

## УЛЬТРАЗВУКОВОЕ СВЕРЛЕНИЕ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ АЛМАЗНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Добрица А.А., Шаповалов Р.Г., Рыбинская Т.А.  
(каф. Механики, ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

В машиностроении, приборостроении и радиоэлектронике все более широкое применение находят различные неметаллические материалы: оптическое, кварцевое и техническое стекло, керамика, ситаллы и др. Эти материалы обладают высокой твердостью и хрупкостью.

Механическая обработка твердых неметаллических материалов, особенно глубокое сверление отверстий малого диаметра ( $D=3,6$  мм;  $h \geq 50$  мм), связана с большими трудностями. Кроме того, при использовании известных методов механической обработки отверстий в таких материалах часто не удается выдержать требуемые техническими условиями качество поверхности и точность обработки. Применение обычной схемы ультразвуковой размерной обработки даже при использовании активных способов подачи абразивной суспензии в рабочую зону неэффективно вследствие малой производительности, низкой точности и большого износа инструмента.

Перспективным направлением ультразвукового резания хрупких труднообрабатываемых материалов является обработка вращающимся алмазным инструментом.

За рубежом разработаны специализированные ультразвуковые станки малой мощности (0,1—0,2 кВт) с вращающимся алмазным инструментом. Однако все эти станки пригодны для обработки на глубину не более 25–30 мм. Применение для этой цели специализированного ультразвукового станка МЭ-22 также не может решить задачу глубокого сверления отверстий малого диаметра.

Для ориентировочной оценки эффективности влияния ультразвуковых колебаний на процесс обработки оптического стекла предварительно были поставлены опыты по царапанию плоских образцов ориентированными и неориентированными кристаллами алмаза.

Сообщение алмазному индентору ультразвуковых колебаний малой амплитуды позволяет в результате создания сетки микротрещин существенно интенсифицировать процесс диспергирования хрупкого материала, причем наиболее значительно возрастает ширина канавок, особенно при царапании неориентированными кристаллами алмаза (от 3 до 5 раз).

Экспериментальные работы по ультразвуковому сверлению глубоких отверстий выполняли на установке, смонтированной на токарно-винторезном станке, схема которой приведена на рис. 1. Источником ультразвуковых колебаний служили двухстержневые магнитострикционные пакеты с рабочей частотой  $f$  от 24 до 43,5 кГц. К пакетам припаяны полуволновые экспоненциальные концентраторы, к которым на резьбе крепится резонансной длины трубка с алмазной коронкой. Вода, подаваемая под давлением, охлаждает магнитострикционный пакет и, проходя через отверстие алмазной коронки, охлаждает зону резания и вымывает стружку. Ультразвуковая головка с помощью конуса закреплена в пиноли задней бабки токарного станка. Различные осевые силы  $P$  в процессе обработки устанавливали с помощью динамометрической скобы 5. Магнитострикционный преобразователь возбуждается от ультразвукового генератора УЗМ-1,5 со специально переоборудованным задающим каскадом. Первые эксперименты проводили алмазными коронками диаметром 6,4 мм, изготовленными из алмаза А16 на металлической связке М5-6, 100%-ной концентрации.

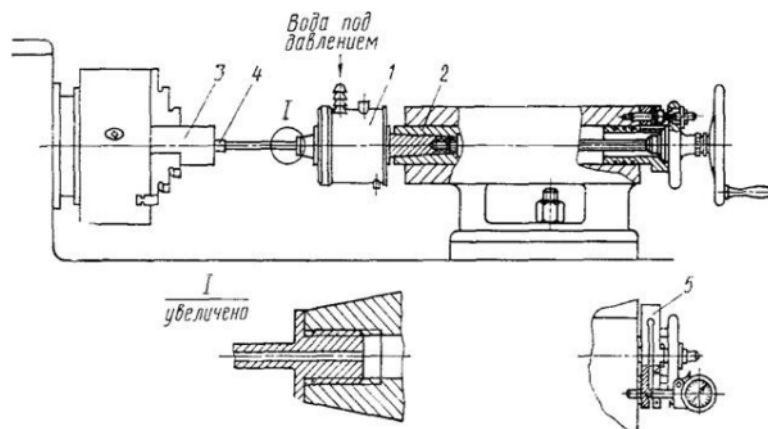


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – ультразвуковая головка; 2 – пиноль задней бабки; 3 – обрабатываемая заготовка; 4 – алмазное сверло; 5 – динамометрическая скоба

Глубина обработки в опытах с ультразвуком  $h=50-60$  мм. При работе без колебаний обработку вели на глубине не более 20 мм.

Обрабатываемость хрупких неметаллических материалов при ультразвуковом алмазном сверлении зависит от ряда их физико-механических свойств, связанных с прочностью, соотношением микротвердости алмаза и материала, структурой материала.

Точность ультразвукового алмазного сверления зависит от многочисленных акустических и технологических факторов: режимов обработки, характеристик режущего инструмента, жесткости систем СПИД, кинематической схемы процесса и др.

Точность обработки оценивали по следующим критериям: точность размера – по отклонениям полученного размера от заданного на входе в отверстие и выходе из отверстия; точность формы – по конусности и эллипсности отверстия. Все эти погрешности носят случайный характер и, как показали результаты обработки экспериментальных данных (рис. 2), подчиняются закону нормального распределения.

Анализ полученных в ряде экспериментов данных (табл. 1) показывает, что точность обработки алмазным инструментом значительно выше точности обычной ультразвуковой обработки свободным абразивом. Так, например, 94% всех отклонений размера на входе отверстия составляют 0,02–0,06 мм, 98% отклонений размера на выходе отверстия составляют 0–0,02 мм, конусность при этом не превышает 5', эллипсность менее 0,01 мм. Увеличением жесткости инструмента или применением специальных люнетов можно получить отверстия 2-го класса точности (отклонения размера менее 0,015 мм). Конусность глубоких отверстий ( $A = 200$  мм) не превышает 3,5', искривление оси – менее 0,1 мм.

Конусность обработанных отверстий при ультразвуковой алмазной обработке значительно меньше, чем при ультразвуковой обработке свободным абразивом. Например, по данным Н. И. Щербаченко, средняя величина конусности составляет 60' при  $s=\pm 20'$ .

Таким образом, ультразвуковое алмазное сверление является высокопроизводительным способом получения точных отверстий малого диаметра ( $D=3,8$  мм) в хрупких неметаллических материалах.

Проведенные исследования показали, что шероховатость обработанной поверхности при режимах ультразвуковой алмазной обработки, соответствующих максимальной производительности, находится в пределах 4–5-го классов и практически не зависит от

размера зерен алмаза (в пределах АМ5—АМ16). Для получения более высоких классов проведены опыты по сверлению стекла и минералокерамики с малой подачей. Установлено, что применение малой подачи в пределах 4,6–14 мм/мин позволяет получить сравнительно высокий класс чистоты обработанной поверхности. Указанный режим работы с малой принудительной подачей для достижения высокого класса чистоты обработанной поверхности можно назвать режимом ультразвуковой алмазной доводки.

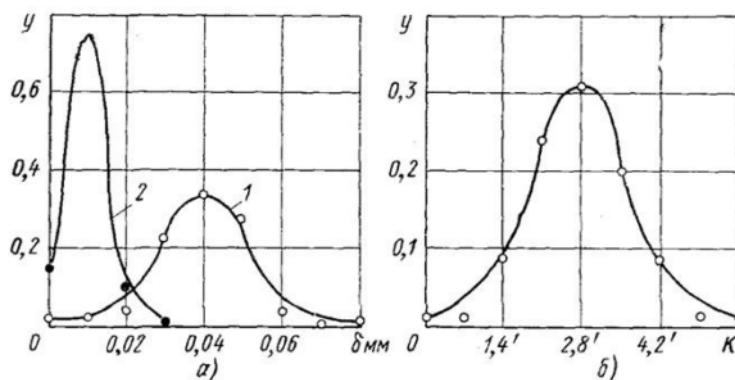


Рис. 2. Точность ультразвукового алмазного сверления: а – увеличение диаметра отверстий (1 – на входе, 2 – на выходе), б – конусность отверстий

Таблица 1. Точность ультразвукового алмазного сверления

Погрешности	$x$	$s$	$v$
Отклонения размера на входе отверстия	0,039 мм	0,0124 мм	0,32
Отклонения размера на выходе отверстия	0,01 мм	0,0053 мм	0,53
Конусность	2,80'	0,84'	0,3

Результаты проведенных исследований показывают, что ультразвуковая обработка отверстий вращающимся алмазным инструментом в твердых хрупких материалах имеет следующие преимущества перед обычной ультразвуковой размерной обработкой суспензией карбида бора: 1) высокая производительность процесса; 2) высокая стойкость инструмента; 3) возможность обработки глубоких отверстий ( $h$  до 500 мм при  $D=3,6$  мм); 4) высокая точность и малая шероховатость; 5) улучшение санитарно-гигиенических условий для обслуживающего персонала; 6) не требуется защита узлов станка от попадания абразивной суспензии.

Наряду с преимуществами ультразвуковое алмазное сверление имеет и недостатки: 1) невозможность обрабатывать отверстия фасонного профиля; 2) высокая стоимость инструмента.

