

ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

АСТАПЧИК С.А., академик НАН Беларуси, директор ФТИ НАН Беларуси

Когда-то немецкий профессор Г. Шлезингер сказал: "Дивиденды машиностроительных предприятий находятся на лезвиях режущих инструментов".

Каждый раз, когда на машиностроительные предприятия поступала новая сверхтвердая сталь или другой материал, перед специалистами вставала задача: где достать еще более твердые резцы, чтобы ее обработать.

Развитие электроники, авиации, ракетостроения привело к использованию таких материалов, которые не обработаешь никакими из прежних способов. Назрела ситуация, что требовалась для своего разрешения настоящей революции – изобретения принципиально новых методов обработки, выводящих из традиционного руслу.

Первыми принялись решать эту задачу заводы, производившие грозное оружие – "катюши", т.к. никак не удавалось устранить брак при изготовлении в днище снарядов крохотных отверстий да еще наискось! В результате – вечные поломки сверл, и, как итог, тысячи снарядов с застрявшими в них обломками скопилось на складах, а фронт ждал снаряды.

И вот неожиданно для всех выход был найден недавними выпускниками Московского государственного университета Борисом и Натальей Лазаренко. Вместо привычных сверлильных станков работала миниатюрная молния. Именно она использовалась для разрушения и последующего извлечения поломанного сверла из стакана снаряда. Такое простое и эффективное решение легких ремонтных работ тут же было использовано инженерами многих других специальностей.

Именно применение электронного метода показало, что обработка металлов фактически происходит при встрече пучка, сгустка энергии с поверхностью твердого тела. Этого можно добиться и пучком фотонов, и пучком электронов в вакууме, и мощной струей несжимаемой жидкости. Важно, чтобы сгусток энергии можно было фокусировать.

В этой статье я хотел бы осветить технологии, которые достаточно



широко освоены машиностроительными предприятиями Беларуси и к разработке которых коллектив Физико-технического института НАН Беларуси имеет прямое отношение (патенты, ноу-хау, Госпремии) и которые сегодня имеют спрос и перспективу на освоение.

Лазерные технологии

Принципиальная основа всех лазерных технологий базируется на использовании уникального свойства когерентного источника света – лазера. Лазерное импульсное или непрерывное излучение позволяет сфокусировать энергию с удельной плотностью мощности 10^3-10^{12} Вт/см², что превосходит другие известные источники энергии (плазма, электронный луч, электрический разряд). Световой луч легко управляется с помощью компьютерных, электронных и механических систем, что позволяет создать технологии резки, сварки, сверления отверстий в металлических и неметаллических материалах, термоупрочнения и модификации поверхности твердых тел плоской и сложной пространственной геометрии.

В Беларуси работы в области создания лазеров и лазерных систем представлены в институтах Национальной академии наук (ИМАФ, ИФ, ФТИ, ИТМО), в вузах (БГУ, БГПА, БГУИР), отраслевых НИИ и КБ, предприятиях (концерн "Планар", ПО "Интеграл", БелОМО, МАЗ, МТЗ, БелАЗ). Флагманами в области электронного машиностроения и микроэлектроники являются концерн "Планар", ПО "Интеграл" и БелОМО, на которых широко освоены и развиваются принципиально новые и высокие технологии прямого (безмасочного) изготовления микросхем, методы трехмерной стереолитографии,

прямое лазерное инициирование полимеризации. Естественно, они же создают и уникальное прецизионное оборудование, конкурентоспособное на мировом рынке.

Лазерные методы особенно эффективны при обработке твердых и сверхтвердых материалов (СТМ), таких как природные и искусственные алмазы, различные виды корунда, нитрида бора при сверлении профильных каналов волоочильного инструмента (фильер), обточки ювелирных алмазов (концерн "Планар"), черновой заточки резцов, вырезки контура любой формы из плоских заготовок и т.п.

Независимо от назначения и типа применяемых лазеров лазерные установки имеют общую структурную схему: источник мощного оптического излучения – лазер; оптическую систему для формирования лазерного излучения – энергетический или силовой канал; устройство для закрепления и перемещения обрабатываемого объекта – координатный стол с приводом; систему управления работой лазера и координатного стола. В установках предусматривается также совмещенный с фокусирующей системой тракт для подачи газа в зону обработки для защиты фокусирующей оптики и удаления продуктов испарения.

