

**ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНІ МЕТОДИ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ
(лазер, електроерозія, магнітне поле, водяний струмінь високого тиску)**

Висвітлено проблемні питання сучасних високих технологій, об'єднаних за принципом великої питомої потужності енерговложення та короткого за часом імпульсного впливу. Не зачіпається фізика процесів через обмеженість короткої доповіді, загальновідомість та значну складність. Розглянуто технології, що досить широко освоєні машинобудівними підприємствами Білорусі й до розробки яких колектив Фізико-технічного інституту НАН Білорусі має пряме відношення (патенти, ноу хау, державні премії), показано перспективу подальшого освоєння. Цими напрямками є: лазерні технології; електроерозійні технології; магніто-імпульсне штампування; обробка струменем рідини високого тиску.

Лазерні технології в машинобудуванні й обробці матеріалів

Принципова основа всіх лазерних технологій базується на використанні унікальної властивості когерентного джерела світла – лазера – і систем керування лазерним променем для впливу на тверді, рідкі та газоподібні середовища, з метою кардинальної зміни їхніх властивостей. Лазерне імпульсне чи безупинне випромінювання дозволяє сфокусувати в невеликих об'ємах енергію з питомою щільністю потужності 10^3 – 10^{12} Вт/см², що перевищує показники інших відомих джерел енергії (електронний промінь, електричний розряд тощо). Світловим променем легко керувати за допомогою комп'ютерних, електронних і механічних систем, що дозволяє створити технології різання, зварювання, свердлування отворів у різних матеріалах, термозміцнення та модифікації поверхні твердих тіл плоскої і складної просторової геометрії. Це широко використовуються у машинобудуванні, мікроелектроніці для термозміцнення, нанесення покриттів, різання та зварювання, маркування, особливо при обробці високоміцних, надтвердих і тугоплавких матеріалів, кераміки, скла, дерева, тканин, шкіряних і полімерних матеріалів. Лазери використовуються в хімічних виробництвах при синтезі полімерних матеріалів, для одержання деталей складної форми з термореактивних полімерів (стереолітографія).

В Білорусі роботи в області створення лазерів і лазерних систем ведуться в інститутах Національної академії наук, зокрема в ФТІ, на багатьох підприємствах (концерн "Планар", ВО "Інтеграл", БелОМО, МАЗ, МТЗ, БелАЗ). Флагманами в області електронного машинобудування та мікроелектроніки є концерн "Планар", ВО "Інтеграл" і БелОМО, на яких широко освоєні й розвиваються принципово нові і високі технології прямого виготовлення мікросхем, методи тримірної стереолітографії, пряме лазерне ініціювання полімеризації. Природно, вони ж створюють й унікальне прецизійне устаткування, що є конкурентноздатним на світовому ринку.

Прецизійна розмірна обробка матеріалів є однією з областей, в якій нові технології впроваджуються найбільш активно й ефективно. Лазерні методи обробки успішно конкурують з традиційними в напівпровідниковій електроніці, металообробці, медицині та інших галузях промисловості.

Найбільш ефективно це при обробці твердих і надтвердих матеріалів (НТМ), що погано піддаються, чи майже не піддаються, іншим видам обробки (механічній, хімічній). До таких матеріалів відносяться: багатокристалічні та полікристалічні види природних і штучних алмазів, різні види корунду (рубін, сапфір, полікор та інші види алюмоокисної кераміки), матеріали на основі кубічного нітриду бору тощо. В Білорусі, як і в усьому світі, постійно проводяться роботи з розробки нових і нових видів надтвердих матеріалів і композитів. Про область застосування перерахованих матеріалів можна говорити досить довго. Це – ювелірні вироби, різці для механообробки, філь'єри для виготовлення кабелю, хімволокна, сопла для струменевої обробки, радіаційно стійкі підкладки приладів електроніки, СВЧ-техніки, мікрозварювальний інструмент складального устаткування мікроелектроніки і багато іншого.

Як конкретні приклади широкого промислового освоєння можна згадати свердління профільних каналів волочильного інструменту зі НТМ (філь'єр), операції обточування

ювелірних алмазів (концерн "Іланар"), чорнового заточення різців, вирізки контуру будь-якої форми з плоских заготовок тощо

Процеси лазерної обробки реалізуються за допомогою технологічних лазерних установок. Незалежно від призначення і типу застосування лазерів, приклади мають загальну структурну схему і містять такі вузли: джерело могутнього оптичного випромінювання – лазер; оптичну систему для формування лазерного випромінювання – енергетичний або силовий канал; пристрій для закріплення та переміщення оброблюваного об'єкта – координатний стіл з приводом; систему керування роботою лазера та координатного столу. В установках передбачається також сполучений з фокусуючою системою тракт для подачі газу в зону обробки для захисту фокусуючої оптики і видалення продуктів випаровування.

