

Всеукраїнський конкурс студентських наукових робіт

Електроніка

СТУДЕНТСЬКА НАУКОВА РОБОТА

На тему:
«Лазерне очищення»

Шифр: «Чисто лазер»

2020 р.

АНОТАЦІЯ

студентської наукової роботи, шифр: «Чисто лазер»

Студентська наукова робота: 18 сторінок, 8 рисунків, 5 таблиць, 8 джерел.

Дана робота присвячена експериментальній розробці режимів лазерного очищення сталевих виробів від іржі і інших технологічних забруднень, що забезпечують максимальну ефективність і якість обробки.

Досліджено особливості та характер взаємодії лазерного випромінювання з металом та іржею, визначені вимоги до режимів очищення, проведено вибір устаткування для дослідження, обрані варійовані параметри лазерного випромінювання, такі як потужність, швидкість сканування та крок проходження імпульсів.

Проведено експериментальні дослідження впливу параметрів лазерного випромінювання на поверхню металу та іржу. Побудований графік залежності шорсткості поверхні від потужності випромінювання.

На базі даних результатів, отриманих в ході досліджень, вибрані рекомендовані режими для лазерного очищення металів.

ЛАЗЕРНЕ ОЧИЩЕННЯ, ІРЖА, АБЛЯЦІЯ, ВИПАРОВУВАННЯ, ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ, ШОРСТКІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	5
2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	7
3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ.....	10
ВИСНОВКИ.....	17
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	18

ВСТУП

Очищення поверхні є однією з базових технологій в багатьох галузях промисловості. Для деяких видів виробництв – зварювального, лакофарбового, гальванічного – очищення поверхні є одним із найважливіших питань.

Очищення поверхні є актуальним питанням, так як висока якість очищення поверхні гарантує високий ресурс і надійність роботи різних виробів.

Очищення в загальному вигляді являє собою операцію видалення поверхневих шарів, утворених будь-якими забрудненнями або покриттями, іноді навіть включаючи основний шар матеріалу.

Необхідно відзначити, що очищення поверхні полягає не тільки у видаленні органічних і неорганічних забруднень з поверхні і нанесених раніше покриттів, які втратили свої службові властивості в процесі експлуатації, а й, в більш широкому сенсі, в рішенні питань технологічної та експлуатаційної спадковості поверхневого шару, яка може супроводжуватися супутніми ефектами, а саме:

- поліпшенням трибологічних властивостей поверхні;
- активацією поверхні;
- перерозподілом залишкових поверхневих напружень;
- в результаті всього перерахованого вище, зміною механічних, корозійних, фізико–хімічних і ін. властивостей поверхні.

Основні властивості лазерного випромінювання стосовно до очищення і обробки поверхні, як універсального інструменту, проявляються в самих різних технологічних можливостях обробки матеріалів – універсальності, гнучкості, локальності обробки в просторі і в часі, продуктивності, прецизійності, селективності.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

Більшість технологічних операцій, здійснюваних за допомогою лазерів, заснована на тепловій дії світла на оброблювані матеріали. У цьому випадку процес взаємодії лазерного випромінювання з речовиною умовно можна розділити на такі стадії: поглинання світла; передача енергії тепловим коливанням решітки твердого тіла; нагрівання матеріалу; плавлення, руйнування матеріалу шляхом випаровування і викиду розплаву і охолодження після закінчення світлового впливу.

Фізичні процеси, що відбуваються при лазерному очищенні поверхні, відрізняються великою різноманітністю і залежать від щільності потужності q_0 лазерного випромінювання на поверхні.

При $q_0 \leq 10^4 - 10^5$ Вт/см² відбувається нагрів матеріалу без зміни агрегатного стану речовини. Ця область термообробок застосовується, зокрема, для підвищення твердості приповерхневих шарів і їх зносостійкості, для відпалу напівпровідникових матеріалів, що поліпшує характеристики, що виготовляються з них приладів, для поділу крихких матеріалів за рахунок механічних напружень.

Підвищення q_0 до $10^5 - 10^6$ Вт/см² призводить до плавлення без викиду матеріалу. Це область точкового і шовного зварювання, що мають переваги перед контактними способами, зварювання матеріалів, що легко деформуються, у важкодоступних місцях і при мінімумі теплового впливу на сусідні матеріали, а також деяких операцій лазерного легування.

Величина $q_0 \sim 10^6 - 10^7$ Вт/см² дозволяє проводити нагрів з видаленням речовини із зони теплового впливу. Завдяки цьому можна пробивати отвори, свердлити, фрезерувати, різати практично всі матеріали, скрайбрувати крихкі матеріали, випаровувати, проводити відбір мікропроб для аналітичних цілей.

При $q_0 > 10^7 - 10^8$ Вт/см² виникає лазерна плазма, що поглинає випромінювання і тим самим ускладнює проведення технологічних операцій.