Лазер обеспечивает энергетические и временные параметры воздействия, оптическая схема формирует пространственные характеристики пучка как инструмента обработки.

Последняя выставка "Металлообработка-2001" показала, что среди предприятий (страны СНГ) наблюдается определенное оживление в плане выпуска оборудования для этих целей и, в частности, комплектов машин термической резки. Это Одесса, С.-Петербург, Шатура и др. В Беларуси лазерные технологические комплексы на базе мощных СО₂-лазеров разрабатываются в ФТИ НАНБ. С нашей помощью созданы участки резки деталей на Минском электротехническом заводе им. В.И. Козлова, МоАЗ, БелАЗ (рис. 1). Выполнены разработки лазерного упрочнения и восстановления деталей и инстру-

инструмента для КЗТШ, ПО "Атлант" (прессо-штамповая оснастка), ПО "Беларускалий" (резцы шахтных машин), ОАО "Керамин" (лазерная сварка ролгангов печей), Локомотивные депо г. Лида и г. Барановичи (лазерное восстановление деталей).

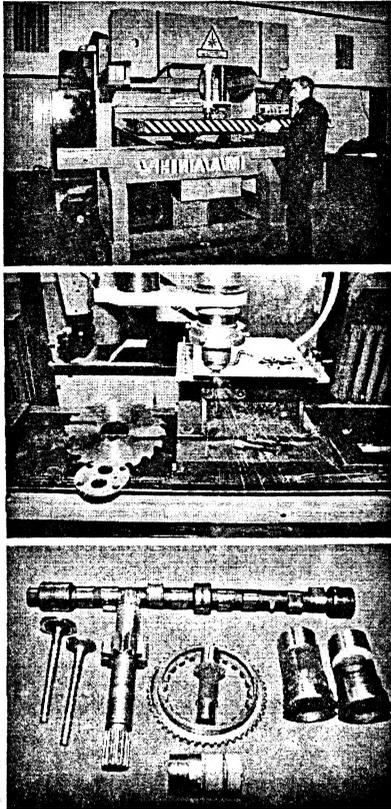


Рис. 1.

Работами зарубежных авторов (Германия, Франция, США, Япония) и специалистов Института электросварки им. Патона показано, что сочетание лазера и плазмы открывает новые возможности, например, для процессов сварки и наплавки. Обеспечивается увеличение скорости обработки, стабильности и воспроизводимости результатов процесса, снижение его себестоимости и др.

На машиностроительных предприятиях существует проблема восстановления литевых форм для литья алюминия, пластика, резины, в основном, наиболее нагруженных их зон (литниковая система, плоскости разъемов). Здесь перспективно использование методов локальной лазерной наплавки соответствующим наплавочным составом, т.к. стоимость некоторых форм достигает 10 тыс. \$ США из-за трудоемкости их изготовления и материалоемкости.

Неоспорима, при реализации такого рода технологий, окупаемость

средств.

С использованием метода лазерного легирования отработан процесс создания поверхностных слоев на деталях типа осей подшипников с твердостью до 68 ед. НРС.

Электроэрозионная обработка

Сегодня в мировой практике сложились два направления, размерно-чистой электроэрозионной обработки металлов, одно из которых использует проволочный электрод в качестве формообразующего инструмента, а другое - профильный электрод. Бурно развивавшееся в последние два десятилетия направление, основанное на использовании проволочного электрода, достигло высокого уровня автоматизации и совершенства, потеснив или, правильнее сказать, вытеснив второе направление. В то же время в машиностроении существует немало проблем (штамповое и инструментальное производство), которые могут быть решены только с помощью прошивания профильными электродами.

В Физико-техническом институте были разработаны и реализованы в штамповом и инструментальном производстве на предприятиях Беларуси патентованные технологии и оборудование, которые на порядок дешевле проволочных импортных технологий, а по точности и эффективности превосходят их (рис. 2).

