**Содержание**

1. Сущность и особенности электроискровой обработки материалов

2. Технология ультразвуковой и анодно-механической обработки материалов

3. Сущность и особенности электроимпульсной обработки материалов

4. Обработка материалов лазером и электронным лучом

5. Сущность методов обработки деталей пластическим деформированием

## Список использованной литературы

**1. Сущность и особенности электроискровой обработки материалов**

Различные электроискровые методы обработки материалов известны науке и промышленности достаточно давно. Несомненными преимуществами подобных методов является относительная простота оборудования, высокая производительность, независимость производительности от твердости обрабатываемого материала и других его физических характеристик. Единственное ограничение применения только в необходимости, чтобы обрабатываемый материал был токопроводящим.

Одним из видов электроискровой обработки является электроэрозионное легирование. Принцип электроэрозионного легирования давно известен в промышленности и применяется, когда необходимо получить твердое, износостойкое покрытие поверхности, обладающее хорошей связью с материалом основы. Широко применяются в промышленности портативные установки с рабочей частью в виде карандаша для ручной обработки или специализированное оборудование (станок производства Японии для упрочнения вершин зубьев непрерывной стальной пилы).

Механизм процесса следующий:

При сближении электродов (анода v наносимого материала и катода v обрабатываемой поверхности) происходит увеличение напряженности электрического тока. При некотором расстоянии v напряженность становится достаточной для возникновения искрового разряда.

Через канал сквозной проводимости пучок электронов фокусировано ударяется о поверхность анода. Энергия остановленных электронов выделяется в поверхностных слоях анода. Поскольку в этот момент система броском освобождает накопленную энергию, плотности тока значительно превосходят критические значения. В результате от анода отделяется капля расплавленного металла и движется к катоду, опережая движущийся вслед с большой скоростью анод. Капля расплавленного металла в процессе отделения от катода нагревается до высокой температуры, закипает и взрывается.

Так как к этому моменту цепь тока прерывается, исчезают сжимающие усилия электромагнитного поля, частицы расплавленного металла летят широким факелом. Перегретая капля в процессе отделения, закипания и взрыва, увеличившего ее действующую поверхность, все время была в соприкосновении с газом в атомарном состоянии, следовательно, химический состав летящих к аноду частиц отличается от исходного состояния анода. Факел частиц, достигнув катода, прилипает и частично внедряется в его поверхность.

Вслед за частицами движется электрод, включенный в систему, успевшую вновь накопить энергию, так как источник ее питания продолжал действовать. Поэтому через раскаленные частицы, лежащие на катоде, проходит второй импульс тока, сопровождающийся механическим ударом массы электрода-анода. Второй импульс сваривает частицы между собой и прогревает поверхность катода, на котором они лежат. Происходит диффузия частиц в поверхность катода и химическая реакция между этими частицами и материалом катода. Механический удар проковывает покрытие, увеличивая его однородность и плотность. Затем анод движется вверх, а на катоде остается слой металла, прочно соединенный с его поверхностью.

Упоминания о данном методе встречаются в специальной литературе уже в первой половине нашего столетия. Основные его черты сохраняются и до нашего времени. Основные изменения коснулись лишь конструкции электрододержателя, модернизации источника питания, комбинирования электродов-инструментов для нанесения комбинированных покрытий. Также существует вариант нанесения покрытий при внесении в зону низковольтного электрического разряда наносимого материала в мелкодисперсном виде. Однако при данном методе частота следования разрядов остается зависимой от частоты механических колебаний анода.

Обобщенно, недостатками данного метода, принимаемого за прототип, являются:

– низкая скорость процесса, зависящая от частоты следования импульсов, т.е. от частоты механических колебаний вибратора с анодом;

– дискретный вид покрытия из-за особенностей процесса переноса металла с анода на поверхность катода;

– невозможность обработки труднодоступных мест;

– возможность нанесения покрытий только из электропроводных материалов.

Попытки расширить технологические возможности метода позволили предложить принципиально новый способ электроискрового легирования. Данный способ состоит в том, что наносимый материал в мелкодисперсном, взвешенном в газе состоянии, попадает в промежуток между катодом – обрабатываемым материалом и анодом, в котором с большой частотой (более 2000 Гц) возбуждаются высоковольтные разряды. Попадая в разряд, порошок расплавляется и осаждается на обрабатываемой поверхности.

Проведенный патентный поиск показал принципиальную новизну предложенного способа. Существенными преимуществами предложенного способа являются возможность нанесения неэлектропроводных покрытий, увеличение скорости процесса и повышение надежности оборудования из-за отсутствия механических колебаний в системе, значительное снижение неравномерности покрытия из-за высокой частоты следования импульсов, перекрытие следов нанесения покрытия, снижение себестоимости процесса из-за упрощения оборудования и возможности обработки труднодоступных мест.

