

и угловой скорости вращателем, а инструмент имеет возможность пятиосевого перемещения.

Пятикоординатные порталные манипуляторы, обеспечивают резку под углом криволинейных поверхностей поворотными головками. Это позволяет проводить разделку и подготовку кромок перед сварочными операциями, что существенно расширяет технологические возможности комплексов при обработке толстолистовых заготовок и обеспечивает переход к широкому применению «прямого выращивания» путем листового раскроя и сборки изделий.

Таким образом, многофункциональным технологическим оборудованием для раскроя материалов является унифицированное оборудование модульного типа, выполняющее резку различных материалов в определенном диапазоне толщин с заданными точностью и скоростью, с нужным качеством поверхностей реза, с использованием различных способов резки (газовая, плазменная, лазерная, гидроабразивная), с осуществлением резки в 3-5 координатах и имеющее возможность выполнения необходимых дополнительных операций механической обработки на вырезаемых деталях (маркировку, сверление, расточку, фрезерование и т.д.).

*Бородавко В.И., Гайко В.А., Позылова Н.М.  
ГНПО «Центр» НАН Беларуси,  
Акулович Л.М., Линник А.В. Белорусский  
государственный аграрный технический  
университет, Минск, Беларусь*

## **ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ДЕТАЛЕЙ**

Методы электрохимической обработки (ЭХО) поверхностей используют процессы электролиза – химические превращения на поверхности электродов в среде электролита. Все его разновидности основаны на использовании процесса электролитической диссоциации.

Электрохимическое полирование проводится в ванне, заполненной электролитом, которым являются растворы кислот или щелочей (в зависимости от материала обрабатываемой заготовки). Ка-

тодами при обработке служат металлические пластины. При подаче напряжения начинается процесс избирательного растворения металла поверхности заготовки. Вследствие большей плотности тока интенсивнее растворяются микровыступы. Так осуществляется сглаживание поверхности. Детали после такой обработки не имеют дефектного слоя, поэтому у них повышается коррозионная стойкость, предел выносливости и контактная прочность. Электрохимическое полирование проводится перед гальваническими покрытиями, для доводки режущего инструмента, для отделки проволоки, фольги и поверхностей деталей.

Электрохимическая размерная обработка проводится с прокачкой электролита под давлением между заготовкой и инструментом. Вновь поступивший свежий электролит способствует лучшему растворению металла поверхности заготовки и удалению продуктов анодного растворения. Прокачка предупреждает также осаждение металла на инструменте, что сохраняет его форму и размеры, т. е. длительную работоспособность. Электрохимическую размерную обработку применяют при изготовлении деталей сложных форм, для прошивки отверстий, оформления полостей штампов.

Электрохимическое травление (ЭХТ) применяют для очистки поверхности всевозможных деталей, проволоки, лент, труб от разнообразных загрязнений (оксидных, жировых и др.) в качестве предварительной обработки перед нанесением покрытий, прокаткой. ЭХТ для очистки от загрязнений производят в растворах кислот, обычно содержащих различные добавки (напр., ингибитор коррозии), в щелочных растворах или расплавах при постоянном или переменном токе. ЭХТ подвергают практически любые металлы и сплавы. ЭХТ используют для осуществления электрохимического фрезерования с целью получения заданного "рисунка" на поверхности детали локальным анодным растворением металла. Места, которые не должны подвергаться растворению, покрывают слоем фоторезисторного материала или специальным трафаретом. Таким образом можно производить перфорирование, а также травление для удаления заусенцев и скругления острых кромок.

Важная область использования ЭХТ – развитие поверхности (увеличение удельной площади поверхности). Развитие поверхности методом ЭХТ применяют для улучшения адгезии металла к стеклу или керамике, усиления сцепления покрытия с металлом при эмалировании металлических изделий и др. Анодным травлением

снимают дефектные гальванические покрытия с деталей с тем, чтобы вернуть их в производство.

ЭХТ применяют в практическом металловедении; широко известно анодное травление металлографических шлифов для выявления микроструктуры сплавов. При этом травление проводят в таких условиях, когда достаточно резко проявляется различие скоростей растворения разных по химическому и фазовому составу компонентов сплава. В результате избирательного ЭХТ могут быть выявлены границы фаз, сегрегация фосфора в стали, дендритная структура титановых сплавов, сетка трещин в хромовом гальванопокрытии, оценена склонность нержавеющей стали к межкристаллитной коррозии.

При электроабразивной и электроалмазной обработке инструментами-электродами являются электропроводящие шлифовальные круги. Между заготовкой-анодом и инструментом-катодом за счет выступающих из связки зерен образуется межэлектродный зазор, куда подается электролит. Заготовка и шлифовальный круг совершают такие же движения, что и при механическом шлифовании. В результате обработки большая часть припуска удаляется за счет анодного растворения (до 90 % при электроабразивной и 75 % при электроалмазной обработке), остальная – за счет механического воздействия абразивных или алмазных зерен. В связи с этим шероховатость поверхности деталей получается лучше, чем при обычных методах шлифования. Применяются эти разновидности электрохимической обработки для отделки труднообрабатываемых и нежестких деталей.

Электрохимическое оксидирование имеет две основные разновидности: получение барьерных тонких (толщиной до мкм) и пористых толстых (до нескольких сотен мкм) анодных оксидных пленок. Барьерные пленки получают в растворах электролитов типа  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , не растворяющих оксиды, обычно в два этапа. На первом этапе - в гальваностатических условиях; при этом напряжение увеличивается во времени, а толщина оксидной пленки пропорциональна прошедшему количеству электричества. После достижения заданного напряжения режим изменяют на вольтостатический: ток снижается во времени, диэлектрические свойства оксидной пленки повышаются. Одна из наиболее важных областей применения барьерных оксидных пленок – получение диэлектрического слоя.

Пористые анодные оксидные пленки выращивают в агрессивных по отношению к оксиду электролитах, например в 15%-ной  $H_2SO_4$ , при постоянном напряжении. Такие пленки состоят из двух слоев: тонкого барьерного и значительно более толстого пористого. Они широко применяются в качестве защитных покрытий. Для улучшения защитных свойств после оксидирования пористые пленки подвергают операции "наполнения" ("уплотнения"), чаще всего обработкой в горячей воде.

Новое направление электрохимической обработки металлов – микродуговое оксидирование, т.е. формирование анодной оксидной пленки в условиях протекания электрических микрозарядов на аноде, что расширяет возможность получения оксидных покрытий с различными полезными свойствами.

*Бородавко В.И., Пынькин А.М., Хейфец М.Л., Кухта С.В.,  
Пуйман Д.В. ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск,  
Полоцкий государственный университет,  
Новополоцк, Беларусь*

## **ПОСЛОЙНАЯ СБОРКА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСКРОЙНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Изготовление масштабных макетов, легко разрушаемых прототипов и заготовок деталей машин из композиционных материалов с рабочими поверхностями сложного профиля «прямым выращиванием» без использования дорогостоящей формообразующей оснастки, сокращая стадии технологической подготовки производства, наилучшим образом удовлетворяет требованию снижения материальных и трудовых затрат.

Традиционные технологии «прямого выращивания» деталей реализуются в основном для определенных материалов и формируют плоские непротяженные поверхностные слои. Перспективным представляется использование новых конструкционных материалов, в том числе композиционных, слоистых, с формируемым градиентом свойств. В результате требуется применение новых технологий создания слоев и сборки изделий, использующих различные