, что является большим преимуществом при микрообработке (нанообработке), так как объемы удаляемого материала будут очень малы. Другим преимуществом такого вида обработки является полное отсутствие дефектного слоя или зоны термического влияния после выполнения процесса.

При обработке поверхность материала, не подлежащая обработке, изолируется путем нанесения маски на поверхность фотолитографическим способом. При экспериментальных исследованиях обнаружено влияние различных факторов на производительность процесса (съем материала), что позволяет в широких пределах управлять процессом обработки [16].

Предложенный новый метод микрообработки делает лишь первые шаги, но уже сейчас видны уникальные возможности его дальнейшего использования при изготовлении микро- и наноизделий.

Очевидно, что разработка и изготовление машин и приборов новых поколений в будущем будут возможны лишь при широком использовании рассмотренных физико-технических методов обработки материалов и других видов нетрадиционных технологий.

Некоторые проблемы инженерного образования

До недавнего времени общество недооценивало роль и значение инженерного образования. Вспомним падение престижа инженерных специальностей на Украине, в различных странах СНГ в последние два десятилетия. Подобное наблюдалось и в наиболее индустриально развитых странах. Так, в Германии в последние десятилетия наблюдалось снижение интереса молодежи к инженерным наукам до 30% [17]. Масс-медиа, школы ориентировали выпускников на овладение гуманитарными специальностями, обучение праву, менеджмента, маркетинга, социологии и т.п. Подобное наблюдалось и в США, и в Японии, и в ряде других стран. В результате это привело к отсутствию квалифици-

рованных кадров в ряде приоритетных отраслей науки и техники [18], а во многих случаях даже к весьма плачевным последствиям. Так, в Японии, известной сверхвысоким уровнем индустриализации, в последние годы наблюдались серьезные техногенные аварии – на атомной станции вблизи Токио, в туннелях сверхскоростного поезда “шинкансен”, при запуске японской ракеты со спутником и др. В условиях очень высокой плотности населения на японских островах такие аварии могли привести к чрезвычайным последствиям. Общественность страны видит одну из причин создавшейся ситуации в дезориентации школьников при выборе профессии и отвлечении талантливой молодежи от овладения инженерными специальностями [19].

Схожая ситуация наблюдается и на Украине, а также в других странах бывшего СССР. Однако последствия искаженной профориентации молодежи могут быть намного катастрофичнее вследствие экономической нестабильности и отсутствия должного контроля над состоянием ответственных технических объектов, которые определяют жизнедеятельность общества и всей страны в целом. Отток талантливой молодежи от инженерных и в особенности машиностроительных специальностей может отбросить экономику этих стран на много лет назад и лишить перспективы восстановления и дальнейшего развития промышленного и научного потенциала, явиться причиной сложных техногенных ситуаций. Последние трагические события в России, связанные с катастрофой атомной подлодки «Курск» в Баренцевом море, с грандиозным пожаром на Останкинской телевизионной башне, с несанкционированным попаданием ракеты в украинский сухогруз на Черном море, с неуправляемым полетом боевой ракеты «земля-земля» на учебных стрельбах на Украине, с чрезвычайной ситуацией в Николаевской области, вызванной отравлением почвы ракетным топливом и с другими недавними опасными инцидентами, связанными с использованием современной сложной техники, являются печальными подтверждениями высказанного тезиса.

Для устранения подобной опасности, снижения риска техногенных катастроф, неизбежных вследствие очень интенсивной индустриализации экономики и в следующем столетии, в ряде стран разрабатываются специальные программы, проводятся масштабные акции, используются средства массовой информации, направленные на обеспечение науки и промышленности квалифицированными инженерными кадрами в будущем, благодаря которым уже наблюдаются переломные моменты в профориентации абитуриентов.

Заключение

1. Наблюдаемая интеграция информационных технологий во все стадии машиностроительного производства будет способствовать дальнейшей рационализации изготовления продукции, направленной на снижение энергоемкости, материалоемкости изделий, оздоровление экологии, улучшение социально-экономической ситуации в обществе.

2. Глобализация экономики, постоянно растущая конкуренция в условиях свободного рынка требует от производителя продукции использования быстро переналаживаемого производства, гибких и легко адаптирующихся к изменяющимся условиям технологических систем.

3. Разработка и широкое внедрение новейших высокоэффективных технологий, основанных на последних достижениях фундаментальных наук в производство, является приоритетным фактором в развитии современной экономики.