**2. Технология ультразвуковой и анодно-механической обработки материалов**

Современная технология механической обработки конструкционных материалов достигла больших успехов, а выпускаемые промышленностью металлорежущие станки – высокой степени совершенства и высокой производительности, что позволяет с успехом решать различные задачи, выдвигаемые бурным процессом развития техники.

Однако развитие техники привело к появлению новых материалов, механическая обработка которых традиционными способами затруднена. К ним относятся, прежде всего, такие материалы с высокой твердостью, как вольфрамосодержащие и титанокарбидные сплавы, алмаз, рубин, лейкосапфир, закаленные стали, магнитные сплавы из редкоземельных элементов, термокорунд и др. Из традиционных способов при обработке таких материалов применяется только шлифование.

Обработка другой группы материалов, таких как германий, кремний, ферриты, керамика, стекло, кварц, полудрагоценные и поделочные минералы и материалы, затруднена их очень большой хрупкостью. Такие материалы не выдерживают усилий, возникающих при традиционной механической обработке. Поскольку именно перечисленные выше материалы во многом определяют прогресс техники, возникает необходимость эффективно обрабатывать детали из подобных, «необрабатываемых традиционными способами», материалов.

Для решения проблемы обработки сверхтвердых и хрупких материалов разработаны и внедрены в практику специальные способы обработки: алмазосодержащим вращающимся инструментом, электрохимический, электроэрозионный, электронно-лучевой, ультразвуковой.

Все перечисленные способы обработки характеризуются очень высокой экологической опасностью и энергоемкостью процесса.

Так, наиболее широко используемый в практике способ обработки алмазосодержащим вращающимся инструментом характеризуется энергоемкостью (затратами электрической энергии на съем единицы объема обрабатываемого материала), приблизительно равной

2000 Дж/мм3, обеспечивая выполнение отверстий диаметром не более 25 мм с производительностью не выше 0,5 мм/мин.

При такой обработке используется большое количество охлаждающей воды (не менее 1…5 л/мин), причем очистка ее от мелкодисперсного порошка разрушаемого материала (например, стекла) является сложной проблемой.

При механической обработке с помощью алмазосодержащих инструментов используются мощные, высокоскоростные сверлильные станки.

Износ рабочего инструмента достигает 5% от глубины выполняемых отверстий, а изготовление алмазосодержащих инструментов диаметром более 25 мм является технически неразрешимой задачей.

Приведенные данные по энергозатратам и расходу материалов при алмазном сверлении обуславливают высокую стоимость выполнения одного отверстия (до 15 долларов США).

Очевидно, что такой способ обработки будет экологически опасным (акустический шум, вращающийся с большой частотой рабочий инструмент, унос большого количества воды с мелкодисперсным порошком и т.п.) и не ресурсосберегающим (большой расход алмазного инструмента, малая производительность сверления, большой расход воды, большое энергопотребление).

Преимущества ультразвукового (УЗ) способа обработки перед другими заключаются в возможности обрабатывать непроводящие и непрозрачные материалы, а также в отсутствии после обработки остаточных напряжений, приводящих при использовании других способов к образованию трещин на обрабатываемой поверхности.

Ультразвуковым способом эффективно обрабатываются такие хрупкие материалы, как агат, алебастр, алмаз, гипс, германий, гранит, графит, карбид бора, кварц, керамика, корунд, кремний, мрамор, нефрит, перламутр, рубин, сапфир, стекло, твердые сплавы, термокорунд, фарфор, фаянс, ферриты, хрусталь, яшма и многие другие.

Ультразвуковой способ обработки представляет собой разновидность обработки долблением – хрупкий материал выкалывается из изделия ударами зерен более твердого абразива, которые направляются торцом рабочего инструмента, колеблющегося с ультразвуковой частотой. Применение ультразвуковых колебаний позволяет интенсифицировать процесс хрупкого разрушения обрабатываемого материала за счет создания сетки микротрещин и выколов на поверхности.

Технология ультразвуковой обработки заключается в подаче абразивной суспензии в рабочую зону, т.е. в пространство между колеблющимся с высокой частотой торцом рабочего инструмента и поверхностью обрабатываемого изделия. Зерна абразива под действием ударов колеблющегося инструмента ударяют по поверхности обрабатываемого изделия и проводят его разрушение. В качестве абразива обычно используются карбид бора или карбид кремния, в качестве транспортируемой жидкости – обычная вода.

Вследствие воздействия частичек абразива на поверхность рабочего инструмента происходит его разрушение. Для уменьшения износа рабочего инструмента его обычно выполняют из вязких материалов, не разрушающихся под действием ударных нагрузок.

