

10. Tkachenko, A.V., Myndrul, B.I. (2018) *Suchasni hadzhetny ta sluzhba Google Classroom yak zasib formuvannia motyvatsii vyvchennia fizyky*. [Modern gadgets and Google Classroom service as a means of motivating the study of physics]. Kropyvnytskyi.

11. Tryfonova, O.M., Kurnat, H.L. (2021) *Google Classroom yak zasib intensyfikatsii osvitnoho protsesu v umovakh dystantsiinoi osvity* [Google Classroom as a means of intensifying the educational process in the context of distance education]. Kropyvnytskyi.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

СТАДНІЧЕНКО Світлана Миколаївна – кандидат педагогічних наук, доцент, старший викладач кафедри медико-біологічної фізики та інформатики Дніпровського державного медичного університету.

Наукові інтереси: теорія та методика навчання (фізика і медична біофізика).

МАРЧЕНКО-ІВАНЮК Олена В'ячеславівна – викладач фізики та інформаційних технологій

Комунального закладу вищої освіти “Дніпровської академії неперервної освіти” Дніпропетровської обласної ради”.

Наукові інтереси: методика навчання фізики й інформаційних технологій.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

STADNICHENKO Svitlana Mykolaivna – candidate of pedagogical sciences, associate professor, senior lecturer of department of medical biophysics and informatics of the Dniprovsky State Medical University.

Circle of research interests: theory and methodology of teaching (physics and medical biophysics).

MARCHENKO-IVANYUK Olena Vyacheslavivna – teacher of physics and information technology at the Dnipro Professional Pedagogical College of the Dnipro Academy of Continuing Education.

Circle of research interests: methodology of teaching physics and information technology.

Стаття надійшла до редакції 20.11.2021р

УДК 37.012.3 : 620.22(075) : 621.375.8

DOI: 10.36550/2415-7988-2021-1-201-132-134

ТКАЧУК Андрій Іванович –

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теорії та методики технологічної підготовки, охорони праці та безпеки життєдіяльності Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка

ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-7316-0107>

e-mail: atkachuk08@meta.ua

НОВІ ПІДХОДИ ДО ВИВЧЕННЯ ПИТАННЯ «ПРОМЕНЕВІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ» ПРИ ВИКЛАДАННІ ДИСЦИПЛІНИ «ОСНОВНІ ПРОЦЕСИ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ (МЕТАЛІВ)»

Постановка та обґрунтування актуальності проблеми. Одним з компонентів освітньо-професійної програми «Середня освіта (Трудове навчання та технології)» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, за якою організовує освітню діяльність кафедра теорії та методики технологічної підготовки, охорони праці та безпеки життєдіяльності Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка, є навчальна дисципліна «Виробництво та обробка конструкційних матеріалів: Основні процеси обробки матеріалів (металевих матеріалів)». В процесі вивчення даної дисципліни, студенти на другому курсі опрацьовують навчальний матеріал по таким основним темам, як: «Ливарне виробництво», «Технологія обробки тиском», «Прокат і його виробництво», «Кування», «Гаряче об'ємне штампування», «Холодне штампування», «Зварювальне виробництво», «Механічна обробка металів», «Електрофізичні і електрохімічні методи обробки».

В той же час, розвиток сучасних передових технологій обробки конструкційних матеріалів з мінімальним карбоновим слідом, високою продуктивністю, точністю, економією енергії і матеріалів та екологічною безпекою підприємства, зумовлює вдосконалення освітнього процесу студентів бакалаврату в контексті більш детального вивчення саме променевих (електронно-променевих,

іонно-променевих, лазерних) технологій обробки металевих матеріалів, як одних із самих передових методів в автомобіле-, літако- та ракетобудуванні [1; 2; 4; 5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В науковій літературі приділено багато уваги проблемам вивчення різних технологій виробництва та обробки конструкційних [3; 4; 5; 6; 7]. Проте, саме аспект вивчення студентами бакалаврату педагогічних ЗВО особливостей сучасних методів променевої обробки металевих матеріалів залишається недостатньо висвітленим.