Разработан комплекс технологических процессов формообразования полостей в матрицах разделительных штампов без слесарной доводки. Используются либо непосредственно пуансоны штампа, либо профильные электроды, с помощью которых изготавливаются полости в матрицах и рабочие части пуансонов. Стойкость штампов возрастает в 1,5-2,5 раза за счет равномерности зазора по профилю упрочнения поверхности. Трудоемкость изготовления снижается от 1,5 до 5 раз.

Разработаны технологические процессы формообразования профиля режущей кромки ножей для деревообработки и их последующей переточки. Стойкость инструмента возрастает в 1,5 раза. Обеспечивается идентичность профиля у комплекта ножей. Трудоемкость изготовления и переточки снижается в 1,5-3 раза.

Предложена технология изготовления рабочих полостей в фильерах для переработки картофеля и способы изготовления электродов-

инструментов. Существенно расширен ассортимент продукции за счет разнообразия форм полостей.



Рис. 2.

Магнито-импульсная обработка материалов (МИОМ)

Как и другие методы высокоэнергетического импульсного нагружения с помощью взрывчатых, горючих сжиженных и сжатых газов, электрического разряда в жидкости, МИОМ привлекает внимание исследователей и производителей возможностью получать высокие давления, не прибегая к созданию или использованию дорогостоящих сверхмощных прессов и сложной металлоемкой штамповой оснастки, в кратчайшие сроки при минимальных затратах провести необходимую обработку материала.

За четыре десятилетия использования МИОМ в производственной практике были созданы уникальные технологии штамповки, сборки и сварки изделий для аэрокосмической и атомной техники, освоены высокоэффективные ресурсо- и энергосберегающие производства в различных отраслях промышленности.

Сущность метода МИОМ заключается в воздействии на металлическую заготовку сильного импульс-

ного магнитного поля, создаваемого с помощью разряда накопленной в конденсаторной батарее электрической энергии на индуктор, расположенный в непосредственной близости от заготовки. При этом в последней индуцируются вихревые токи, взаимодействие которых с током индуктора приводит к возникновению импульсного давления до 400 МПа длительностью от десятков до сотен микросекунд, деформирующего заготовку со скоростью до 300 м/с.

Эта схема непосредственного преобразования электрической энергии в работу деформации заготовки эффективна для металлов с высокой электропроводностью. Деформирование металлических материалов с низкой электропроводностью (углеродистая или нержавеющая сталь, титан и др.) и неметаллических материалов целесообразно осуществлять с помощью "спутника" - промежуточного материала с высокой электропроводностью, помещаемого или непосредственно на обрабатываемую заготовку, или в комбинации с жидкой или эластичной средой, заменяющей один из основных элементов штампа - пуансон или матрицу.

Научно-исследовательские работы по МИОМ были начаты в Физико-техническом институте НАНБ в 1965 г. по инициативе академика В.П. Северденко, затем продолжены академиком В.Н. Чачиним и сотрудниками.

На рис. 3 представлены примеры изделий, получаемых на магнитоимпульсных прессах непосредственно воздействием магнитного поля с помощью формообразующих и разделительных операций по схемам обжима трубчатых заготовок на фигурные оправки или задачи в пальцевую матрицу, повторяющую конфигурацию наружной формы изделия, а также по схеме деформирования листовых заготовок по матрице и пуансону, имеющих форму получаемого изделия. При этом размеры пробиваемых отверстий равны или больше 10 толщин заготовки, высота отбортовки не более 10 толщин, коэффициент вытяжки - до 0,5, коэффициент обжатия - до 2, точность размеров с 7 по 12 квалитет, шероховатость поверхности - до 6 класса. Виды обрабатываемых материалов: медь, алюминий, магний и их сплавы, золото, серебро, малоуглеродистая сталь.

Методом магнитоимпульсной

сварки могут быть получены неразъемные, прочно-плотные и термостойкие, ниппельные, шарнирные и телескопические подвижные соединения в конструкциях из трубчатых деталей, трубопроводов низкого и высокого давления, опрессовки кабельных наконечников тросов, канатов, металлической арматуры на керамику, стекло, пластмассу, резину, древесину и т.д.