Частицы абразива под действием ударов раскалываются. Поэтому в зону обработки непрерывно подается абразивная суспензия, несущая зерна свежего абразива и удаляющая частицы снятого материала и размельченный абразив.

Для уменьшения шумового воздействия от работающих ультразвуковых аппаратов, рабочая частота выбирается достаточно высокой, обычно это 22 Кгц или более.

Подача рабочего инструмента в направлении колебаний обеспечивает формирование полости, копирующей форму рабочего инструмента.

Таким образом, ультразвуковая размерная обработка базируется на двух основных процессах:

1). Ударном внедрении абразивных зерен, вызывающих выкалывание частиц обрабатываемого материала;

2). Циркуляции и смене абразива в рабочей зоне.

Обязательным условием высокопроизводительной ультразвуковой обработки материалов является интенсивное протекание этих двух процессов. Ограничения, возникающие для протекания одного из этих процессов, вызывают снижение эффективности всей ультразвуковой обработки.

Производительность ультразвуковой обработки в значительной степени зависит от физико-механических свойств материалов, частоты и амплитуды колебаний рабочего инструмента, зернистости абразива и нагрузки на инструмент. Влияние всех этих факторов на процесс ультразвуковой размерной обработки будет рассмотрено далее.

Способ ультразвуковой обработки начал применяться в промышленности уже в начале шестидесятых годов. С его помощью удалось существенно упростить и ускорить технологию изготовления фасонных деталей из твердых и хрупких материалов. Так, например, в сотни раз повысилась производительность вырезания пластин любой формы из различных керамик, полупроводниковых материалов, появилась возможность выполнять отверстия любой формы, упростилась технология изготовления матриц и пунсонов из твердых сплавов.

Следует отметить, что УЗ установки первой группы для обработки деталей из твердых хрупких материалов до настоящего времени не получили широкого развития. Обусловлено это было низкой надежностью и эффективностью самих установок, выполненных на основе ламповых генераторов, и использованием магнитострикционных преобразователей, требующих принудительного водяного охлаждения, с одной стороны, и практически полным отсутствием до 90-х годов потребностей в таких станках из-за отсутствия индивидуальных потребителей, малых предприятий и мелкосерийных производств.

Поэтому наибольшее распространение до 90-х годов получили стационарные УЗ станки (как универсальные, так и специализированные) с вертикальным расположением колебательной системы. Их условно подразделяли в зависимости от функциональных возможностей на три группы:

Станки малой мощности до 200 Вт;

Станки средней мощности от 250 до 1500 Вт;

Станки большой мощности от 1600 до 4000 Вт.

Станки малой мощности (наиболее типичный представитель – станок модели 4770А) выполнялись по образцу настольных сверлильных станков, применялись и применяются для обработки неглубоких отверстий (глубиной не более 5 мм) малых диаметров (0,2….6 мм). Габаритные размеры станков малой мощности сравнительно небольшие, а масса достигает 120 кг. Максимальная производительность по стеклу достигала 80 мм3/мин, что соответствовало энергоемкости технологического процесса при обработке стекла, равной 75 Дж/мм 3.

Наибольшее количество установок и станков, созданных и использующихся как в нашей стране, так и за рубежом, относились ко второй группе. Эти станки традиционно выполнялись с жесткой станиной и массивной фундаментной плитой, а по внешнему виду напоминали и на практике выполнялись на базе вертикальных или радиально-сверлильных и вертикально-фрезерных станков. Ультразвуковая колебательная система таких станков выполнялась на основе магнитострикционного преобразователя, имела значительные габариты (более 400х150 мм), требовала принудительного водяного охлаждения (расход воды не менее 1 л/мин) и жестко соединялась со станком. Таким образом, ультразвуковые станки второй группы использовались исключительно в стационарных условиях, и на них обрабатывались только изделия, устанавливаемые на рабочем столе станка. Это существенно ограничивало функциональные возможности ультразвуковых станков, не позволяя, например, обрабатывать большие листы стекла, мрамора, обрабатывать изделия, не перемещаемые на рабочий стол, обрабатывать не горизонтально расположенные изделия, т.е. выполнять отверстия и пазы необходимой формы и размера на месте их расположения. Станки мощностью 0,4 кВт (модель 4771А) обеспечивали выполнение отверстий диаметром от 0,5 до 15 мм с производительностью до 500 мм3/мин, что соответствовало энергоемкости процесса – 50 Дж/мм3.