Загальна схема процесів впливу лазерного випромінювання на матеріали стосовно очищення поверхні приведена на рис. 1.1.

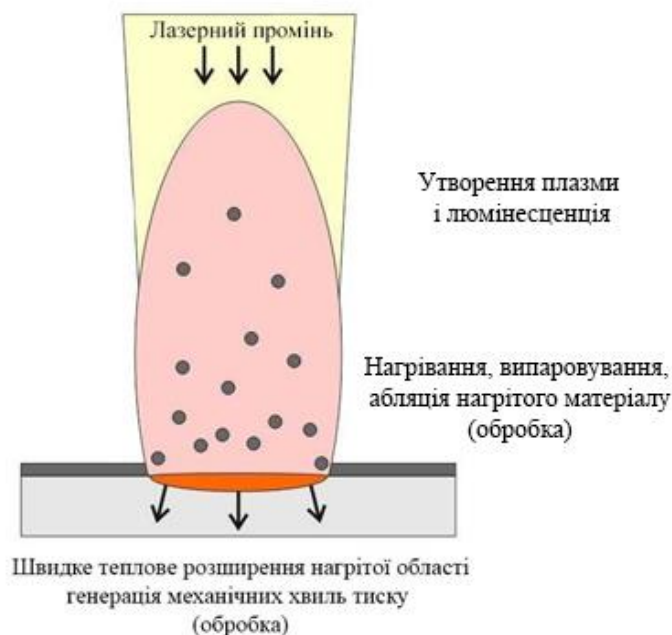


Рисунок 1.1 – Загальна схема процесів впливу потужного лазерного випромінювання на матеріали при лазерному очищенні поверхні

Процеси лазерного нагрівання, випаровування і абляції матеріалу з утворенням плазми, а також швидке теплове розширення і виникнення ударних хвиль лежать в основі механізмів лазерного очищення, в той час як світіння плазми і акустичний сигнал в повітрі можуть бути використані для контролю режимів і ступеня очищення. Таким чином, для очищення становить інтерес весь спектр процесів взаємодії лазерного випромінювання з речовиною, причому не тільки на повітрі, але і в рідкому середовищі, де часто процеси видалення забруднень йдуть набагато ефективніше і з меншими потужностями випромінювання.

Основними механізмами лазерного очищення поверхні є випаровування і ударно-механічний механізм.

2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Данна робота присвячена розробці режимів очищення від іржі сталевих конструкцій мостів, ЛЕП, башт телевізійних та мобільних передавачів тощо. Обробка таких елементів можлива у так званих польових умовах. Тому в даній роботі в якості джерела вибрана установка на базі відпаяного CO₂ - лазера Reci потужністю 130. Для забезпечення мобільності та зручності використання установки, ручний лазерний сканатор з'єднаний з установкою за допомогою оптичного волокна. Переміщення лазерного пучку можливе як в автоматичному так і в ручному режимі.

Таблиця 2.1 – Характеристики промислового лазера

Тип лазера	CO ₂ - лазер, Reci W4
Довжина хвилі випромінювання, мкм	10,6
Максимальна потужність, Вт	130
Електрична ефективність, %	10
Тип накачки	електричний розряд
Швидкість роботи (макс.), мм/мін	60000
Охолодження	водяне

В якості матеріалів дослідження були використані сталеві зразки різних марок (табл. 2.2) та з різним ступенем окиснення поверхні (рис.2.1).

Таблиця 2.2 – Характеристики сталевих зразків

Зразок	Марка сталі	Норматив
Смуга сталевіа 40х4	Ст. 3	ГОСТ 380-71
Смуга сталевіа 75х4	Ст. 3	ГОСТ 103-76
Лист сталевий 80х1	Ст. 20	ГОСТ 1050-88

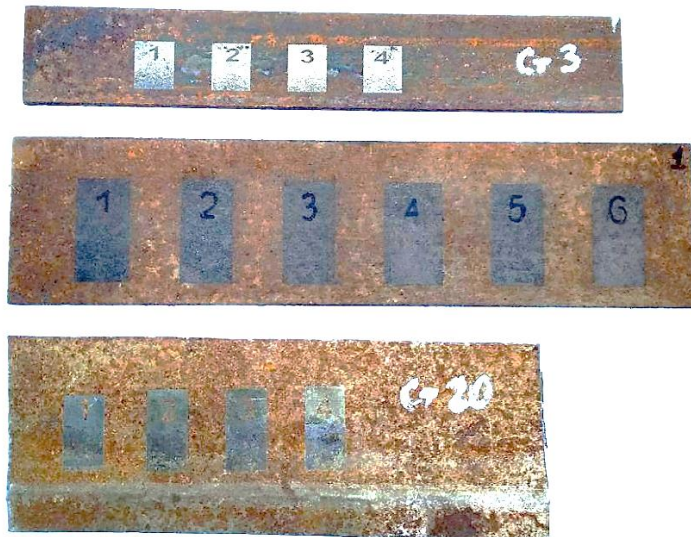


Рисунок 2.1 – Сталеві зразки, досліджувані в роботі

Для контролю очищеної поверхні обрано два методи:

- візуальний;
- контроль шорсткості.