Однако при обработке отверстий в телах вращения ультразвуковое алмазное сверление является высокопроизводительным способом. Этот метод особенно эффективен и целесообразен при обработке глубоких отверстий малого диаметра в твердых хрупких материалах (стекло, керамика, ситаллы, германий, кремний и др.)

**Список литературы:** 1. Хмелев В.Н., Фирсов А.М., Чириков В.В., Шутов В.В. Ультразвуковое сверление многослойных композиций из хрупких материалов, соединенных эластичным полимером. Материалы международной научно-технической конференции «Композиты – в народное хозяйство России», Барнаул, 10–12 сентября 1997 г. («Композит-97»), 1997 г., г. Барнаул, АлГТУ, с. 26–27. 2. Марков А.И. Ультразвуковая обработка материалов. – М.: Машиностроение, 1980. – 237 с., ил.

## РАЗРАБОТКА ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННОГО ПРОФИЛЯ ИНФРАКРАСНОГО НАГРЕВА BGA МИКРОСХЕМЫ

**Ермолаева Н.В., Литвин Н.В.**

*(каф. физики и микроэлектроники, ВИТИ (ф) НИЯУ МИФИ, г. Волгодонск, России)*

На сегодняшний день в производстве электронных устройств все чаще используются микросхемы, выполненные в корпусах BGA. Выводы этих микросхем имеют форму шариков и расположены под корпусом, что позволяет увеличить плотность монтажа на печатной плате. При работе с ними возникает необходимость решения таких задач, как совмещение выводов микросхемы с контактными площадками на плате, выпаивание микросхемы (усложнено в связи с труднодоступностью выводов), равномерное запаивание всех контактов, контроль качества пайки.

Применительно к локальной пайке/выпаиванию BGA конкурируют два подхода: термовоздушный и инфракрасный (ИК) [1]. В соответствии с этими подходами для монтажа и демонтажа элементов с поверхности платы используются различные паяльные станции.

Термовоздушные станции используют для нагрева компонентов открытый поток горячего воздуха, сфокусированный с помощью сопла на выводы компонента. Такие паяльные станции позволяют регулировать температуру воздуха на выходе от 100 до 480 °С, так же есть возможность регулировки воздушного потока. Однако при использовании термовоздушных стадий возникает ряд проблем. Выводы BGA-компонентов, представляющие собой контактные площадки с шариками припоя, расположены под корпусом установленного на плату компонента и недоступны для традиционных паяльных инструментов. Поэтому пайка компонентов выполняется путем сквозного прогрева корпуса. При этом верхняя часть корпуса нагревается быстрее, чем шариковые выводы, поскольку они контактируют с платой, что затрудняет их нагрев.

В целом, воздушной струей достаточно сложно обеспечить равномерный прогрев плоскости со значительными линейными размерами. Конвекционное оплавление соплом малого диаметра не может обеспечить равномерный нагрев компонента, в то время как поток воздуха из сопла большего диаметра будет «задевать» рядом стоящие компоненты. Поэтому для локальных ремонтных работ (особенно с BGA) целесообразно применять инфракрасную технологию. Данная технология характеризуется усовершенствованным управлением уровня нагрева, которое гарантирует равномерное распределение тепла по поверхности компонента, в сочетании с более низкой температурой пайки.

В ИК паяльных станциях вместо потока горячего воздуха используются инфракрасные волны с длиной 2–8 мкм. Станции выполняют операции инфракрасной пайки и выпаивания с компонентами, имеющими линейные размеры от 10 до 60 мм, монтируемыми как на поверхность, так и в отверстия. Скорость нагрева почти на один порядок ниже по сравнению с установками для конденсационной пайки. В зоне пайки не возникает состояние термического равновесия, а нагревание переходит непосредственно в фазу охлаждения.

Нагрев BGA микросхемы с помощью ИК-излучения обладает такими преимуществами, как равномерность локального инфракрасного нагрева, невозможность сдува с печатной платы компонентов, возможность работы со сложнопрофильными компонентами [2].

Однако при использовании данного метода следует учитывать следующие его недостатки [2]:

- неравномерность нагрева всего изделия, появление в нем горячих точек;
- избирательность по отношению к материалу печатной платы и ограничения по выбору элементной базы;
- трудность отвода легко испаряющихся веществ (флюса и т.д.);
- необходимость подбора режима пайки для каждого типа печатного узла.

В настоящей работе для достижения высококачественных результатов пайки был подобран оптимальный температурно-временной профиль нагрева BGA микросхемы на паяльно-ремонтном центре Ersa IR\PL 550A. Основной целью работы было сохранение дорогостоящей BGA микросхемы для последующего ее восстановления.

Процесс нагрева микросхемы состоит из нескольких стадий: стадия предварительного нагрева, стадия стабилизации, стадия оплавления, стадия охлаждения[1]. Проведем анализ каждой стадии нагрева.

Стадия предварительного нагрева позволяет снизить тепловой удар на электронные компоненты и печатные платы. В процессе предварительного нагрева происходит испарение растворителя из паяльной пасты [1]. При использовании паяльных паст на основе наиболее распространенных сплавов Sn62/Pb36/Ag2 и Sn63/Pb37 предварительный нагрев осуществляют до температуры 90–130 °С, при этом скорость повышения температуры профиля составляет 2–4 °С/сек. Отметим, что высокая скорость предварительного нагрева в данном случае может приводить к преждевременному испарению растворителя, входящего в состав паяльной пасты, и к целому ряду дефектов: повреждение компонентов за счет теплового удара, разбрызгиванию шариков припоя и возникновению перемычек припоя. Поэтому мы предлагаем изменять температуру более плавно со скоростью 0,5–1 °С/сек.

Стадия стабилизации позволяет активизировать флюсующую составляющую и удалить избыток влаги из паяльной пасты. Повышение температуры на этой стадии происходит очень медленно. Максимальная активация флюса происходит при температуре около 150 °С. Рекомендуемое время стабилизации для «традиционного» профиля составляет 80–160 сек. Мы предлагаем для повышения качества нагрева увеличить по времени стадию стабилизации. Микросхема при этом будет прогреваться более равномерно и в дальнейшем более легко сниматься без повреждения контактных площадок. Кроме того, после процесса восстановления шариковых выводов микросхема может быть использована повторно, что обеспечивает выгоду в производстве электроники опытного и специального назначения.

При оптимизации данной стадии процесса мы учли следующее. В конце зоны стабилизации температура обычно достигает 150–170 °С. В случае длительного времени и/или высокой температуры стадии стабилизации флюс может потерять защитные свойства, его активность снижается, это приводит к ухудшению процесса пайки и разбрызгиванию шариков припоя на стадии пайки.

На стадии оплавления температура повышается до расплавления паяльной пасты и происходит формирование паяного соединения. Для образования надежного паяного соединения максимальная температура пайки должна на 30–40 °С превышать точку плавления паяльной пасты и составлять 205–225 °С (на плате). Время в течении которого печатная плата находится выше точки плавления (179–183 °С) должно быть в пределах 30–90 сек, предпочтительно не более 60 сек. Скорость повышения температуры в зоне оплавления должна составлять 1,5–5 °С/сек.

Стадия охлаждения важна наравне с другими стадиями. Для обеспечения максимальной прочности паяных соединений скорость охлаждения должна быть максимальной. В тоже время высокая скорость охлаждения может вызвать термоудар по электронным компонентам. Рекомендуемая скорость охлаждения  $3\text{--}4^\circ\text{C}/\text{сек}$  до температуры ниже  $130^\circ\text{C}$ .

Температурно-временные режимы стадий оплавления и охлаждения мы оставили без изменений. На рис. 1 приведены разработанная нами схема температурно-временного режима нагрева микросхемы. Также на рисунке представлена традиционная схема нагрева для паяльно-ремонтного центра Ersa IR\PL 550A.