Станки мощностью 1,5 кВт (например, модели 4772А и Динатрон фирмы «Лефельдт») при собственной массе в 1000 кг обеспечивали выполнение отверстий диаметром до 40 мм и характеризовались энергоемкостью процесса, равной 75 Дж/мм3. Станки большой мощности получили незначительное распространение. Они были изготовлены в единичных экземплярах и применялись только в крупносерийном производстве для обработки деталей из твердых сплавов, твердой керамики, изготовления небольших матриц и заточки инструментов. Типичный представитель этой категории станков – станок модели 4773А массой 1500 кг., мощностью на входе преобразователя 4 кВт (потребляемая мощность более 10 кВт). Станок обеспечивал выполнение отверстий диаметром не более 60 мм и характеризовался энергоемкостью процесса прошивки, превышающей 70 Дж/мм3 (по стеклу).

Таким образом, разработанные в нашей стране и за рубежом ультразвуковые прошивочные станки обеспечили выполнение отверстий диаметром до 60 мм (обычное сверление алмазосодержащим инструментом – не более 25 мм). Сам технологический процесс обработки характеризовался энергоемкостью, превышающей 50 … 75 Дж/мм3 (энергоемкость снизилась в 25…40 раз по сравнению с алмазным сверлением).

К недостаткам существующих ультразвуковых станков относится большая энергоемкость процесса (из-за низкого КПД), невысокая производительность. Из анализа современного состояния ультразвуковой техники, накопленного опыта, современного уровня развития электроники и в связи с созданием новых материалов для излучателей УЗ колебаний следует, чтобы преодолеть вышеуказанные недостатки разработанных ранее станков и апробированных способов обработки необходимо использовать следующие перспективные направления развития:

1. Исходя из необходимости решения ряда конкретных задач в заданных условиях и наличия вполне определенных возможностей у различных потребителей необходимо создание ряда УЗ станков, способных удовлетворить потребности современных высокоэффективных производств и других потребителей.

2. Для снижения энергоемкости УЗ обработки разработать и применить колебательные системы на основе современных пьезоэлектрических материалов, обладающих высоким КПД (более чем в два раза выше, чем у магнитострикционных материалов) и не требующих принудительного водяного охлаждения.

3. Для снижения энергоемкости процесса, повышения надежности и снижения массогабаритных характеристик генераторов УЗ колебаний разработать и использовать новые принципиальные схемные технические решения (обеспечение работы в ключевом режиме, с применением систем автоматической стабилизации номинальной рабочей частоты и стабилизации амплитуды) на основе новых электронных элементов (например, высоковольтных, высокоскоростных транзисторов большой мощности).

4. Для повышения эффективности станков разработать ультразвуковые колебательные системы с высоким КПД на основе использования новых конструктивных схем преобразователей, концентраторов, рабочих инструментов и материалов для их изготовления.

5. Для повышения производительности обработки и снижения энергоемкости процесса использовать полые трубчатые рабочие инструменты и развивать и совершенствовать УЗ обработку вращающимся рабочим инструментом в виде полой металлической трубки с применением абразивной суспензии.

6. Для увеличения глубины обработки без существенной потери производительности усовершенствовать и применить безабразивное сверление глубоких отверстий рабочими инструментами из природных или синтетических алмазов на металлических связках.

7. Для повышения эффективности ультразвуковой обработки совершенствовать технологию УЗ обработки и методики применения станков (проведение обработки за несколько проходов с постепенным увеличением диаметра рабочего инструмента, последовательная прошивка с двух сторон и т.п.).

Анодно-механическая обработка материалов, основанная на одновременном использовании анодного растворения и механического удаления продуктов распада. Применяется для резки, заточки резцов, шлифования и др.

**3. Сущность и особенности электроимпульсной обработки материалов**

Технологии с использованием импульсных сильных токов относятся наряду со взрывными (использование взрывчатки) к высокоскоростным, при которых реализуется интенсивное силовое воздействие на обрабатываемый объект. Часто объекту при этом сообщается большая скорость, что открывает новые технологические возможности. Например, появление пластических свойств у хрупких материалов (сплавы молибдена). К технологиям, использующим сильные импульсные токи, принадлежат электрогидравлическая (сильноточный разряд в воде), электроэрозионная и магнитно-импульсная обработка материалов (создание сильного импульсного магнитного поля и организация силового действия этого поля на обрабатываемый объект).

Рассмотрим электрофизические основы технологии.