Метою статті є обговорення та висвітлення нових підходів при вивченні особливостей променевих технологій обробки металевих матеріалів, як однієї зі складових тем навчальної дисципліни «Виробництво та обробка конструкційних матеріалів: Основні процеси обробки металів».

Методи дослідження: вивчення, порівняльний аналіз, узагальнення, систематизація науково-методичної та науково-практичної літератури з теми дослідження; системний і проблемно-пошуковий методи для обґрунтування шляхів удосконалення процесу вивчення особливостей променевих технологій обробки металевих матеріалів.

Виклад основного матеріалу дослідження. При опрацюванні даного матеріалу, студентам слід наголосити, що **променеві методи обробки** металів та їх сплавів поділяються на дві основні групи –

корпускулярно-променевої, коли обробка здійснюється сфокусованими потоками (пучками) високоенергетичних частинок (електронів, протонів, іонів), та **фотонно-(світло-)променевої**, коли обробка здійснюється сфокусованими потоками квантів (фотонів) електромагнітного випромінювання інфрачервоного, видимого, ультрафіолетового або рентгенівського діапазонів. Питома щільність енергії цих променів може сягати 10^{10} Вт/см², а температура нагрівання поверхні матеріалів від них – до 10^4 °С, що супроводжується процесами плавлення і випаровування металів та їх сплавів в зоні обробки. В більшості випадків при променевої розмірній обробці використовують короткі імпульси, тобто промені, що фокусуються на дуже малих робочих площах (до 10^{-7} см²), та діють протягом дуже короткого часу (10^{-4} - 10^{-13} с) при частоті 50-6000 Гц, – при цьому вони не діють під час викиду випаровуваного матеріалу з лунки [1; 2; 4; 5; 6; 7].

В умовах дистанційного навчання, під час відео-конференцій з використанням сервісів Zoom та Google Meet, при поясненні на лекційному занятті студентам бакалаврату спеціальності 014 Середня освіта (Трудове навчання та технології) основних методів променевої технології розмірної обробки металів та їх сплавів, найбільш ефективними показали себе розроблені мультимедійні презентації, в яких розглянуто основні види сучасної корпускулярно-променевої (електронно-променевої, іонно-променевої) та світло-променевої (лазерної) обробки.

В розробленому комплексі електронного курсу дисципліни з лекцій-презентацій по даній темі окремо розглядається такий різновид, як **іонно-променевої технологія** – що є об'єднанням способів обробки металевих матеріалів високоенергетичними потоками іонів (**іонним легуванням** (імплантацією та вкорінням), **іонною літографією**, **іонно-променевої осадження покриттів**) в результаті впливу яких змінюється форма, механічні, фізико-хімічні, магнітні та електричні властивості поверхневих шарів й навіть значних частин об'єму оброблюваних металевих виробів [7].

Так, заснована на контрольованому вкорінненні в оброблюваний матеріал прискорених іонізованих атомів (наприклад, купруму в леговану сталь), **технологія іонного легування** дозволяє підвищити надійність, довговічність та безпеку експлуатації важконавантажених вузлів тертя [7].

Принцип іонно-променевої обробки полягає в тому, що робоча речовина подається в автономне джерело іонів, в якому відбувається його іонізація, прискорення іонів до необхідної енергії (від 10 кеВ до 10 МеВ) і формування пучка іонів, які в спеціальних високовакуумних камерах сфокусованим конусом спрямовуються на поверхню оброблюваного матеріалу (вершина конусу на поверхні має діаметр кілька мкм) [2; 4; 7].

Більш розповсюдженими технологіями корпускулярно-променевої обробки є **електронно-променевої обробки** (зварювання, плавлення (вихід особливо чистих металів і сплавів), свердління,

термообробка обмежених зон, мікрофрезерування, гравіювання, відпал, переплав поверхневих шарів, напилення, пайка) що пов'язані з використанням явища перетворення кінетичної енергії сфокусованих пучків прискорених електронів в теплову енергію поверхні оброблюваних металевих матеріалів, при цьому внаслідок ударного гальмування електронів, які рухаються у вакуумі зі швидкістю до 100 тис. км/с, відбувається миттєвий нагрів, розплавлення та випаровування з вузьколокальної (діаметром до 1 мкм) ділянки заготовки (наприклад, при розмірній обробці якщо температура у зоні обробки сягає 6000 °С, то вже на відстані ~1 мкм від кромки променя вона не перевищує 300 °С). При такій обробці молібдену, вольфраму і ніобію ККД перетворення кінетичної енергії на теплову складає 0,75-0,79 [2; 4; 6].