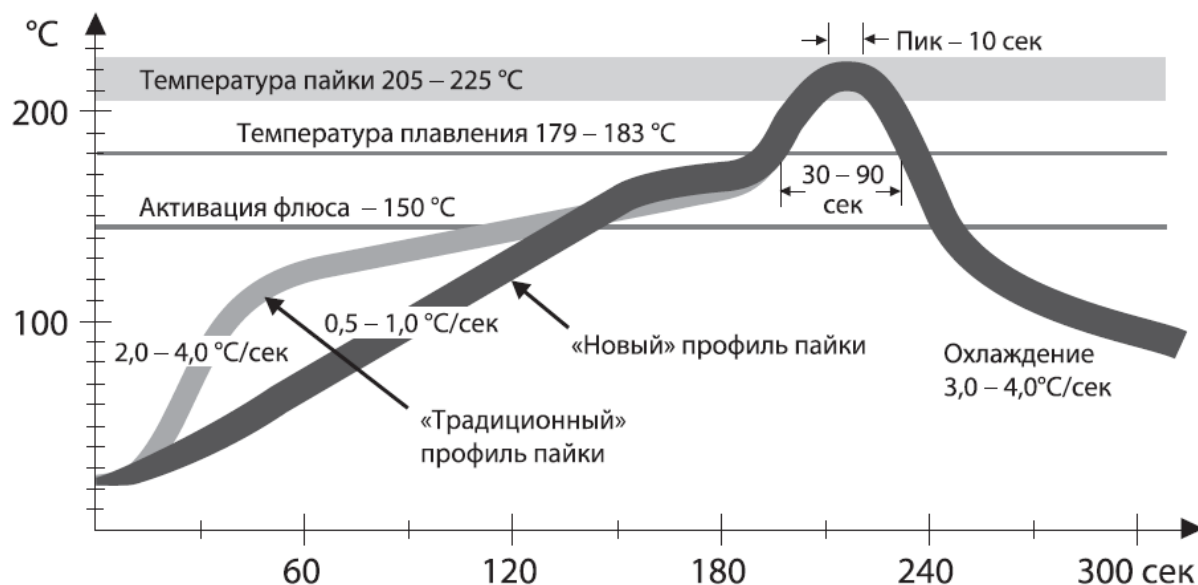


Рис. 1. Температурные профили нагрева BGA микросхемы

Ряд экспериментов по нагреву BGA микросхем показал эффективность представленной технологии при ремонте электронных устройств опытного, мелкосерийного и специального назначения. Данная технология позволила не только сохранять микросхемы в большинстве случаев, но и применяя технологию реболлинга, восстановить шариковые выводы и использовать микросхемы повторно.

**Выводы.** При ремонте электронных устройств опытного, мелкосерийного и специального назначения метод инфракрасного нагрева является более эффективным и технологичным, чем термовоздушный. Разработанная нами схема температурно-временного режима инфракрасного нагрева микросхемы для паяльно-ремонтного центра Ersa IR\PL 550A позволяет не только сохранять микросхемы в большинстве случаев, но и применяя технологию реболлинга, восстановить шариковые выводы и использовать микросхемы повторно.

**Список литературы:** 1. В. Ланин. Инфракрасный нагрев в технологии пайки поверхностного монтажа / Технологии в электронной промышленности, № 3, 2007, С. 38–42. 2. Лаборатория "УФАНОУТ". Что такое инфракрасные паяльно-ремонтные центры Ersa? <http://ufanout.ru/equipment>.

## МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ

**Мациборко В.В., Шаповалов Р.Г., Рыбинская Т.А.**  
(каф. Механики, ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Трудоемкость сборочных работ в машиностроении составляет примерно 20–50% от общей трудоемкости изготовления машин. В массовом производстве трудоемкость сборочных работ занимает 20% от всей трудоемкости изготовления грузового автомобиля, в единичном и серийном производстве – 40–60% от всей трудоемкости машины. На машиностроительных заводах из всего объема сборочных работ механизировано только 15–20%, а остальная часть сборочных операций выполняется вручную.

Весьма незначительное применение в машиностроении имеет автоматическая сборка, составляющая примерно 6–7% от всех видов сборки. Поэтому необходимо сокращать трудоемкость сборочных работ путем ее механизации и автоматизации. Сборочные процессы в машиностроительной промышленности отстают от механизации и автоматизации технологических процессов механической обработки деталей. Механизация и автоматизация сборочных процессов повышают производительность труда рабочих, улучшают условия их работы, сокращают число рабочих-сборщиков, повышают качество продукции, уменьшают удельную площадь цеха под сборку, снижают себестоимость выпускаемой продукции.

Применение малой автоматизации сборочных процессов, при которой производится автоматизация отдельных сборочных операций, дает небольшой эффект. При этом облегчаются условия труда рабочих, улучшается качество собираемых изделий, но число рабочих-сборщиков не уменьшается.

Высшей ступенью автоматизации сборочных работ является комплексная автоматизация всех основных и вспомогательных сборочных работ. При этом производится автоматизация всех операций сборки узла или изделия с применением сборочных автоматов или автоматических линий, выполняющих сборку без участия человека. Функции рабочих-наладчиков сводятся к наблюдению за правильной работой автоматических сборочных устройств, их подналадкой, загрузкой бункеров деталями.

Наибольший технико-экономический эффект при комплексной автоматизации сборочных процессов получается от применения автоматических сборочных линий для выполнения всего комплекса сборочных операций.

Широкое применение механизации и автоматизации сборочных процессов имеет в массовом производстве, меньшее – в серийном производстве, незначительное – в единичном производстве. Слабая механизация и автоматизация сборочных процессов в машиностроении объясняется недостаточной технологичностью собираемых изделий, отсутствием типовых устройств для автоматизации сборки, нестабильностью размеров собираемых деталей изделия.

Необходимо учитывать, что хорошо собираемая конструкция машины при ручной сборке может оказаться непригодной для ее перевода на автоматическую сборку. Внедрению автоматической сборки препятствуют отсутствие законченной научной методики по проектированию технологических процессов автоматической сборки узлов и машин и незначительное количество практически внедренных автоматизированных сборочных процессов.

Большим препятствием для проведения работ по автоматизации процессов сборки является необходимость проектирования специальной оснастки и ее изготовления для

каждого завода. Это приводит к большой трудности изготовления автоматизированных сборочных устройств и обходится дорого.

При разработке научных основ автоматизации сборочных процессов необходимо решить ряд вопросов, таких, как выбор оптимального процесса автоматизированной сборки, выбор наилучшей степени автоматизации сборки, обеспечение заданной точности, надежности и производительности устройств автоматической сборки, выбор типа конструкции и размеров сборочной оснастки, определение требуемого темпа сборочного оборудования. Все перечисленные вопросы не имеют достаточно обоснованных научных положений и практических рекомендаций для широкого внедрения в промышленность.

Следует уделять должное внимание внедрению типовых и групповых технологических сборочных процессов в период разработки научных основ автоматизации и механизации их. Типовые сборочные процессы применяются в крупносерийном и массовом, а групповые – в серийном производствах.

Успешное внедрение типовых и групповых процессов автоматизированной сборки может осуществляться при условии проведения нормализации, унификации и улучшения технологичности собираемых узлов.

При проектировании автоматизированных процессов сборки должны быть разработаны типовые сборочные устройства определенного назначения, из которых можно компоновать различные сборочные автоматы и автоматические линии. В этом случае значительно сокращаются трудоемкость и стоимость автоматизированных сборочных устройств и уменьшаются сроки их внедрения на заводах.

В период проектирования компоновок сборочных автоматов и линий из типовых узлов следует использовать теорию размерных цепей для получения заданной точности и надежности сборки узлов изделий.

Чтобы успешно внедрять автоматизацию в серийное производство, необходимо разработать переналаживаемые сборочные автоматы с различными системами программного управления. На заводах недостаточно изучены надежность и отказы в работе автоматического сборочного оборудования и способы настройки сборочных автоматизированных устройств.

В массовом производстве технологические процессы сборки основаны на принципе подвижно-поточной организации сборки машин, предусматривающей:

- 1) разделение всего технологического процесса сборки на ряд последовательно расположенных по времени и пространству сборочных операций, выполняемых операторами-сборщиками, которые на рабочем месте выполняют определенный комплекс сборочных работ;
- 2) применение специальных транспортных устройств для перемещения собираемых узлов между сборочными устройствами и обеспечения заданного темпа сборки;
- 3) применение специальных транспортных устройств для подачи деталей и узлов к главному сборочному конвейеру для сборки машин;
- 4) использование специального и унифицированного инструмента и приспособлений для механизации и автоматизации технологического процесса сборки.

**Список литературы:** 1. Научные основы автоматизации сборки машин и механизмов / Под ред М.П. Новикова. – М.: Машиностроение, 1976. – 472 с. 2. Замятин В.К. Технология и автоматизация сборки: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1993. – 464 с: ил.



## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ В ЮЖНОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ

**Мирошниченко С.Б., Поготова Ю.С., Рыбинская Т.А., Шаповалов Р.Г.**

*(каф. механики, ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)*

Машиностроение как отрасль существует более двухсот лет. По числу занятых в производстве людей и по стоимости выпускаемой продукции оно занимает первое место среди всех отраслей мировой промышленности. Уровень развития машиностроения является одним из важных показателей уровня развития страны. Машиностроение определяет отраслевую и территориальную структуру промышленности мира, обеспечивает машинами и оборудованием все отрасли экономики, производит разнообразные предметы потребления.

В машиностроительный комплекс России входит около 7500 предприятий. Из них примерно 92% акционированы, основная доля госсобственности сконцентрирована в научных и проектных организациях. Машиностроение является ведущей базовой отраслью экономики и ее главным системообразующим элементом, определяющим состояние производственного потенциала и обороноспособности государства, устойчивое функционирование всех отраслей промышленности и наполнение потребительского рынка.

В структуре машиностроения насчитывается 19 крупных комплексов 9 отраслей и более 100 специализированных подотраслей и производств. К комплексным отраслям, сходным по технологическим процессам и используемому сырью, относятся: тяжелое, энергетическое и транспортное машиностроение; электротехническая промышленность; химическое и нефтяное машиностроение; станкостроительная и инструментальная промышленность; приборостроение; тракторное и сельскохозяйственное машиностроение; машиностроение для легкой и пищевой промышленности и др. Доля машиностроения в промышленном производстве России одна из самых больших – 19,5%.