При импульсном электрическом разряде в жидкости происходит быстрое выделение энергии в канале разряда. В результате давление в канале разряда значительно превышает внешнее, канал быстро расширяется, что приводит к возникновению ударной волны и потоков жидкости. Ударная волна представляет собой скачек плотности среды, распространяющейся от канала со скоростью, превышающей звуковую. Давление на фронте ударной волны в жидкости может достигать десятков килобар. Воздействие этого давления на обрабатываемый объект может вызывать структурную перестройку материала объекта (дробление хрупких материалов, деформацию, упрочнение поверхности и т.д.). Потоки жидкости, распространяющиеся со скоростью 102÷103 м/с, передают кинетическую энергию обрабатываемому объекту, вызывая, как и ударная волна, его механические изменения. Механические проявления импульсного разряда в жидкости принято называть электрогидравлическим эффектом, а установки с использованием этого эффекта – электрогидравлическими. В качестве рабочей среды в таких установках используется, как правило, техническая вода. Как уже отмечалось, технологии с применением электрического разряда в жидкости относятся к высокоскоростным. Этим и определяется их преимущество. Можно назвать ряд технологических процессов, которые либо нашли применение, либо перспективны. Под электроэрозионной обработкой понимают обработку металлов с использованием электрической эрозии, возникающей при организации импульсного разряда между обрабатываемой деталью и специальным электродом-инструментом. Электроэрозионная обработка производится с целью придания детали требуемой формы (размерная обработка), упрочнения поверхности или нанесения на нее защитного покрытия.

Различают два вида электроэрозионной обработки: электроискровую и электроимпульсную.

Электроискровая обработка производится короткими импульсами тока (менее 100 мкс). Условно такие разряды называют искровыми, из чего следует и название обработки.

Электроимпульсная обработка характеризуется более длительными импульсами тока (более 100 мкс), при которых разряд по своим характеристикам приближается к дуговому: с характерными зонами и столбом канала, для которого характерны малые градиенты напряжения.

Принцип реализации электроэрозионной обработки основан на тепловом действии канала разряда на обрабатываемую деталь. В канале разряда, включая приэлектродную зону, за короткое время выделяется энергия, нагревая газовую среду канала (в основном пары металла) до температуры в несколько тысяч градусов. За счет теплопроводности из зоны разряда формируется тепловой поток, который быстро нагревает непосредственно примыкающий к месту разряда металл заготовки, плавит и частично испаряет некоторое количество металла, образуя эрозионную лунку. Для организации разряда с нужными параметрами и эвакуации продуктов эрозии (пара и частиц расплавленного металла) разряд производится в технологической жидкости (керосин, масло, вода).

Главными преимуществами электроэрозионной обработки являются возможность обработки металлов с любой прочностью, включая высокопрочные сплавы, а также возможность изготовления отверстий, линий разреза сложной конфигурации. Например, используя электрод в форме спирали, возможно изготовить отверстие, повторяющее форму электрода в заготовке, обладающей любой прочностью. Никакими другими технологическими приемами аналогичную операцию выполнить невозможно. Важной особенностью электроэрозионной обработки является простота регулирования выделяемой в разряде энергии путем изменения емкости источника питания. Тем самым обеспечивается желаемый режим: грубый (обдирочный) или более мягкий, с более гладкой поверхностью обрабатываемой детали (финишные режимы). Магнитно-импульсная обработка материалов основана на использовании электродинамических сил, которые в импульсных режимах могут достигать гигантских значений. Если давления, создаваемые электродинамическими силами, превышают предел прочности, то происходит деформация заготовки. Этот процесс часто называют магнитной штамповкой. При магнитно-импульсной обработке происходит преобразование электрической энергии, накопленной в конденсаторной батарее, при разряде на индуктор или непосредственно на заготовку в энергию импульсного магнитного поля, совершающего работу деформирования электропроводной заготовки. При магнитно-импульсной обработке достигаются скорости перемещения заготовки до нескольких сотен метров в секунду, что открывает широкие технологические возможности этого способа при штамповке труднообрабатываемых обычными способами материалов, импульсной сварке и т.д. Отсутствие инерционной среды, через которую обычно передается давление на обрабатываемую деталь, а также распределение электродинамических сил по объему заготовки, возможность осуществления технологических операций в контролируемой газовой среде или в вакууме через изоляционные стенки – уникальные особенности магнитно-импульсной обработки. К преимуществам магнитной штамповки относятся также возможность точного регулирования электродинамических сил путем изменения электрических параметров установки, простота технологической оснастки, возможность полной автоматизации изготовления деталей и т.д.

**4. Обработка материалов лазером и электронным лучом**

Использование лазеров в первую очередь предполагается в тех технологических процессах, которые неосуществимы с помощью других источников энергии или их осуществление связано с большими энергетическими и временными затратами. Предпочтительным оказывается применение лазеров при термической обработке элементов электронных схем, когда обрабатываемые участки сочетаются с участками или деталями, имеющими низкотемпературную стойкость, а также для микроразмерных и локальных термообработок. В последнее время широко используется ЛТ в операциях, где обработка материалов с помощью лазеров осуществляется с меньшими энергетическими и трудовыми затратами (например, для обработки хрупких, твердых и термостойких материалов) по сравнению с другими технологиями. Во многих процессах оказалось возможным сочетать лазерное воздействие с другими видами энергии, например с действием плазмы электрического разряда, взрывной волны, ультразвука, механического и химического воздействия. Это значительно расширило круг задач, решаемых с помощью ЛТ. Очень часто лазерная обработка проводится в присутствии химических, газовых и других рабочих сред, что позволяет проводить ряд работ, неосуществимых в других технологиях.