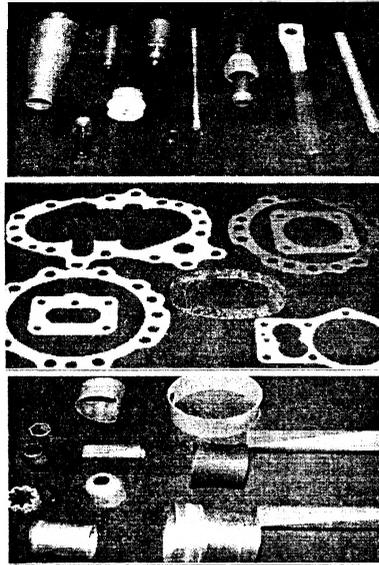


Рис. 3.

При определенных скоростных режимах деформирования и герметических соотношениях стыка соединяемых деталей возможно получать сварное соединение пар алюминий - алюминий, алюминий - медь, алюминий - сталь, цирконий - нержавеющая сталь и др.

В институте разработаны магнитоимпульсные прессы и технологии и освоены на МЗКТ и ГП МАЗ в производстве новых образцов автомобильной техники, в ремонтных работах на Минском авиаремонтном заводе при обработке сложнопровильных тонколистовых и трубчатых деталей из цветных металлов и малоуглеродистых сталей. Внедрение разработки позволяет существенно сократить сроки подготовки производства, обеспечить экономию капитальных затрат на штамповую оснастку в размере 300 тыс. руб. на 1 деталь, не менее, чем в 10 раз сократить расход инструментальной стали на изготовление оснастки.

Преимущества метода: многофункциональность, гибкость, высокое качество, минимум энергетических, материальных и эксплуатационных затрат, оперативность при подготовке нового производства; совмещение листоштамповочных и сборочных операций,

снижение затрат на штамповую оснастку от 5 до 20 раз; возможность вести листовую штамповку без контакта инструмента с заготовкой, сохраняя исходное качество металлических, пластиковых или лакокрасочных покрытий с высокой стерильностью процесса при сборке; высокая прочность, герметичность и термостойкость соединений, снижение в 1,5-2 раза контактного электросопротивления кабельных наконечников и соединительных муфт; возможность формирования сложнопровильных длинномерных изделий, в том числе высокопористых.

В перспективе переход на использование нового вида штампового оборудования может коренным образом изменить облик прессовых цехов, обеспечив ресурсо- и энергосбережение, экологическую чистоту и безопасность.

Резка струей высокого давления

Физическая сущность воздействия высокоскоростной струи на преграду основана на модели идеальной несжимаемой жидкости. Гидродинамическая теория формирования кумулятивных струй предложена М. Лаврентьевым, Б. Войцеховским и G. Virghoffom в начале 60-х годов.

Метод водно-абразивной резки, основанный на большой мощности водной струи, использует СП ООО "СПожиток" при Физико-техническом институте НАИБ для резки титана и стали, керамики и стекла, гранита и мрамора (рис. 4).

Основой водяных комплексов являются насосы высокого давления воды. Давление воды, создаваемое насосами, может достигать 4150 атмосфер, расход воды - до 40 л/мин. Добавив к водной струе высокого давления абразивный песок, можно повысить силу резки. Скорость воды, формируемой специальными сапфировыми соплами, составляет две скорости звука, а ее толщина - от 0,5 до 2 мм.

Благодаря большой мощности струи воды, резка материала осуществляется на молекулярном уровне, поэтому тип материала не имеет значения. Этот метод позволяет чисто и гладко разрезать самые прочные и твердые материалы. Это касается титана, нержавеющей стали, меди, латуни, алюминия, натурального камня, керамики, огнеупорного и пуленепробиваемого стекла, а также плексигласа, резины, бумаги, различных композиционных материалов.

Стационарные установки с применением координатных столов или роботов могут резать с точностью до 0,1 мм материалы толщиной до 80 мм. Скорость резки зависит от материала и его толщины.