Наиболее перспективной областью машиностроения в Минпромнауки считают автомобилестроение, концепция развития которого одобрена правительством в июле 2002 г. Следующим по потенциальным возможностям рынком считается энергетическое и транспортное машиностроение, а также машиностроение для газовой и нефтяной промышленности.

В наиболее критическом состоянии сегодня находится станкостроение. Объемы производства в тракторном и сельскохозяйственном машиностроении также демонстрируют устойчивую тенденцию снижения объемов производства.

Несмотря на сильный спад в отрасли на протяжении целого десятилетия, российское энергетическое оборудование пользуется хорошей репутацией и спросом на мировом рынке, а отечественные производители обладают передовыми и перспективными разработками. Одним из факторов, благоприятно сказывающихся на перспективе развития экспорта, выступает ценовая конкурентоспособность нашей продукции, цены на которую в среднем на 30% ниже мировых.

Экспортный потенциал отечественного энергетического машиностроения очень велик. Энергооборудование, созданное в России и по Российским проектам, установлено на многих электростанциях Восточной Европы, Южной и Юго-Восточной Азии, Ближнего и Среднего Востока, в африканских и латиноамериканских государствах, странах СНГ, Китае.

В Таганроге работает предприятие с мировым именем в сфере производства оборудования для теплоэнергетики – котлостроительный завод ОАО «Красный котельщик», основанный в 1896 году. Предприятие производит сложное энергетическое оборудование, в том числе котлы, оборудование для парогазовых установок, теплооборудование. В 2008 году введена в эксплуатацию автоматическая линия спирального обрешения труб. Пуск данного оборудования позволил расширить номенклатуру выпуска продукции и выйти на рынок производства котлов современных высокоэффективных электростанций, производящих как электричество, так и тепловую энергию. Система контроля качества соответствует требованиям российских и международных стандартов. Котлы ОАО ТКЗ «Красный котельщик» хорошо известны не только в России, странах СНГ, но и в дальнем зарубежье. Около 60 % электростанций России и стран СНГ оснащены котлами производства предприятия и практически 90 % электростанций - котельно-вспомогательным оборудованием.

В июле 2002 года принята концепция развития автопрома, главной целью которой названа интеграция в мировое автомобилестроение и выпуск техники, соответствующей мировым требованиям экологии и безопасности. Концепция предусматривает создание новых мощностей по производству автомобилей, в т.ч. с участием иностранного капитала, развитие конкуренции и поэтапную интеграцию в мировой авторынок.

В 2004 г. в России произведено свыше 1,1 млн. легковых автомобилей (в т. ч. 130 тыс. иномарок на сборочных заводах), 200 тыс. грузовых автомобилей, 76 тыс. автобусов и микроавтобусов. Доля собранных иномарок в российском производстве легковых автомобилей составила 11,6% против 6,4% годом ранее. К 2010 г. сборка в России автомобилей зарубежных иномарок увеличилось до 0,4–0,5 млн. штук в год, а при благоприятных условиях в будущем может достичь 1 млн. единиц в год.

В России действует 6 сборочных производств иномарок, в частности, Таганрогский автозавод собирает корейские легковые автомобили Hyundai. Именно сборочные заводы демонстрируют наилучшую динамику производства автомобилей.

В настоящее время на экспорт отправляется порядка 12% выпускаемых в России легковых автомобилей, около 25% грузовиков и около 15% автобусов. Основой конкурентоспособности отечественных легковых автомобилей является низкая цена. Возможности удержания производителями цен на автомобили на невысоком уровне имеют свои границы.

Экономический кризис 90-х годов привел к резкому сокращению объемов перевозок и практически полной остановке закупок нового тягового подвижного состава со стороны МПС РФ, многократному уменьшению закупок вагонов и прекращению инвестиций в разработку и внедрение новых технологий локомотиво- и вагоностроения.

Принятие МПС РФ (преобразованном впоследствии в ОАО «РЖД») масштабной программы модернизации и обновления подвижного состава придало росту выпуска железнодорожной техники высокие темпы. Они сегодня – одни из самых высоких не только в машиностроении, но и в отечественной промышленности в целом.

Основной производитель электровозов в России – Новочеркасский электровозостроительный завод (Ростовская область). Отечественные производители грузового подвижного состава способны в большинстве случаев удовлетворять потребности железных дорог.

Выпуск грузовых вагонов в 2004 году на 5% превысил максимальные показатели, зафиксированные в первой половине 1970-х годов. При продолжающемся росте внутреннего спроса на вагоны становятся затруднительными их поставки на внешние рынки, где они также пользуются спросом.

Уже сейчас на экспорт поставляется около 20% выпускаемой железнодорожной техники. По соотношению цена/качество российская продукция может успешно конкурировать с товарами ведущих зарубежных фирм. Выпускаемый отечественными производителями подвижной состав, иногда уступая зарубежному в отдельных качественных характеристиках, обладает в несколько раз меньшей стоимостью.

Российское железнодорожное машиностроение обладает большим экспортным потенциалом, но нуждается в инвестициях и государственной поддержке. Предприятиям необходимо расширение производственных мощностей и обновление оборудования.

Компания ООО «КЗ «Ростсельмаш» входит в пятерку крупнейших мировых производителей комбайнов и сельскохозяйственной техники, контролирующей 65 % рынка зерноуборочной техники России и СНГ и 17 % мирового рынка. С момента основания (1929 год) предприятие поставило своим клиентам в 48 странах мира более 2,6 млн. единиц техники. На предприятии была реализована программа масштабного технического перевооружения: установлены современные лазерораскройные и гибочные комплексы, механосборочное оборудование отечественных и зарубежных производителей, создано собственное производство мостов для комбайнов, введена в эксплуатацию линия окончательной окраски комбайнов. За последние три года ООО «КЗ «Ростсельмаш» поставило на конвейер следующие модели комбайнов: «ACROS-530» (класс 5), TORUM, самоходную косилку (Энергосредство ES-1), трактор «Версатилл», кормоуборочный комбайн «PCM-1401». Предприятие продолжает работу по созданию новых моделей уборочных машин и адаптеров.

Накопленный опыт и применение передовых технологий на всех этапах жизненного цикла продукции позволяет компании создавать машины, ставшие эталоном надежности, производительности и экономической эффективности. Серийная техника и конструкторские разработки ООО «КЗ «Ростсельмаш» не раз за свою историю отмечались российскими и международными наградами. По итогам участия в выставке «Все-российский День поля-2008» компания получила пять золотых медалей и двойной Гран-при: «За лучший кормоуборочный комбайн (RSM 1401)» и «За лучший зерноуборочный комбайн (RSM181)». «Ростсельмаш» был награжден шестью дипломами за разработку, производство и вывод на рынок высокоэффективных, энерго- и ресурсосберегающих образцов техники на XVI Международном агропромышленном форуме «Юагро-2009». Жюри форума высоко оценило роторный комбайн TORUM 740, трактор VERSATILE 400, энергосредство ES 1, оборудование для кормозаготовки.

ОАО «10-ГПЗ» (г. Ростов-на-Дону), основанный в 1955 году, занимает ведущее место в стране по выпуску подшипников качения. Продукция поставляется на автомобильные и тракторные заводы России и стран СНГ, предприятия электротехнической и металлургической промышленности, экспортируется в Украину, Беларусь, Литву. Основными потребителями являются: ОАО «ГАЗ», ОАО «КАМАЗ», Автомобильный завод «УРАЛ», Минский автомобильный завод, ОАО «УАЗ», Заволжский моторный завод и другие.

**Список литературы** 1. Борковский А.Н. Прогноз внешней торговли РФ на период до 2025 года // Внешнеэкономический бюллетень, 2003. № 12. 2. Кучина Е. Проблемы обеспечения конкурентоспособности продукции машиностроения // Маркетинг, 2006. № 2. 3. Сергеев В. Экспортные возможности российского машиностроения // РИСК-2006, № 1. 4. Смирнов Е. Внешнеэкономический потенциал российского машиностроительного комплекса // Международная экономика, 2005. № 9. 5. <http://www.zr.ru/news/44984/>

## ВИТРАЖ В СОВРЕМЕННОМ ИНТЕРЬЕРЕ

**Шишляникова Е.Н., Долгополова А.Г., Рыбинская Т.А.**

*(каф. Механики, ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)*

Самой первой витражи стала использовать католическая церковь. Свет, проходя сквозь витраж, окрашивается в его цвета и создает особую эмоциональную атмосферу, что особенно важно в храмах. Произошло это приблизительно в первом тысячелетии нашей эры. Используемое стекло было очень неоднородно. Оно родилось в Египте, возможно, самой магической цивилизации и было непрозрачным. Прозрачное бесцветное стекло появилось одновременно с христианством.

Один из самых первых известных витражей был обнаружен в монастыре Святого Павла в Англии. Он датируется 686 годом нашей эры. Но справедливости ради надо отметить, что попытки создания чего-то похожего на витражи предпринимались и до этого.