Предпочтительным оказывается использование лазеров в процессах, где с его помощью возможно выполнение целого ряда операций одновременно или в одном технологическом цикле. Преимуществом ЛТ является простота управления лазерным пучком, высокая точность обработки и оперативность.

Рассмотрим наиболее типичные технологические операции, привлекая несложные физические модели и представления.

Пожалуй, наиболее широкое применение лазерная сварка нашла в производстве изделий электронной техники, так как позволяет сваривать тугоплавкие металлы (вольфрам, молибден); проводить микролокальную сварку (~10 мкм); обрабатывать короткими импульсами (10-2 – 10-3 с), что исключает нежелательные структурные изменения в материалах из-за подавления диффузных процессов; вести сварку в любой атмосфере, в труднодоступных местах, бесконтактно и без загрязнений; соединять материалы с различными теплофизическими и механическими свойствами. Процесс сварки лазером позволяет проводить операции вблизи от термочувствительных элементов. Лазерная сварка является энергоемким процессом, поскольку требует плавления материала. Основная особенность изучения физики плавления связана с тем, что при плавлении большинства металлов их электропроводность скачком уменьшается в 2–3 раза, что влечет за собой скачок теплопроводности и отражательной способности и тем самым приводит к новому режиму нагревания, характеризующемуся дополнительной затратой тепла на плавление. В этом случае очень часто прибегают к решениям, позволяющим резко увеличить производительность лазерной сварки за счет использования дополнительной энергии или специальной реактивной среды.

Другой технологической операцией, также связанной с процессом плавления, является лазерная пайка, которую, подобно сварке, можно проводить в труднодоступных местах, закрытых объемах, используя все замечательные свойства лазерного излучения. Чаще всего для этой операции используются твердотельные лазеры с λ = 1,06 мкм, а тип этой операции является, пожалуй, самым массовым видом ЛТ в производстве изделий электронной техники (ИЭТ). Основными преимуществами лазерной пайки являются следующие возможности: практически мгновенная скорость нагрева; точное дозирование энергии в процессе пайки; прецизионность позицирования зон обработки и т.д.

Особенности физических процессов лазерной резки связаны с разрушением материала за счет испарения движущимся источником тепла и использованием при резке непрерывного или импульсного излучения. Удобнее всего резку материалов вести лазерами непрерывного действия, например СО2 – лазерами мощностью 10 2 – 104 Вт. Для обеспечения процесса резки металлов часто производится поддув газов: инертных – для повышения чистоты поверхности реза или кислорода – для повышения скорости реза.

В большинстве случаев световой поток, сфокусированный в пятно dг движется со скоростью υо. Если теплонасыщение произойдет раньше, чем световое пятно пройдет путь, равный своему радиусу, то есть υо⋅ rг /ξ < 1, то источник считается медленно движущимся и наиболее употребим. Пороговая интенсивность светового потока, необходимая для начала резки, с увеличением скорости перемещения источника увеличивается как √υо.

В случае импульсного излучения возникают дополнительные требования к скорости движения источника тепла, мощности и частоте излучения. При импульсном излучении, если скважность импульсов мала, пользуются усредненными мощностными характеристиками эквивалентными характеристикам непрерывного излучения. Если tи < 0,1 rг / υо, то источник считается неподвижным при υо < 1 см/с, rг > 10 мкм. При f< ξ /(30 rг2) после каждого импульса материал начинает остывать, так как не происходит достаточного накопления тепла, а результат воздействия определяется параметрами отдельного импульса. Отсюда понятно, что при импульсном режиме работы лазера для проведения этой технологической операции необходимо увеличение мощности, частоты импульсов при уменьшении скорости перемещения источника излучения.

По сравнению с традиционными методами резки абразивными алмазными кругами лазер обладает следующими преимуществами: позволяет легко резать сверхтвердые материалы (например, алмазы, корунды); делать малую ширину пропила (в несколько десятков микрон); изготавливать детали сложной формы в хрупких материалах, обрабатывать кристаллы с большими внутренними напряжениями независимо от их кристаллической ориентации.

Лазерная маркировка имеет преимущество перед обычными методами при маркировании изделий малых и сверхмалых размеров, хрупких, твердых, стерильных и в труднодоступных местах. Операция маркировки реализуется путем сканирования луча по программе или путем проекции маски. Изображение формируется за счет испарения материала.