4. В условиях повышенного риска техногенных катастроф в высокоиндустриальном обществе особое значение приобретает проблема своевременной и достаточной подготовки высококвалифицированных инженерных и научных кадров.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Lu S.C., Shpitalny M., Gadh R.* Virtual and Augmented Technologies for Product Realization // *Annals of the CIRP* Vol. 48/2, 1999. P. 471–495.
2. *Koren Y., Heisel U., Pritschow G. et al.* Reconfigurable Manufacturing Systems // *Ibid.* P. 527–540.
3. *Klocke F., Krieg T.* Coated Tools for Metal Cutting – Features and Applications // *Ibid.* P. 515–525.
4. *Volodymyr S. Kovalenko.* Ways to Intensify Laser hardening Technology // *Annals of the CIRP*. Vol. 47/1, 1998. P. 133–136.
5. *Gerhard Schweitzer.* Technology in Switzerland – on the Way to Intelligent Machines. Internal Documents and Reports, 49th General Assembly of CIRP, Montreux, Switzerland, 1999. P. 9–16.
6. *Коваленко В.С.* Лазерный синтез трехмерных объектов машиностроения // *Информатизация та новітні технології*. 1996. № 4. С. 37–40.

7. *Tim Skaszek*. Laser gives obsolete tooling new life // *Industrial Laser Solutions*. 2000. Vol. 15. N 9. P. 11–12.
8. *Leu M.C., Zhang W., Sui G.* An Experimental and Analytical Study of Ice Part Fabrication with Rapid Freeze Prototyping // *Annals of the CIRP*. 2000. Vol. 49/1. P. 147–150.
9. *Gregg Susha, Heindrich Endert*. Fiber laser have advantages // *Industrial Laser Solutions*. 2000. Vol. 15. № 1. P. 7–9.
10. *Namba Y., He Y.L.* An Investigation of a Unit-Machined Shape for the Three-Dimensional Micromachining of Silicon Surfaces with a Pulsed Ultraviolet Laser // *Int. J. Japan Soc. Pres. Eng.* 1998. Vol. 32. № 1. P. 13–18.
11. *Robert J. Hull, Michael L. Lander*. Experiments in Laser Cutting of Thick Steel Sections Using a 100-kW CO₂ Laser // *Proceedings of ICALEO 2000, Dearborn, Michigan, USA 2000*. Vol. 89. P. B78–B86.
12. *Said A.A., Maynard R., Bado Ph.* Machining of Refractory metals with Femtosecond Laser Pulses // *Proceedings of ICALEO 2000, Laser Microfabrication, Dearborn, Michigan, USA, Vol.90, 2000*. P. A21–A26.
13. *Коваленко В.* Лазерні технології: завоювання нових позицій // *Вісн.НАН України*. 2000. № 1. С. 11–22.
14. *Rajurkar K.P., Zhu D., McGeough J.A., Kozak J., De Silva A.* New Developments in Electro-Chemical Machining // *Annals of the CIRP*. 1999. Vol. 48/2. P. 567–579.
15. *Коваленко В.С.* Нетрадиционные методы обработки материалов в Японии // *Электронная обработка материалов*. 2000. № 3. С. 4–12.
16. *Uno Y., Kaneda T., Yokomizo S.* Fundamental Study on Biomachining (Machining of Metals by *Thiobacillus Ferrooxidans*) // *JSME International Journal*. 1996. Ser. C. Vol. 39. № 4. P. 837–842.
17. *Prof. H.K. Tonshoff*, President of CIRP, Presidential Address // *Internal Documents and Reports, 49th General Assembly of CIRP, Montreux, Switzerland, 1999*. P. 5–8.
18. *Laurin T.C.* A Shortage of Engineers and Scientists // *Photonics Spectra*. April 2000. P. 13.
19. *Sims C.* Engineering Mishaps Erode Japan's Confidence in Its Technology // *International Herald Tribune*. 1999. Dec. 4–5. P. 5.

Поступила 07.12.2000

Summary

Some latest trends in machine building developments are discussed – life-cycle concept in product realization, virtual and augmented reality in product realization, new concepts in machine tool design, reconfigurable manufacturing systems, micro and nanomachining, laser technology, rapid prototyping with laser and other technique, other nontraditional material machining. Some problems of today engineering education are touched as well.