Самыми старыми законченными витражами Европы считаются пять фрагментов из Аугсбургского Собора. Эти витражи сделаны из ярких стекол разного цвета с использованием техники закрашивания. Позднее, примерно во второй половине XIII века в Европе появились так называемые Аравийские стеклянные окна. Отдельные части стекла вставлялись в мрамор или камень. Узор таких витражей был не очень богатым, т.к. ислам не допускает никаких узоров, кроме геометрических или растительных.

Процесс развития витражного искусства продолжался, и новым этапом считаются витражи в Королевской церкви аббатства Сен-Дени. Здесь в витражные панно были включены не только фигуры, но и текстовые жизнеописания Христа, Марии и прочих святых.

Традиционная технология изготовления витражей окончательно оформилась в одиннадцатом веке. Процесс начинался с изготовления цветного стекла. В Средние века стекло варили в сферических печах, используя в роли тиглей керамические горшки. Окислы металлов, из которых изготавливаются краски, добавлялись в расплавленное стекло. При этом получался довольно узкий спектр тонов.

В конце девятнадцатого века Джон Ла Фарж и Луис Тиффани стали намеренно добиваться неоднородности стекла. Современное витражное стекло получается в результате использования множества разнообразнейших технологий. Стекло может быть прозрачным и глухим, однородного цвета и смесью различных цветов и оттенков одного цвета, гладким и с разнообразной фактурой.

К нам витражи пришли из Европы, и применение их у нас началось значительно позднее. Но, так же как и в Европе, их устанавливали в основном в церквях. Позднее их стали применять и для декоративного оформления внутренних интерьеров частных домов.

Надо сказать, что витражи у нас никогда широко не применялись, поскольку витраж во все времена был изделием дорогостоящим.

Витраж отлично уживается с любым стилем интерьера – от классики до хайтека. Он всегда уместен на кухне, в ванной, гостиной или кабинете. Витражные окна не только приносят уют в дом, но и позволяют создать яркое пятно в интерьере, скрыть не слишком презентабельный вид из окна, защитить от чужих глаз.

С помощью витража, например, можно решить проблему темной прихожей или холла, где одна или несколько дверей. Правильно подобранные по цвету и прозрачности витражные двери в сочетании со светлыми обоями сделают холл светлее и уютнее.

Когда витраж в качестве перегородки или стены разграничивает помещение, он способен создать иллюзию нового пространства даже в небольшой комнате. Главное – соблюсти основное правило: витраж должен сочетаться с интерьером по стилю и цветовой гамме.

При размещении витражей следует учитывать характерные приемы решения окон-витражей.

В последнее время модными стали витражные вставки в стены над баром. Здесь также необходима внутренняя подсветка. Конечно же, при возможности желательно использовать классический способ выполнения витражей. Хотя он очень сложный и требует высокой квалификации изготовителя, а также дефицитных материалов, но все это окупается добротным качеством. По этому способу любой элемент вырезают из специального цветного стекла. Затем этот элемент обрамляют П-образным свинцовым профилем. Обрамленные элементы припаивают друг к другу.

Новейшие технологии производства стекла значительно расширили возможности функционального использования витража. Благодаря своей светопропускной способности, плоскость витража может служить прекрасным приёмом зонирования, не нарушающим целостности восприятия пространства. Стоит особенно отметить, что только витраж способен создавать в интерьере особую световоздушную среду, изменчивую и непредсказуемую игру цвета.

Витраж не останется незамеченным и лишит банальности самый заурядный интерьер квартиры или офиса. Давно перестав выполнять функцию лишь заполняющего проемы декоративного элемента интерьера, витраж способен стать стержнем, вокруг которого может быть выстроен не только дизайн интерьера, но и экстерьер здания. Этому способствует большое разнообразие цвета и фактур стекла, а также технологий получения витражей. Существует большое количество различных техник выполнения витража. Наиболее известными и часто применяемыми техниками витражного искусства являются классический паяный витраж, тиффани, фьюзинг, матированный витраж, витражи «Plastic Lead», Пленочный витраж, технология SGO, фасетный витраж, комбинированный витраж, расписной витраж, травлёный витраж.

Свинцово-паяный (паечный) витраж – классическая техника витража, появившаяся в средние века и послужившая основой для всех других техник. Это витраж, собранный из кусочков стекол в свинцовую оправу, запаянную в стыках. Стекла могут быть цветными и расписанными краской из окислов металлов, которая далее обжигается в специально устроенных печах. Краска накрепко вплавляется в стеклянную основу, составляя с ней единое целое.

Классический витраж несет ни с чем не сравнимую красоту, свое обаяние, свой шарм. Однако классика не всегда подходит к ритмам современной жизни. Помимо традиционных существует также несколько современных методов изготовления витражей.

Одной из наиболее распространенных техник изготовления витража является техника «Тиффани». Такое название она получила от имени своего изобретателя и популяризатора американца Льюиса Тиффани, на рубеже XIX–XX веков вдохнувшего новую жизнь в древнее искусство. Сутью усовершенствования технологии паяного витража является использование в качестве соединительного элемента тонкой медной ленты. Края ленты, по ширине немного превышавшие ширину стекла, загибались под углом 90 градусов к плоскости торца стекла, создавая, таким образом, паз, удерживающий стекло в заданном положении. Составленные в единую картину элементы витража, пропаивались на стыках оловом, а затем покрывались медной или черной патиной. Главными достоинствами новой технологии можно было признать относительно малую

ширину закрепляющих захватов ленты – всего 1–2 миллиметра, а также малый удельный вес каркаса и возможность создавать сколь угодно фигурные контуры отдельных элементов изделия. Новый способ позволял собирать витражи из сколь угодно мелких кусочков стекла, что сильно увеличивало их зрелищность.

Отказ от жесткого металлического каркаса сделал возможным применение таких декоративных изделий не только в качестве стеклянного заполнения проемов в стенах, но и, например, в качестве плафонов для светильников или как отделка для потолков.

Технологический процесс изготовления витражей и предшествующих ему работ в основном сводится к следующему: художник делает в красках эскиз, а затем пишет на плотной бумаге шаблон-картину в натуральную величину будущего витража. Обе стадии необходимы, так как творческий замысел художника должен быть согласован с заказчиком. Гибкость технологии, разнообразие исходных материалов, помноженное на безудержную фантазию профессиональных художников, дизайнеров позволяют воплощать в жизнь самые оригинальные, смелые замыслы.

Технологией фьюзинг достигается необыкновенный декоративный эффект витражного стекла, которое прекрасно вписывается в современный дизайн интерьера. При использовании этой технологии можно заполнять большие проемы любой формы и практически любого объема. Фьюзинг используют для изготовления различных элементов в дизайне интерьера: декоративных панно, интерьерных перегородок, витражных вставок для дверей, окон и мебели, и многого другого, на что только хватит фантазии. Методом фьюзинга можно создавать и отдельные штучные изделия, например вазы, блюда, абажуры, циферблаты для часов. Фьюзинговые витражи выглядят современно и эстетично, и пользуются заслуженной популярностью в дизайне интерьера.

Матированный витраж выполняется с помощью пескоструйной установки из цельного листа стекла. Пескоструйная обработка (матирование) – это традиционная технология декорирования стекол и зеркал, основанная на механической обработке поверхности стекла воздушной струей с частичками абразива. На компьютере делается будущий рисунок витража и переносится на плоттерную плёнку. Затем убираются те участки плёнки, где рисунок будет матовым. Кварцевый песок (в хороших фирмах в качестве абразива используют оксид алюминия) в сильной струе сжатого воздуха выбивают частицы стекла, делая его поверхность матовой на незащищённых плёнкой участках. Это позволяет делать на стекле всевозможные рисунки, надписи. Затем витраж обязательно обрабатывают защитным составом на основе силикона. Изображение получается матовым на прозрачном фоне или прозрачным на матовом фоне. На цветном стекле матовое изображение приобретает молочно-белый оттенок, напоминающий туман. Степень обработки может быть разной. При увеличении давления или времени обработки можно добиться разной степени матирования, вплоть до глубокого. Рельефные многоуровневые углубления дают глубокое объемное изображение. Можно добиться интересного эффекта, если подсветить пескоструйный витраж с торца, тогда рисунок начинает, как бы светиться изнутри. Данный вид обработки имеет ряд преимуществ: изготовление матированного витража большого формата из стекла любой толщины; не требует специальной арматуры; имеет высокую стойкость к внешним воздействиям.

Довольно новой промышленной технологией производства витражей является «Plastic Lead». На стекло наносится сверхпрочный полимерный контур, который после высыхания образует границы заливки и создает рельеф. В зависимости от замысла художника толщина контура может быть от 1,5 до 8 мм. Цвет контура тоже может варьироваться от стандартного черного или «мокрого асфальта» до золотистого и серебристого. Затем отдельные части замкнутого контура заливаются цветными полимерными

лаками, которые могут передавать неограниченное число оттенков. Технология нанесения контура и лаков вручную близка к росписи, поэтому художник может создать даже портрет. Специализированные полимерные лаки позволяют наносить рисунок на любые материалы – стекло, зеркало, дерево, плитку, пластик.