Лазер забезпечує енергетичні і тимчасові параметри впливу, оптична схема формує просторові характеристики пучка як інструмента обробки. Точність, продуктивність і зручність обробки в значній мірі визначаються характеристиками системи керування переміщеннями деталі лазерного променя. Джерело випромінювання – лазер – повинне забезпечити генерацію випромінювання достатньої потужності на прийнятній для операцій обробки довжині хвилі для одержання необхідної продуктивності процесу за умови мінімального впливу на властивості навколишніх ділянок обробки.

Плазмові та лазерні технології широко використовуються в усьому світі в промисловості для різання, зварювання, наплавлення, напилювання зміцнення тощо. Остання виставка "Металообробка-2001" показала, що серед підприємств країн СНД спостерігається підвищення випуску устаткування для цих цілей і, зокрема, комплектів машин термічного різання (Одеса, Санкт-Петербург, Шатура тощо). В Білорусі лазерні технологічні комплекси на базі могутніх CO₂-лазерів розробляються у ФТІ НАНБ. З нашою допомогою створені ділянки на Мінському електротехнічному заводі ім. В.І. Козлова (різання деталей трансформаторів), МоАЗ (різання), БЕЛАЗ (різання). Непогані розробки сьогодні ми маємо на таких підприємствах, як ВО "Атлант" (пресово-штампувальне оснащення), ВО "Білоруськалій" (різці шахтних машин), ВАТ "Керамін" (лазерне зварювання рольгангів печей), локомотивні депо Ліді та Барановичів (лазерне відновлення деталей локомотивів і рухомого складу).

Роботами закордонних авторів (Німеччина, Франція, США, Японія) і фахівців Інституту електрозварювання ім. С.О. Патона НАН України показано, що поєднання лазера і плазми відкриває багато можливостей, наприклад, для процесів зварювання та наплавлення. Забезпечується збільшення швидкості обробки, стабільності й відтворюваності результатів процесу, зниження його собівартості тощо.

Крім того, на всіх машинобудівних підприємствах існує проблема відновлення ливарних форм для лиття алюмінію, пластмас, гуми, оснащення ливарних машин. Це, наприклад, форми для лиття корпусу картера мотоцикла, лиття мото-велоручок, корпусу газового лічильника. Тут перспективним є використання методів локального лазерного наплавлення з підбором відповідних наплавлюваних матеріалів. При цьому вартість деяких форм є значною (до 10 тис. \$ США) як через трудомісткість їхнього виготовлення, так і через матеріалоемність.

Окупність засобів при реалізації такого роду технологій може бути економічно ефективною при відновленні вже кількох ливарних форм, а, наприклад, продовження терміну служби штампа балки переднього моста автомобіля МАЗ хоча б на 20 % при масі в кілька тонн дає протягом першого року освоєння значну економію.

На Мінському електротехнічному заводі, МАЗ і МоАЗ створені та впроваджені технологічні комплекси лазерного різання матеріалів, що використовуються в заготівельному виробництві замість пресово-штампувального устаткування.

Розроблені технології лазерного зміцнення та відповлення деталей устаткування (ВО "Атлант") та технологія відповлення деталей локомотива і трансмісії рухомого складу (хрестовина, вушко, карданна вилка) з використанням лазерної й газотермічної техніки. Термін служби деталей для холодного штампування типу матриця-штамп збільшився в 2–2,5 рази. З використанням методу лазерного легування відпрацьовано процес створення поверхневих шарів на деталях типу осей підшипників із твердістю до 68 HRC_e.

Електроерозійна обробка

До високоефективних способів розмірно-чистої обробки відноситься і електроерозійна обробка. Сьогодні в широкій практиці утворилося два напрямки, за одним з яких як

формотворний інструмент використовується дровий електрод, а за другим – профільний електрод. В останні два десятиліття бурхливо розвивався напрямок, що оснований на використанні дровяного електрода, що дало змогу досягти високого рівня автоматизації та досконалості, потіснивши другий напрямок. У той же час, у машинобудуванні існує чимало проблем (штампове та інструментальне виробництво), які можуть бути вирішені тільки за допомогою використання прошивання профільними електродами.