Скрайбирование – метод частичного испарения вдоль границы раздела и последующего разламывания. Эффективен для разделения хрупких материалов (керамик, полупроводниковых кристаллов, стекол и т.д.). Для этой операции применяются СО2-лазеры непрерывного действия. Это – очень экономичный и высокопроизводительный метод.

Физическое содержание процесса термообработки заключается в изменении структурных свойств материалов под воздействием нагрева (в отличие от сварки – плавления и резки – испарения). Принципиально лазерная термообработка не отличается от обычной, но имеет свои особенности. Использование лазера позволяет резко уменьшить глубину обрабатываемого слоя, управлять его величиной, проводить локальные структурные преобразования, придавать обрабатываемым участкам особые свойства, проводить профилированную термообработку и т.д. Лазерное действие на материал, как правило, многофакторный процесс, а лазерная термообработка подразумевает получение различных результатов: закалки, отжига, отпуска, легирования, упрочнения, кристаллизации, аморфизации и других процессов.

Рассмотрим часть технологических процессов термообработки, которые занимают значительное место в производстве ИЭТ. Высокая скорость нагрева и охлаждения позволяет модифицировать микроструктуру поверхности металлов, керамик, при этом происходит локальная закалка тонкого приповерхностного слоя, обеспечивающая высокую твердость обработанных участков. Кроме того, благодаря высокой скорости охлаждения (108 – 109 К⋅с-1), идет процесс диспергирования, который также способствует упрочнению поверхности. Такая процедура дает положительный результат при изготовлении трущихся деталей электронной техники (например, при работе считывающих головок и др.).

Упрочнение, полученное путем введения присадок в процессе лазерного нагрева, называется лазерным легированием. С помощью лазера сравнительно легко осуществляется процесс азотирования и науглероживания поверхности изделий. Образующиеся новые фазы и соединения (карбиды, нитриды) обладают свойствами, позволяющими резко повысить тугоплавкость и твердость, а также износостойкость матричных материалов. Поэтому чаще всего легирование проводится с целью упрочнения поверхностных слоев. В результате такого легирования удается повысить твердость и износостойкость в 2–3 раза. Перспективным является легирование деталей из дешевых углеродистых сталей металлокерамической смесью или твердыми вольфрам-кобальтовыми сплавами. Так, вдувание порошка ВК-15 (сплава, используемого для изготовления твердых наплавок в режущих инструментах) в зону нагрева непрерывного СО2-лазера мощностью 1–3 кВт позволило получить на обрабатываемом материале поверхностные слои с твердостью, сопоставимой с наплавляемым материалом.

Достоинством способа лазерного легирования, несомненно, является возможность управления процессами, регулируя энергию, частоту следования импульсов и их длительность. Изменяя скорость перемещения и число проходов луча по поверхности, можно легко изменять фазовый и химический состав поверхностных слоев, добиваясь необходимых результатов.

**5. Сущность методов обработки деталей пластическим деформированием**

Основные эксплуатационные свойства деталей машин – износостойкость, прочность, коррозионная устойчивость в значительной мере определяются состоянием их поверхностного слоя. Существует достаточно большое количество различных технологических методов повышения качества поверхностей деталей. Наиболее распространенными из них являются гальванические и химические методы нанесения покрытий, такие как: хромирование, цинкование, кадмирование, меднение, свинцевание, никелирование, лужение, латунирование, оксидирование. Обеспечивая повышение эксплуатационных свойств, а так же, улучшая декоративный вид изделий, эти методы в то же время являются экологически небезопасными.

Технологический процесс изготовления деталей с покрытиями обычно включает следующие операции: механическую обработку для получения поверхностей необходимой точности и чистоты, обезжиривание и травление, промывку, осаждение на рабочую поверхность покрытия, термическую обработку. Неблагоприятным с экологической точки зрения является использование в составе электролитов для травления и нанесения покрытий сильных кислот. Например, в качестве электролита для хромирования обычно применяют хромовый ангидрид с добавками серной кислоты. Нерастворимые аноды изготовляют из свинца или сплава с сурьмой. При никелировании используется электролит из сернокислого никеля и щавелевокислого аммония. Травление ведут в электролите, состоящем из серной и фосфорной кислот. В состав электролита для оксидирования также входит серная кислота. Использование и последующая утилизация таких электролитов представляет собой сложную экологическую задачу.

Одним из способов ее решения является использование для повышения качества поверхностей деталей отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием, не оказывающей вредного экологического воздействия на окружающую среду. Это накатывание, обкатывание, раскатывание, выглаживание, виброобработка, динамическое упрочнение различных поверхностей деталей машин.