Комбинированный витраж сегодня очень популярен в дизайне интерьера. Он позволяет добиться богатства фактур, оптических эффектов, декоративной насыщенности при создании абстрактных композиций, при решении сложных образных задач, создании атмосферы, построенной на контрастах.

**Список литературы:** 1. Рагин В., Хиггинс М. Искусство витража. От истоков к современности. М., 2006. 2. Яковлева А. А. Традиции и современность: история петербургского витража. СПб.: Филологический факультет СПбГУ, 2007 г. 3. «Художественное стекло и витраж» Каталог. Выпуск 5. – М.: Металлургиздат, 2010.

## ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД НАНЕСЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

**Шишляникова Е.Н., Шаповалов Р.Г., Рыбинская Т.А.**

*(каф. механики, ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)*

Технология нанесения металлов на поверхность деталей использует газодинамический метод нанесения покрытий, который состоит в том, что твердые частицы металла, движущиеся со сверхзвуковой скоростью, прочно закрепляются на поверхности при соударении с нею. Сверхзвуковые скорости придаются частицам оборудованием с помощью сжатого воздуха. Технология является сравнительно новой, и ранее в промышленности не использовалась. Технология позволяет наносить металлические покрытия не только на металлы, но и на стекло, керамику, камень, бетон. К настоящему времени данная технология позволяет наносить покрытия из алюминия, цинка, меди, олова, свинца, баббитов, никеля.

Технология нанесения покрытий (рис. 1) включает в себя нагрев сжатого газа (воздуха), подачу его в сверхзвуковое сопло и формирование в этом сопле сверхзвукового воздушного потока, подачу в этот поток порошкового материала, ускорение этого материала в сопле сверхзвуковым потоком воздуха и направление его на поверхность обрабатываемого изделия.

В качестве порошковых материалов используются порошки металлов, сплавов или их механические смеси с керамическими порошками. При этом путем изменения режимов работы оборудования можно либо проводить абразивную обработку поверхности изделия, либо наносить металлические покрытия требуемых составов.

В наиболее распространенных газотермических методах нанесения покрытий для формирования покрытий из потока частиц необходимо, чтобы падающие на подложку частицы имели высокую температуру, обычно выше температуры плавления материала.

В газодинамической технологии напыления (которую на практике удобно называть «наращиванием» металла), это условие не является обязательным, что и обуславливает ее уникальность. В данном случае с твердой подложкой взаимодействуют частицы, находящиеся в нерасплавленном состоянии, но обладающие очень высокой скоростью (рис. 2). Ускорение частиц до нужных скоростей осуществляется сверхзвуковым воздушным потоком с помощью оригинальных установок.

Привлекательность технологии нанесения металла на поверхность деталей и изделий газодинамическим методом состоит в том, что оборудование и создаваемые с его помощью покрытия свободны от большинства недостатков, присущих другим методам нанесения металлических покрытий, и обладают рядом технологических, экономических и экологических преимуществ.

Газодинамический метод нанесения металлических покрытий обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами. Эти преимущества состоят в следующем:

- покрытие наносится в воздушной атмосфере при нормальном давлении, при любых значениях температуры и влажности атмосферного воздуха;
- при нанесении покрытий оказывается незначительное тепловое воздействие на покрываемое изделие (изделие в зоне нанесения покрытия не нагревается выше 100–150 С), что исключает возникновение внутренних напряжений в изделиях и их деформацию, а также окисление материалов покрытия и детали;
- 

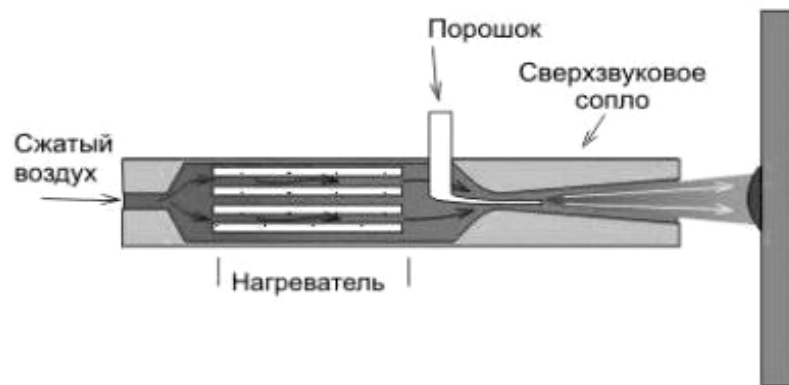


Рис. 1

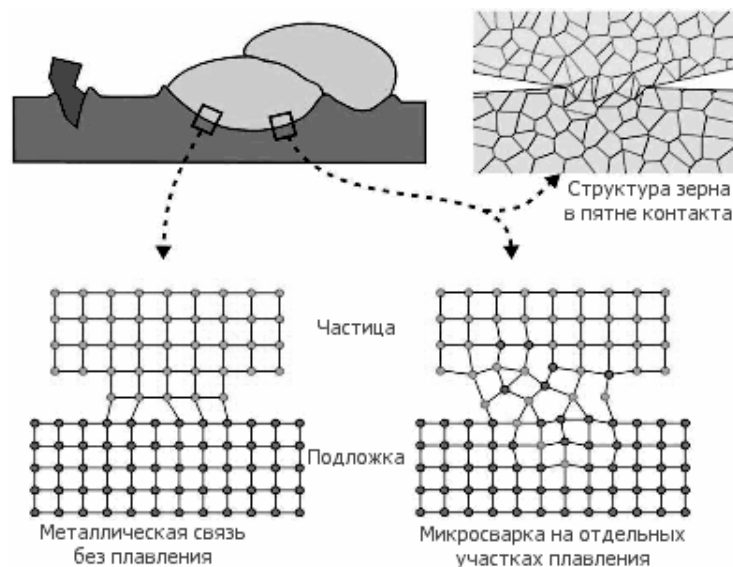


Рис. 2

- технология нанесения покрытий экологически безопасна (отсутствуют высокие температуры, опасные газы и излучения, нет химически агрессивных отходов, требующих специальной нейтрализации);



- при воздействии высокоскоростного потока напыляемых частиц происходит очистка поверхности от технических загрязнений, масел, красок и активация кристаллической решетки материала изделия;
- поток напыляемых частиц является узконаправленным и имеет небольшое поперечное сечение. Это позволяет, в отличие от традиционных газотермических методов напыления, наносить покрытия на локальные (с четкими границами) участки поверхности изделий;
- возможно нанесение многокомпонентных покрытий с переменным содержанием компонентов по его толщине;
- оборудование отличается компактностью, мобильностью, технически доступно практически для любого промышленного предприятия, может встраиваться в автоматизированные линии, не требует высококвалифицированного персонала для своей эксплуатации;
- путем простой смены технологического режима оборудование позволяет проводить струйно-абразивную обработку поверхностей для последующего нанесения покрытий или достижения декоративного эффекта.

**Список литературы:** 1. Каширин А. И., Клюев О. Ф., Буздыгар Т. В. Устройство для газодинамического нанесения покрытий из порошковых материалов. Патент РФ на изобретение № 2100474. 1996, МКИ6 С 23 С 4/00, опубл. 27.12.97. Бюл. № 36. 2. Алхимов А.П., Косарев В.Ф., Папырин А.Н. Газодинамическое напыление. Экспериментальное исследование процесса напыления. – ПМТФ, 1998, т. 39, № 2, с. 182–188.

## ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

**Шкаровский Д.В., Шаповалов Р.Г., Рыбинская Т.А.**  
(каф. механики, ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

В технологии приборостроения, радиоаппаратостроения и металлообработки плазма применяется в виде узконаправленной горячей струи, способной расплавить и испарить практически все материалы: как металлы, так и неметаллы.

По конструкции плазматроны (рис. 1) разделяются на сепараторы прямого и косвенного действия.

Для получения плазмы используются электролитический дуговой разряд, через который с помощью сопла продувается плазмообразующий газ (аргон, азот, воздух или их смесь). Питание плазматрона осуществляется от мощного электрического источника с напряжением 200–500 В и током 300–400 А. Необходима стабилизация дуги, чтобы горячая струя не замкнулась на сопло и не расплавил его, а также с целью некоторой фокусировки. Она осуществляется аксиальным потоком газа, либо суженными стенками охлаждаемого сопла.

Плазменная обработка используется в процессах, требующих высокотемпературного концентрированного нагрева: резка, прошивка отверстий, микро- и макросварка, нанесение покрытий, восстановление изношенных деталей, плавка.

**Наплавка износостойких покрытий** осуществляется с целью повышения эксплуатационных свойств детали. Для этого применяют порошкообразные материалы со специальными свойствами – высокой твердостью, повышенной износостойкостью, коррозионной и термостойкостью (оксиды или карбиды бора, вольфрама). Детали по-

лучаются с дешевой сердцевиной из конструкционных материалов, а на ответственных участках создаются необходимые свойства. Значительно снижаются расходы дорогостоящих легирующих материалов. Толщина слоев может достигать нескольких миллиметров. Технология процесса такова: наносимый материал используется в виде пасты; происходит расплавление и сварка слоя наплавляемого материала с основным материалом. В этом случае применяются плазменные горелки косвенного действия.