Джерелом електронних пучків є спеціальні електронно-променевої гармати, що є складовою частиною електронно-технологічних вакуумних установок (електронно-променевої печей при плавленні). В них, при нагріванні катоду з вольфраму або танталу, електрони випромінюються та прискорюються у високовольтному (до 150 кВ) електричному полі між анодом і катодом, а спеціальна електронно-оптична система створює з них гостросфокусований пучок на поверхні деталі. Оскільки електрони не мають хімічних властивостей твердого тіла а сам процес обробки іде в герметичних камерах, в яких завдяки безперервній роботі вакуумних насосів забезпечується високий ступінь розрідження (до 10^{-7} Па), то хімічне забруднення матеріалу заготовки не відбувається [2; 4; 6].

При вивченні даного питання, студентам також слід наголосити, що основними фотонно-променевої технологіями обробки металів та їх сплавів є **лазерні технології** як для **поверхневої** (лазерне наплавлення (напилення), легування, відпал (відпустка), зміцнення без та з фазовим переходом, амортизація поверхні, гравіювання, маркування, шокове зміцнення та ін.), так і для **«об'ємної»** (різка, вирізання заготовок (розкрий), пробивка отворів, зварювання, пайка та ін.) обробки матеріалів.

Використання лазерів дає можливість здійснювати процеси, що недоступні більшості інших технологій при повній автоматизації та високій продуктивності в усіх можливих супутніх середовищах (повітрі, газових сумішах, рідинах (воді) й навіть в космосі). Лазерна обробка різноманітних матеріалів, на відміну від корпускулярно-променевої, проводиться без ізоляції зразків у вакуумі, та не призводить до залишкового іонізуючого випромінювання від обробленої деталі [1; 4; 5].

Основною робочою частиною лазерних установок є надзвичайно вузький (діаметром ~0,003-0,3 мм), інтенсивний пучок когерентного, монохроматичного, поляризованого електромагнітного випромінювання (ультрафіолетового, видимого чи інфрачервоного) високої енергії, що виробляється спеціальним квантовим генератором, з активним (робочим) середовищем в газовому, рідинному чи

твердотільному агрегатному стані та електронною, хімічною, оптичною чи тепловою накачкою [1; 2; 4; 5].

При дії лазерного променя на поверхню металу (металевого сплаву) відбувається перетворення енергії його електромагнітної хвилі в теплову енергію електронів кристалічної ґратки в тонкому шарі товщиною 10^{-6} см за час 10^{-11} с, що призводить до локального нагрівання, плавлення чи випаровування матеріалу. Більшість металів та сплавів випаровується вже при інтенсивності потужності випромінювання $\sim 1-3$ МВт/см² [1; 5].

В термічних видах лазерних технологічних процесів (різці, пробивці отворів, закалюванні, наплавленні, зварюванні та ін.) застосовується випромінювання інтенсивністю 10^4-10^7 Вт/см² та більше, що дозволяє миттєво нагрівати (пропалувати) і охолоджувати матеріал на локальній ділянці обробки, не піддаючи тепловій деформації всю заготовку [2].

Створення технологічних лазерів потужністю в десятки й навіть сотні кіловат неперервного випромінювання та пікової потужності імпульсного випромінювання (тривалістю $10^{-13}-10^{-6}$ с) в сотні мегават дозволяє досягти при фокусуванні цього випромінювання інтенсивності 10^8-10^{10} Вт/см² в безперервному режимі та $10^{12}-10^{17}$ Вт/см² – в імпульсному. Так, наприклад, самі потужні сучасні лазерні установки здатні різати радіоактивні сталеві листи товщиною до 1 м на відстані від об'єкту (корпусу ядерного реактора) до 15 м. В той же час, енергетична ефективність індустріальних лазерів вже становить 20-50 %, при компактності блока генерації до 10 дм³/кВт; розвиваються гнучкі оптоволоконні системи доставки лазерного випромінювання, що вписуються в будь-які автоматизовані системи [4; 5].