В Фізико-технічному інституті були розроблені та реалізовані в штамповому й інструментальному виробництвах, а на підприємствах Білорусі – запатентовані технології й устаткування, що на порядок дешевші дровяних імпортних технологій, а за точністю й ефективністю перевершують їх.

Розроблено комплекс технологічних процесів формоутворення порожнин у матрицях штамів без слюсарного доведення. Використовуються або безпосередньо пуанسونи штампів, або профільні електроди, за допомогою яких виготовляються порожнини в матрицях і робочі частини пуансонів. Стійкість штамів зростає в 1,5–2,5 рази за рахунок рівномірності зазору за профілем зміцнення поверхні. Трудомісткість виготовлення зменшується в 1,5–5 разів.

Розроблено технологічні процеси формоутворення профілю різальної крайки ножів для деревообробки та їхнього наступного переточування (стійкість інструмента зростає в 1,5 рази). Забезпечується ідентичність профілю в комплекті ножів. Трудомісткість виготовлення і переточування зменшується в 1,5–3 рази.

Запропоновано технологію виготовлення робочих порожнин у філь'єрах для переробки картоплі і способи виготовлення електродів-інструментів. Істотно розширено асортимент продукції за рахунок різноманітності форм порожнин.

Магніто-імпульсна обробка матеріалів

Магніто-імпульсна обробка матеріалів (МІОМ) посідає значне місце в сучасному арсеналі технологічних прийомів впливу на речовину з метою надання їй необхідної просторової форми і необхідних корисних властивостей. Як і інші методи високоенергетичного імпульсного навантаження за допомогою вибухових, горючих зріджених і стиснутих газів, електричного розряду в рідині, МІОМ привертає увагу дослідників і виробників можливістю одержання високих тисків без створення або використання дорогих надпотужних процесів і складного металоемкого, штампового оснащення, що дає змогу провести необхідну обробку матеріалу у найкоротші терміни при мінімальних витратах.

За чотири десятиліття використання МІОМ у виробничій практиці були створені унікальні технології штампування, складання та зварювання виробів для аерокосмічної й атомної техніки, освоєні високоефективні ресурсо- і енергозберігаючі виробництва в різних галузях промисловості.

Сутністю методу МІОМ є вплив на металеву заготовку сильного імпульсного магнітного поля, що створюється за допомогою розряду накопиченої в конденсаторній батареї електричної енергії на індуктор, розташований у безпосередній близькості від заготовки. При цьому в останній індуються вихрові струми, взаємодія яких зі струмом індуктора призводить до виникнення імпульсного тиску до 400 МПа тривалістю від десятків до сотень мікросекунд, що деформує заготовку зі швидкістю до 300 м/с.

Ця схема безпосереднього перетворення електричної енергії в роботу деформації заготовки ефективна для металів з високою електропровідністю. Деформування металевих матеріалів з низькою електропровідністю (вуглецева або нержавіюча сталь, титан тощо) і неметалевих матеріалів доцільно здійснювати за допомогою "супутника" – проміжного матеріалу з високою електропровідністю, що розташований або безпосередньо на оброблюваній заготовці, або в комбінації з рідким (еластичним) середовищем, що замінює один з основних елементів штампів – пуансон або матрицю.

Використовується МІОМ в штамповально-складальному виробництві при виготовленні виробів з тонкостінних трубчастих і листових заготовок шляхом виконання на них розділових, формувальних, а також сполучних операцій у будь-якій послідовності.

Науково-дослідні роботи з МІОМ були розпочаті у Фізико-технічному інституті НАНБ у 1965 р. за ініціативою академіка В.П. Северденка, а потім продовжені академіком В.П. Чачиним та його співробітниками.

Приклади застосування МІОМ ми можемо бачити на виробках, що одержувалися на магнітоімпульсних пресах роздачею в пальцеву матрицю тощо. При цьому розміри отворів, що пробиваються, рівні або більші за 10 товщин заготовки, висота відбортовки не більша за 10 товщин, коефіцієнт витяжки – до 0,5, коефіцієнт обтиснення – до 2, точність розмірів з 7 до 12 класів шорсткості поверхні – до 6 класу. Види оброблюваних матеріалів: мідь, алюміній, магній та їх сплави, золото, срібло, маловуглецева сталь.

Методом магніто-імпульсного зварювання можуть бути отримані нероз'ємні, міцно-щільні і термостійкі, нішельні, шарнірні й телескопічні з'єднання в конструкціях із трубчастих деталей, трубопроводів низького і високого тиску.

При визначених швидкісних режимах деформування та герметичних співвідношення стику деталей можна одержувати зварне з'єднання пар алюміній–алюміній, алюміній–мідь, алюміній–сталь, цирконій–нержавіюча сталь тощо.