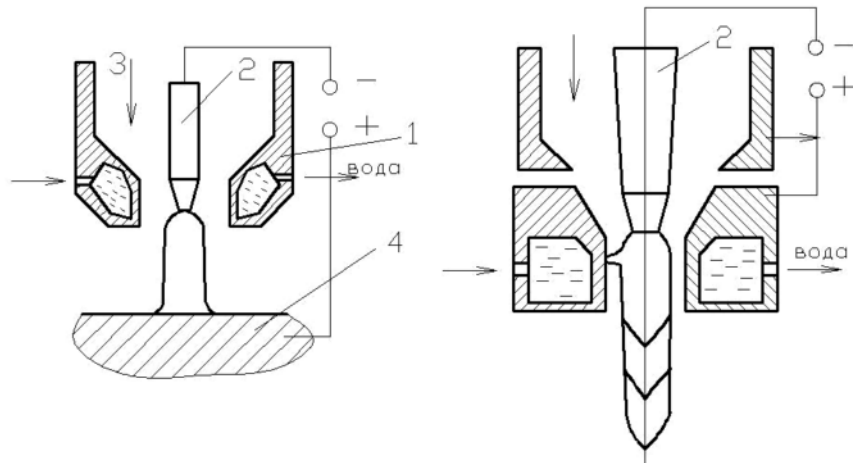


Рис. 1. Устройство плазматрона: 1 – сопло; 2 – вольфрамовый электрод; 3 – ввод плазменного газа; 4 – изделие; 5 – канал для подачи присадочного порошка

**Напыление.** Напыляемый материал нагревается в плазматроне. Температура подложки в зависимости от цели напыления может быть различной. Формируются слои небольшой толщины – от нескольких микрон до одного миллиметра. Для увеличения адгезии напыленного слоя стремятся повысить степень химического воздействия покрытия с подложкой за счет ее разогрева или введения промежуточных химически активных слоев.

**Плазменная резка.** Достоинства: обрабатываются любые металлы толщиной до 100–150 мм, меньшая ширина реза, чем при газовой резке, лучшее качество поверхности, меньшая зона термических изменений. Скорость процесса: 0,5–1,5 см/с в зависимости от толщины материала.

Для плазменной резки используются плазматроны прямого действия. Плазмообразующий газ – аргон, азот, водород или воздух. При микроплазменной резке ток 50–100 А, толщина резки до 8 мм, ширина реза до 1 мм.

**Лазерная обработка** материалов проводится с помощью остросфокусированного светового луча, излучаемого оптическим квантовым генератором (ОКГ). Излучение ОКГ (рис. 2) является узконаправленным и монохроматичным. Угловая расходимость луча для рубина составляет 30°, для стекла с примесью неодима – 10°.

Минимальный размер пятна  $d_0$ , до которого может быть сфокусирован луч ОКГ, достигает значений 1 мкм.

Процесс взаимодействия лазерного излучения с обрабатываемым материалом можно разделить на следующие стадии:

- поглощение света с последующей передачей энергии тепловым колебаниям решетки твердого тела;
- нагрев материала без разрушения, включая и плавление;
- разрушение материала путем испарения и выброса его расплавленной части;

— остывание после окончания воздействия.

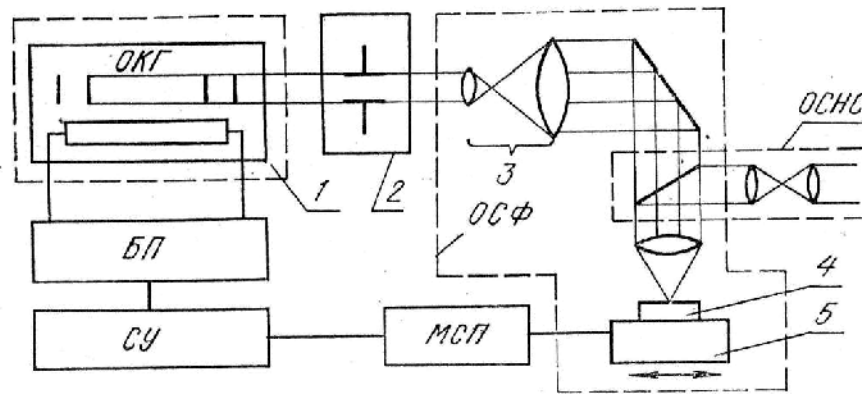


Рис. 2. Схема технологической лазерной установки

Процессы обработки материалов излучением ОКГ удобно рассматривать пользуясь графиком зависимости удельного выноса вещества  $\eta$  от плотности поглощенного светового потока  $q$  (рис. 3).

Под удельным выносом вещества  $\eta$  понимается масса удельного вещества, приходящаяся на единицу падающей энергии.

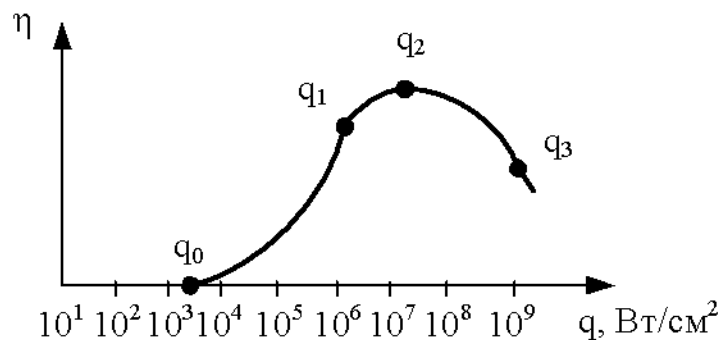


Рис. 3. Зависимость удельного выноса вещества от падающей энергии

При малых плотностях светового потока материал лишь нагревается излучением. Приближение значения  $q$  к  $q_0$  приводит к образованию расплавленной зоны в месте локализации излучения на поверхности. Поэтому в области значений  $q=q_0$  целесообразно производить сварку материалов. По мере дальнейшего роста плотности светового потока начинается процесс разрушения материала сначала за счет испарения (при  $q_0 < q < q_1$ ), а в дальнейшем за счет испарения и выноса вещества в жидкой фазе частицами пара (при  $q_1 < q < q_2$ ). При  $q > 10^9$  Вт/см<sup>2</sup> «испарительный» механизм разрушения сменяется «взрывным» и удельный вынос вещества уменьшается примерно в 5 раз.

Рассмотренная выше зависимость позволяет обосновать энергетические режимы лазерной обработки. В области потоков до  $q_0$  производится термическая обработка поверхности изделий, сопровождаемая локальным нагревом и плавлением. В области потоков от  $q_1$  до  $q_3$ , сопровождаемых разрушением и выбросом расплавленной части материала, производится резка и сверление отверстий.

Для повышения точности и качества формируемых отверстий используется **многопульсовая обработка** материала. Она заключается в том, что отверстия получают

ся в результате воздействия серии коротких импульсов (0,1–0,2 мс), период следования которых значительно больше времени остывания материала. Положительный эффект при многоимпульсной обработке достигается за счет:

- повышения динамической прочности материала при укорочении времени термоудара;
- более равномерным по отношению к непрерывной обработке распределением остаточных напряжений по толщине материала.

При многоимпульсной обработке глубина отверстий достигает 1–5 мм и может быть в 25 раз больше диаметра.

**Список литературы:** 1. Туманов Ю.Н. Плазменные, высокочастотные, микроволновые и лазерные технологии в химико-металлургических процессах. – М.: Физматлит, 2010. – 968 с. 2. Куликов И.С., Ващенко С.В., Каменев А.Я. Электролитно-плазменная обработка материалов. – Минск: Беларуская навука, 2011. – 232 с. 3. Григорьев С.Н. Современное вакуумно-плазменное оборудование и технологии комбинированного упрочнения инструмента и деталей машин // Технология машиностроения. № 3. 2004. С. 20–26.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА И ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

**Богуславский В.А., Окулик М.А.** (кафедра ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Под оптимальными параметрами режима резания понимаются такие значения величины скорости резания и подачи, при которых процесс обработки был бы максимально эффективен с точки зрения экономичности и производительности, и при этом выполнялись бы все технологические требования, предъявляемые к обрабатываемой детали. На необходимость автоматизированного расчета оптимальных значений параметров режима резания указывалось еще в середине прошлого века, но полностью эта задача до сих пор не решена и актуальность ее продолжает повышаться с развитием тенденции многостаночного обслуживания и созданием автоматизированных станочных комплексов для обработки металлов резанием.

В настоящее время определение оптимальных режимов резания осуществляется по математическим моделям с использованием ряда поправочных коэффициентов, учитывающих переменные факторы процесса обработки (свойства инструментального и обрабатываемого материалов, геометрию инструмента, наличие охлаждения и др.). Следует отметить, что существующие методы расчета оптимальных величин элементов процесса резания учитывают переменные факторы процесса резания с помощью усредненных поправочных коэффициентов, следствием чего является значительный разброс расчетной и действительной стойкости инструмента, определяющей надежность его работы, а также разброс составляющих силы резания, призванной обеспечивать точность обработки [1]. Это, в свою очередь, является следствием допускаемого ТУ разброса свойств инструментального и обрабатываемого материалов и несовершенством методик расчета.