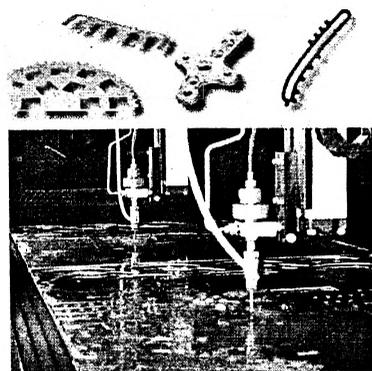
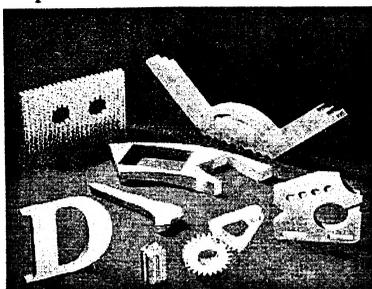


Рис. 4.

Скорость разрезания некоторых материалов:

Материал	Толщина, мм	Скорость реза, мм/мин
керамика	10	600
стекло	8	200
стекло	20	40
гранит	30	100
мрамор	30	80
титан	2	250
сталь	2	200
сталь нержавеющая	0,8	600
алюминий	2	800

Преимущества метода: резка во всех направлениях - любые контуры внутри и снаружи, острые углы и косые разрезы; минимальная ударная нагрузка на изделие, т.к. отсутствует прямое (непосредственное) соприкосновение с инструментом; сверление и резка одним и тем же инструментом; отсутствие микротрещин - возможна резка тонкостенных дорожек; нет механического, температурного и химического воздействия на обрабатываемую

поверхность; высокое качество реза, не требующее дополнительной обработки.

Краткий обзор высокоэнергетических методов обработки материалов можно проиллюстрировать таблицей, свидетельствующей о результатах, достигнутых на этом пути.

Энергосистемитель	Мин. площадь зоны контакта, см ²	Макс. плотность энергии, Вт/см ²
плазма пламени газовой горелки	10 ⁻²	5·10 ⁴
электродуговой разряд	10 ⁻³	10 ⁵
электронный луч	10 ⁻⁷	5·10 ⁸
луч лазера	10 ⁻⁸ ÷5·10 ⁻⁹	10 ³ ÷10 ¹²
водяная струя	3·10 ⁻² ÷2·10 ⁻⁴	

Физика указывает путь - по нему устремляется техника. Производство же отбирает самые эффективные технологии.

Уважаемый Станислав Александрович Астанчик!

Примите самые сердечные поздравления по случаю присвоения Вам почетного звания "Заслуженный деятель науки Республики Беларусь".

Желаем Вам крепкого здоровья и новых творческих успехов.

ВОЗЬМИТЕ НА ЗАМЕТКУ

Твердость минералов

По условной шкале Мооса твердость минералов оценивается десятибалльной системой. Эталоном твердости служат:

- Алмаз 10
- Корунд 9
- Топаз 8
- Кварц 7
- Полевой шпат 6
- Апатит 5
- Плавиковый шпат 4
- Известковый шпат 3
- Гипс 2
- Тальк 1

Твердость по шкале Мооса определяется нанесением царапин эталонами твердости.

Буква "F" означает: в химии - фтор; в оптике - фокусное расстояние; в механике - сила; в математике - функция; в металлургии - запас прочности; в теплотехнике - фригория (единица холода); в электростатике - фарада (единица емкости).

Предел усталости некоторых металлов (кг/мм²)

Материалы	Статистическое временное сопротивление разрыву	Статистический предел текучести	Предел усталости при изгибе
Сталь строительная	35-45	20-22	17-18
Тоже высокого качества	55-70	30	23
Сталь хромоникелевая	115-130	95-105	48-52
Сталь кремнехромистая	90-110	75-85	40-55
Сталь марганцовокремнистая	70-90	60	30-40
Чугун литейный	28	-	6,5

Температура и процессы

Температура плавления (°C): вольфрама - 3370, осмия - 2500, платины - 1771, железа - 1539, золота - 1063.

Температура электросварки - 3000-3800°, термитной сварки - 3000°, нагрева стали под ковку - 950-1200°, коксование - 850-1150°, крекинг-процесса - 350-500°, паяние мягкими припоями - 190-440°.

Температура, при которой происходит измерение деталей калибрами - 18°. Температура "закалки холодом" - 70-100° ниже нуля, а жидкого воздуха - 194° ниже нуля.