Накатывание, обкатывание и раскатывание осуществляют специальным инструментом, рабочими элементами которого являются шарики или ролики от подшипников или специально изготовленные. При давлении рабочего элемента на обрабатываемую поверхность детали происходит ее локальное пластическое деформирование в месте контакта. Наличие различных вращательных и поступательных движений позволяет обрабатывать различные поверхности (плоские, цилиндрические, фасонные). Обработку ведут на универсальных и специальных станках, станках с ЧПУ, полуавтоматах и автоматах.

Выглаживание производят инструментом, рабочим элементом которого является твердосплавный или алмазный индентор, скользящий по обрабатываемой поверхности. Этим методом можно обрабатывать все виды поверхностей от плоской до фасонной.

Виброобработка – это процесс накатывания, обкатывания, раскатывания шариками или алмазное выглаживание при наличии дополнительного осциллирующего движения рабочего элемента параллельно обрабатываемой поверхности. Варьирование амплитуды и частоты осцилляций рабочего элемента, наряду с изменением других режимов обработки, позволяет создавать на поверхности различные регулярные микрорельефы или системы канавок.

Динамическое упрочнение производят рабочими элементами в свободном состоянии или при их фиксированном положении. В качестве рабочих элементов при свободной обработке применяют дробь и шарики, стальные или стеклянные, при фиксированном положении шарики и ролики подшипников или специальные, в зависимости от обрабатываемой поверхности. При свободной динамической обработке рабочие элементы направляются на обрабатываемую поверхность воздушной струёй с помощью специальных устройств под действием центробежных сил или в вибробункерах.

В зависимости от функционального назначения изделия за счет изменения рабочего давления обработку можно производить на отделочных, упрочняющих и промежуточных отделочно-упрочняющих режимах.

Отделочная обработка осуществляется при небольших рабочих давлениях *р* > 1,5 т и позволяет повысить несущую способность исходной шероховатости поверхности с 1–2% до 15–20%. Упрочняющую обработку производят при *р* > 3т, при этом значительно повышается степень (до 180%) и глубина упрочнения. Обработка на промежуточных отделочно-упрочняющих режимах (1,5т < *р* <3т) позволяет улучшить несущую способность параметров шероховатости и волнистости и повысить исходную поверхностную микротвердость на небольшую глубину.

Все методы обработки заготовок пластическим деформированием имеют широкие возможности в управлении параметрами состояния поверхностного слоя деталей машин, а, следовательно, и их эксплуатационными свойствами. На основании исследования закономерностей формирования поверхностного слоя при отделочно-упрочняющей обработке установлены основные взаимосвязи параметров состояния поверхностного слоя с параметрами обработки.

При накатывании шариками наружных цилиндрических поверхностей параметр шероховатости *Ra* рассчитывается следующим образом:

,

где *Ra исх* – исходная шероховатость, *d* – диаметр ролика, *v, s* – скорость и подача, *max* – максимальные напряжения на контакте.

При алмазном выглаживании наружных цилиндрических поверхностей параметр шероховатости *Ra* определяется следующим образом:

где *da* – диаметр алмазного индентора

При вибронакатывании плоских поверхностей параметр шероховатости *Ra*равен:

где *р* – давление, *i* =1…3

На основании указанных зависимостей разработаны рекомендации по выбору рациональных параметров отделочно-упрочняющей обработки, обеспечивающих требуемый уровень параметров шероховатости поверхности с учетом основных эксплуатационных свойств – износостойкости и прочности. Рассмотренные методы являются экологически чистыми, безопасны для рабочих и не оказывают вредного воздействия на окружающую среду.

**Список использованной литературы**

1. Курец В.И., Усов А.Ф., Цукерман В.А. Электроимпульсная дезинтеграция материалов. – Апатиты: КНЦ, 2002, 324 с.

2. Семкин Б.В., Усов А.Ф., Курец В.И. Основы электроимпульсного разрушения материалов. – Апатиты: КНЦ, 1995, 276 с.

3. Усов А.Ф., Семкин Б.В., Зиновьев Н.Т. Переходные процессы в установках электроимпульсной технологии. Л.: Наука, 1987. 189 с.; Барнаул: изд. АГТУ, 2000 (изд. 2-ое переработанное и дополненное), 160 с.

4. Импульсный пробой и разрушение диэлектриков и горных пород / А.А. Воробьев, Г.А. Воробьев, Е.К. Завадовская и др. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1971. 225 с.

5. Воробьев А.А. Разрушение горных пород электрическими импульсными разрядами. Томск: Изд-во ТГУ, 1961. 150 с.

6. Усов А.Ф. Перспективы технологий электроимпульсного разрушения горных пород и руд // Известия Академии наук, Энергетика, 2001, №1, с 54–62

7. Усов А.Ф., Цукерман В.А. Потенциал электрофизических процессов и технологий в производстве (энергетический аспект) // Горный информационно-аналитический бюллетень, №6. – М.: МГГУ, 2001, 120–127.