При определении режима резания по существующим математическим моделям не удается установить связь между основными переменными факторами, влияющими на процесс резания (вибрация, неоднородность инструментального и обрабатываемого материалов, наличие или отсутствие охлаждения и т.д.). Режимы резания, выбираемые по

существующим математическим моделям, в этом случае могут быть оптимальными лишь для условий, в которых они были получены, и только для тех конкретных инструментов и стальных заготовок из партий поставок, которые участвовали в предварительных испытаниях.

Таким образом, на данный момент в практике машиностроения сложилась противоречивая ситуация. С одной стороны, существующие системы ЧПУ, созданные на микропроцессорной архитектуре, способны выполнять сколь угодно сложные вычисления и вести расчет оптимальных режимов обработки непосредственно на рабочем месте в ходе технологического процесса. С другой стороны, основные расчетные зависимости, которые традиционно кладутся в основу алгоритмов расчета оптимальных режимов резания, страдают значительными неточностями, что делает нецелесообразным применение алгоритмов расчета и оптимизации режимов обработки.

Одним из путей решения проблемы является отказ от построения математических моделей оптимизации на основе усредненных математических зависимостей, экстраполируемых на весь диапазон используемых скоростей резания и на марочный состав применяемых инструментальных и обрабатываемых материалов, и введение оперативного контроля индивидуальных свойств каждой пары «инструмент-деталь». В качестве основы информационного обеспечения создаваемого способа принята величина термоэлектродвижущей силы (термоЭДС) естественной термопары «инструмент-изделие», фиксируемая в условиях «контрольных» режимов резания ( $V=100\text{ м/мин}$ ;  $S=0,1\text{ мм/об}$ ;  $t=1\text{ мм}$ ). Отличительной особенностью использования величины термоЭДС является то, что в данном методе она используется не как традиционная информация о температуре в зоне резания, а как датчик свойств контактируемых пар инструмент - изделие. Концепция индивидуальной оценки свойств инструмента и стальной заготовки изложена в работе В. К. Старкова [2], однако практические рекомендации для ее воплощения отсутствуют.

Большинство работ отечественных исследователей, посвященных определению оптимальных режимов резания, базируются на стойкостной зависимости, предложенной в 1907 году Тейлором. Однако, при скоростях резания выше 50 м/мин эта зависимость является существенно нелинейной. Во-вторых, использование обобщенной тейлоровской зависимости для нахождения оптимальных режимов резания, не позволяет найти экстремум. И, в-третьих, полученные на ее основе приближенные эмпирические зависимости для отыскания режимов резания предлагают наличие постоянных коэффициентов, не зависящих от геометрии инструмента, глубины резания, твердости материала и т.д.

Попытки уточнить эмпирические зависимости «скорость резания - стойкость инструмента» путем применения более сложных математических выражений, учитывающих большее количество факторов, также не разрешили проблему выбора оптимальных режимов резания расчетным путем.

В ряде случаев идут на значительное (до 60-70%) снижение уровня режимов резания относительно нормативных [2] в предположении, что более низкие режимы резания обеспечат более стабильную работу инструмента и, в итоге, повысят общую производительность обработки. При этом, при заданном периоде стойкости инструмента, выявляется значительный статистический разброс значений стойкости - до 200%. Следствием снижения интенсивности обработки является еще большее увеличение статистического разброса значений стойкости инструмента, недоиспользование инструмента и оборудования, что в совокупности отрицательно сказывается на технико-

экономической эффективности автоматизированного оборудования. Ясно, что при таком подходе применение методик оптимизации режимов резания нецелесообразно.

Очевидно, что расчет и оптимизация режимов обработки в автоматическом режиме целесообразны только если в их основу положены физически обоснованные математические зависимости, учитывающие условия, возникающие в зоне резания для каждой конкретной операции резания.

Например, анализ методик и рекомендаций по выбору режимов резания при сверлении показал, что авторы не учитывают влияние колебаний на интенсивность износа режущего элемента, лимитирующего стойкость спирального сверла. Назначение режимов резания на основании данных стойкостных испытаний партии сверл меньшей длины приводят к тому, что сверла относительно большей длины, имеющих значительно меньшую жесткость, интенсивно изнашиваются в условиях большей амплитуды колебаний. При прочих равных условиях увеличение амплитуды продольных колебаний спирального сверла с 0,15 до 0,28 мм приводит к уменьшению периода стойкости в два раза. В этих условиях увеличиваются затраты времени на смену инструмента, что снижает производительность обработки, а в условиях автоматизированного производства при обработке нескольких отверстий с помощью многошпиндельной головки существенно увеличивает себестоимость механической обработки. Анализ потерь производительности в условиях автоматизированного производства показал, что потери по инструменту составляют до 16% [3]. В то же время, в современной технической литературе явно недостаточно сведений о влиянии частоты и амплитуды колебаний на интенсивность износа режущих элементов, лимитирующих стойкость спирального сверла.

Таким образом, для повышения производительности и снижения себестоимости механической обработки отверстий необходимо разработать автоматизированный информационно-измерительный комплекс для выбора оптимальных режимов резания, позволяющий определить параметры колебаний при сверлении, и включающий расчет интенсивности износа режущего элемента, лимитирующего стойкость спирального сверла с учетом параметров колебаний инструмента.

Важной задачей при построении математических моделей технологических процессов является выбор и описание технических ограничений, учитывающих действие различных факторов описываемого процесса и связанных с влиянием на него различных характеристик заготовки, параметров станка, приспособления и инструмента и других условий обработки.

Теоретическим анализом и экспериментами доказано, что основной причиной всех явлений, сопровождающих процесс резания, является температура в зоне резания. Тепловые процессы при резании оказывают определенное влияние на появление наклепа в поверхностном слое, шероховатость обработанной поверхности и некоторые другие явления.

Высокие температуры в зоне обработки, возникающие из-за низкой теплопроводности труднообрабатываемых материалов, определяют необходимость исследования температурных ограничений на режимы резания при их оптимизации. Существующая методика расчета тепловых потоков и температур в зоне резания не дает возможности учитывать охлаждающее и смазывающее действия СОТС [4]. Для этих видов материалов представляет интерес дальнейшее развитие методики определения температур в зоне резания при использовании СОТС.

Значимость влияния СОТС обусловлена тем, что СОТС является одним из наиболее важных переменных факторов состояния системы резания. За счет изменения состава и состояния СОТС можно эффективно осуществлять глубокие и многосторонние

изменения параметров функционирования системы резания.

Однако, имеющиеся работы по оптимизации не охватывают область обработки специальных марок нержавеющей, жаропрочных и высокопрочных сталей и сплавов. Существующие рекомендации по выбору рациональных параметров обработки этих материалов содержат ограниченные сведения о влиянии СОТС на режимы резания [5]. Недостаточно информации и по оценке достижимого уровня повышения производительности при применении различных СОТС, что затрудняет обоснование их выбора в различных условиях обработки. Для труднообрабатываемых материалов представляет интерес дальнейшее развитие методики оптимизации режимов резания с учетом температурных ограничений при использовании различных СОТС.

С учетом приведенных выше критических замечаний о недостатках существующих методик, а также анализа возможных путей повышения точности расчетных зависимостей, становится актуальной проблема создания математической модели назначения оптимального режима обработки, в основе которой лежат **достоверные зависимости и оперативная информация** из зоны резания. Диалог оператора с системой ЧПУ нового поколения должен состоять в задании ей вводной информации с минимумом задаваемых параметров: например, величины стойкости инструмента, глубины резания - остальные расчетные и поправочные величины система ЧПУ должна получать оперативным путем из зоны резания. Именно на основе оперативной информации, а не на основе данных из справочников, она должна определять режимы резания.

**Список литературы:** 1. Егоров С. В. Пути повышения производительности при обработке резанием жаропрочных сплавов. ОТИ-ВНИИ, М.: Машгиз, 1960. – 304 с. 2. Старков В. К., Киселев М. В. Алгоритм оптимизации процесса резания по энергетическому критерию качества // Станки и инструмент. 1992. – №10. – с.18-20. 3. Огневенко, Е. С. Связь параметров и режимов обработки осевым инструментом с параметрами акустической эмиссии на примере спирального сверла [Текст] / Е. С. Огневенко // Обработка металлов. – 2007. – №3. – С. 13 – 15. 4. Ивченко Т.Г. Влияние условий обработки на закономерности формирования тепловых потоков в зоне резания при точении // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 5. - Донецьк, ДонНТУ, 2008.- С.23-29. 5. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве. - М.: Машиностроение. 1989. - 296с.

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ ОБЪЕКТОВ ТЕХНОСФЕРЫ

**Артемьев А. С., Саиян Н.А., Звягинцева А. В.**

*(Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия)*

Моделирование распространения примесей в атмосферном воздухе промышленного города требует комплексного учета многих факторов, влияющих на состояние атмосферы. Каждый из этих факторов имеет свои специфические особенности, что приводит к необходимости использования для их учета разных математических моделей и баз данных. Для решения этой сложной задачи удобно использовать методы математического моделирования и ГИС-технологии. Целью представляемой работы является моделирование оценки загрязнения атмосферы города промышленными выбросами на