В інституті розроблено магніто-імпульсні преси та технології, які освоєно на МАЗі у виробництві нових зразків автомобільної техніки, на Мінському авіаремонтному заводі при обробці профільних деталей, обробці деталей з кольорових металів і маловуглецевих сталей. Вирвадження розробки дозволяє істотно скоротити терміни підготовки виробництва, забезпечити економію капітальних витрат на штампове оснащення в межах 300 тис. руб. на 1 деталь, не менш ніж у 10 разів зменшити витрати інструментальної сталі на виготовлення оснащення.

Застосування:

- штампувально-складальне виробництво в машино-, авіа- та приладобудуванні;
- пресування-спікання деталей у порошковій металургії;
- потокові лінії фасування, закривання і герметизації в хімічній, харчовій та медичній промисловості.

Переваги методу:

- багатофункціональність, гнучкість, висока якість, мінімум енергетичних, матеріальних і експлуатаційних витрат, оперативність при підготовці нового виробництва;
- сполучення листоштампувальних і складальних операцій, зменшення витрат на штампове оснащення в 5–20 разів;
- можливість вести листове штампування без контакту інструмента з заготовкою, зберігаючи вихідну якість металевих, пластмасових і лакофарбових покриттів з високою стерильністю процесу при складанні;
- висока міцність, герметичність і термостійкість з'єднань, зменшення в 1,5–2 рази контактного електроопору кабельних наконечників і з'єднувальних муфт;
- можливість формотворення складнопрофільних довгомірних виробів, в тому числі і високопористих.

У перспективі перехід на використання нового виду штампувального устаткування може докорінно змінити вигляд пресових цехів, забезпечивши ресурсо- та енергозбереження, екологічну чистоту і безпеку.

Різання струменем високого тиску

Метод водно-абразивного різання заснований на використанні водяного струменя великої потужності. Фізична суть впливу високошвидкісного струменя на перешкоду базується на моделі ідеальної нестискуваної рідини. Гідродинамічна теорія формування кумулятивних струменів запропонована М.Лаврентьевим, Б.Войцеховським і G.Birghoff на початку 60-х років.

Метод водно-абразивного різання, заснований на великій потужності водяного струменя, використовує СП ТОВ "Спожиток" при Фізико-технічному інституті НАНБ для різання титану і сталі, кераміки і скла, граніту і мармуру.

Основою водяних комплексів є помпи високого тиску води. Тиск води, що створюється помпами, може сягати 4150 атмосфер, витрати води – 40 л/хв. Додавши до водяного струменя високого тиску абразивний пісок, можна підвищити силу різання. Швидкість води, сформованої спеціальними сапфіровими соплами, сягає двох швидкостей звуку, а її товщина – від 0,5 до 2 мм.

Завдяки великій потужності струменя води, різання матеріалу здійснюється на молекулярному рівні, тому тип матеріалу не має значення. Цей метод дозволяє чисто та якісно

розрізувати самі міцні і тверді матеріали. Це стосується титану, нержавіючої сталі, міді, латуні, алюмінію, натурального каменю, кераміки, вогнетривкого і куленепробивного скла, а також різних композиційних матеріалів. Стационарні установки із застосуванням координатних столів або роботів можуть різати з точністю до 0,1 мм матеріали товщиною до 80 мм. Швидкість різання залежить від матеріалу та його товщини.

Таблиця 1

Швидкість розрізування деяких матеріалів

Матеріал	Товщина, мм	Швидкість різання, мм/хв.
Кераміка	10	600
Скло	8	200
Граніт	30	140
Мрамур	30	80
Титан	2	250
Сталь	2	200
Сталь нержавіюча	0,8	600
Алюміній	2	800

Переваги методу:

- різання у всіх напрямках – будь-які контури всередині і зовні, гострі кути і косі розрізи;
- мінімальне ударне навантаження на виріб, тому що відсутнє пряме (безпосереднє) зіткнення з інструментом;
- свердлування та різання одним і тим же інструментом;
- відсутність мікротріщин – можливе різання тонкостінних доріжок;
- відсутність механічного, температурного та хімічного впливів на оброблювану поверхню;
- висока якість різки, що потребує додаткової обробки.

АСТАПЧИК Станіслав Олександрович – академік НАН Білорусі, директор Фізико-технічного інституту НАН Білорусі.

Наукові інтереси:

- металофізика;
- металообробка;
- лазерні та інші високоенергетичні впливи на речовину.

Подано 15.06.2001