Висновки з дослідження і перспективи подальших розробок. Таким чином, вивчення особливостей променевих технологій обробки металевих матеріалів, як однієї з складових тем навчальної дисципліни «Виробництво та обробка конструкційних матеріалів: Основні процеси обробки матеріалів (металів)», є невід'ємною частиною процесу модернізації сучасної системи вищої освіти для підготовки фахівців-бакалаврів зі спеціальності 014 Середня освіта (Трудове навчання та технології). Повноцінні знання сучасних технологій корпускулярно-променевої і фотонно-променевої обробки металів та їх сплавів дозволить їм в подальшому використовувати можливості цих методів для навчання проектуванню складних металевих виробів в машинобудуванні. **Перспективи подальших розробок** пов'язані з аналізом наукових досліджень у напрямку застосування корпускулярно-променевих і фотонно-променевих технологій в адитивному виробництві (3D-друку) складних металевих деталей, та розробкою елементів методики їх вивчення в педагогічних закладах вищої освіти.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Афанасьева О.В., Лалазарова Н.О. Лазерна поверхнева обробка матеріалів: монографія. Харків : ФОП Панов А.М., 2020. 100 с.
2. Боровский Г.В., Григорьев С.Н. Современные технологии обработки материалов: монография. М.: Машиностроение, 2015. 304 с.
3. Власенко А.М. Материалознaвство та технологія металів : підручник. Київ : Літера ЛТД, 2019. 224 с.
4. Інтегровані технології обробки матеріалів: підручник / Е.С. Геворкян та ін. Харків: УкрДУЗТ, 2016. 238 с.
5. Пупань Л.І. Лазерні технології у машинобудуванні : навч. посібник. Харків: НТУ «ХПІ», 2020. 109 с.
6. Технология обработки материалов. Оборудование электронно-лучевых комплексов : учеб. пособие для академического бакалаврата / Щербаков А.В. и др. М. : Издательство Юрайт, 2019. 183 с.
7. Физические и технологические основы ионно-лучевой обработки материалов: пособие для студентов машиностроительных специальностей / А.В. Белый и др. Новополюк : ПГУ, 2010. 84 с.

REFERENCES

1. Afanasieva, O.V., Lalazarova, N.O. (2020) *Lazerna poverhneva obrobka materialiv: monografiya* [Laser surface treatment of materials: monogr]. Kharkiv.
2. Borovskij, G.V. Grigor'ev, S.N. (2015) *Sovremennye tehnologii obrabotki materialov* [Modern materials processing technologies: monograph]. Moskva.
3. Vlasenko, A.M. (2019) *Materialoznavstvo ta tehnologiya metaliv: pidruchnyk* [Materials science and technology of metals: textbook]. Kyiv.
4. Gevorkyan, E.S. (2016) *Integrovani tehnologii obrobky materialiv: pidruchnyk* [Integrated materials processing technologies: textbook]. Kharkiv.
5. Pupan, L.I. (2020) *Lazerni tehnologii u mashynobuduvanni: navchal. posibnyk* [Laser technologies in mechanical engineering: tutorial]. Kharkiv.
6. Sherbakov, A.V. (2019) *Tehnologiya obrabotki materialov. Oborudyvanie elektronno-luchevykh kompleksov* [Material processing technology. Equipment for electron-beam complexes: tutorial]. Moskva.
7. Belyj, A.V. (2010) *Fizicheskie i tehnologicheskie osnovy ionno-luchevoj obrabotki materialov: uchebnoe posobie* [Physical and technological foundations of ion-beam processing of materials: tutorial]. Novopolozk.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

ТКАЧУК Андрій Іванович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теорії та методики технологічної підготовки, охорони праці та безпеки життєдіяльності Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка.

Наукові інтереси: теорія та методика навчання (виробництво та обробка конструкційних матеріалів).

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

TKACHUK Andriy Ivanovych – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Theory and Methods of Technological Preparation, Labor Protection and Safety Life, Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State Pedagogical University.

Circle of scientific interests: the theory and methodology of teaching (production and processing of structural materials).

Стаття надійшла до редакції 02.11.2021р