Візуальний метод оцінювання проводився за допомогою мікроскопу Sigeta Expert (рис.2.4) при збільшенні $\times 100$.

Мікроскоп Sigeta Expert – сучасний цифровий мікроскоп для надточних робіт під збільшенням від $\times 10$ до 300.

Високотехнологічний, але простий в експлуатації цифровий мікроскоп Sigeta Expert має найширшу сферу застосування.



Рисунок 2.2 – Мікроскоп Sigeta Expert

Таблиця 2.3 – Характеристики мікроскопу Sigeta Expert

Збільшення	×10...300
Матриця	5 MPixel
Фокусна відстань	10...500 мм
Формат фото	JPEG
Інтерфейс підключення	USB-кабель

Шорсткість утворює мікрорельєф поверхні деталі. Це важливий показник в технічній характеристиці виробу, що впливає на експлуатаційні властивості деталей.

Шорсткість поверхні вимірювалася контактним способом, за допомогою профілометра TP-200 (рис.2.3).



Рисунок 2.3 – Профілометр TP-200

Характеристики профілометра наведені в табл. 2.4.

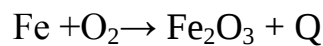
Таблиця 2.4 – Характеристики профілометра TP-200

Система вимірювання	Метрична, британська
Дискретність індикації	0,001 мкм
Діапазон вимірювань по параметрам	Ra, Rq: 0,01 – 40 мкм Rz, Ry, Rp, Rt, R3z: 0,02 – 160 мкм RSm, RS: 1мм Rmr: 1 – 100%
Клас точності	клас 3
Габаритні розміри	141 × 56 × 48 мм
Маса електронного блоку	480 г

3 РОЗРОБКА РЕЖИМІВ ОЧИЩЕННЯ

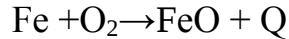
Лазерне очищення іржі є одним із складних видів обробки. Товщина шару і фізико-хімічні властивості іржі можуть змінюватися в межах однієї ділянки, тому вибір режимів очищення – складне завдання.

Під дією кисню повітря при наявності водяної пари метал (залізо) окислюється з утворенням оксиду Fe_2O_3 :

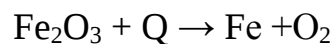
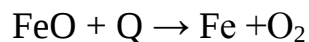


Цей процес, супроводжується виділенням тепла, використовується для підвищення ефективності лазерного різання.

При нагріванні до $500 - 600^\circ\text{C}$ і вище утворюється оксид FeO (окалина):



Утворенням окалини супроводжуються процеси термічної обробки і зварювання. Лазерне випромінювання викликає швидкісне нагрівання до температур $900 - 1300^\circ\text{C}$. Під дією лазерного променя на окисленій поверхні відбуваються такі реакції:



Відновлення металу з оксидів вимагає великої кількості енергії, джерелом якої в даному випадку є лазер. При надлишку тепла система «іржа - метал» переходить в більш стійкий стан при звільненні атомів кисню [4].

Найбільш істотно на процес очищення впливає потужність випромінювання, яка саме визначає кількість тепла, що потрапляє на оброблювану поверхню. В якості контролю впливу потужності на якість

очищення використовувалися металографічні дослідження поверхні та вимірювання шорсткості за допомогою профілометра TP – 200.

Обробка поверхні проводилась в імпульсно-періодичному режимі при незмінних умовах фокусування, частоті проходження імпульсів 30000 Гц і швидкості сканування 200 мм /с.

Параметри режимів наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри режимів очистки

Режим	Кількість проходів, N	Потужність, Р (%)	Шорсткість поверхні Rz, мкм
1	1	20	73,08
2	1	30	72,1
3	1	50	71,31
4	2	50+50	58,3
5	1	70	53,52
6	2	70+50	47
7	1	80	43,4
8	2	80+50	39,7
9	1	90	46,2
10	2	90+50	40,2
11	1	95	43,4
12	1	110	43,1
13	1	120	42,8

Дослідження проводилися на зразках з шаром іржі 0,6 – 0,8мм. Залежність шорсткості поверхні від потужності випромінювання та кількості проходів наведена на рис 3.1. Крива I характеризує залежність шорсткості поверхні від випромінювання для одного проходу, на ній простежуються три зони:

Зона I – характеризується частковим випаровуванням іржі, високою шорсткістю поверхні та відсутністю металізації приповерхневого шару.

Зона II – характеризується майже повним випаровуванням іржі, середню шорсткістю поверхні частковою або повною металізацією приповерхневого

шару.

Зона III – характеризується повним випаровуванням іржі, середню шорсткістю поверхні, повною металізацією та оплавленням приповерхневого шару.

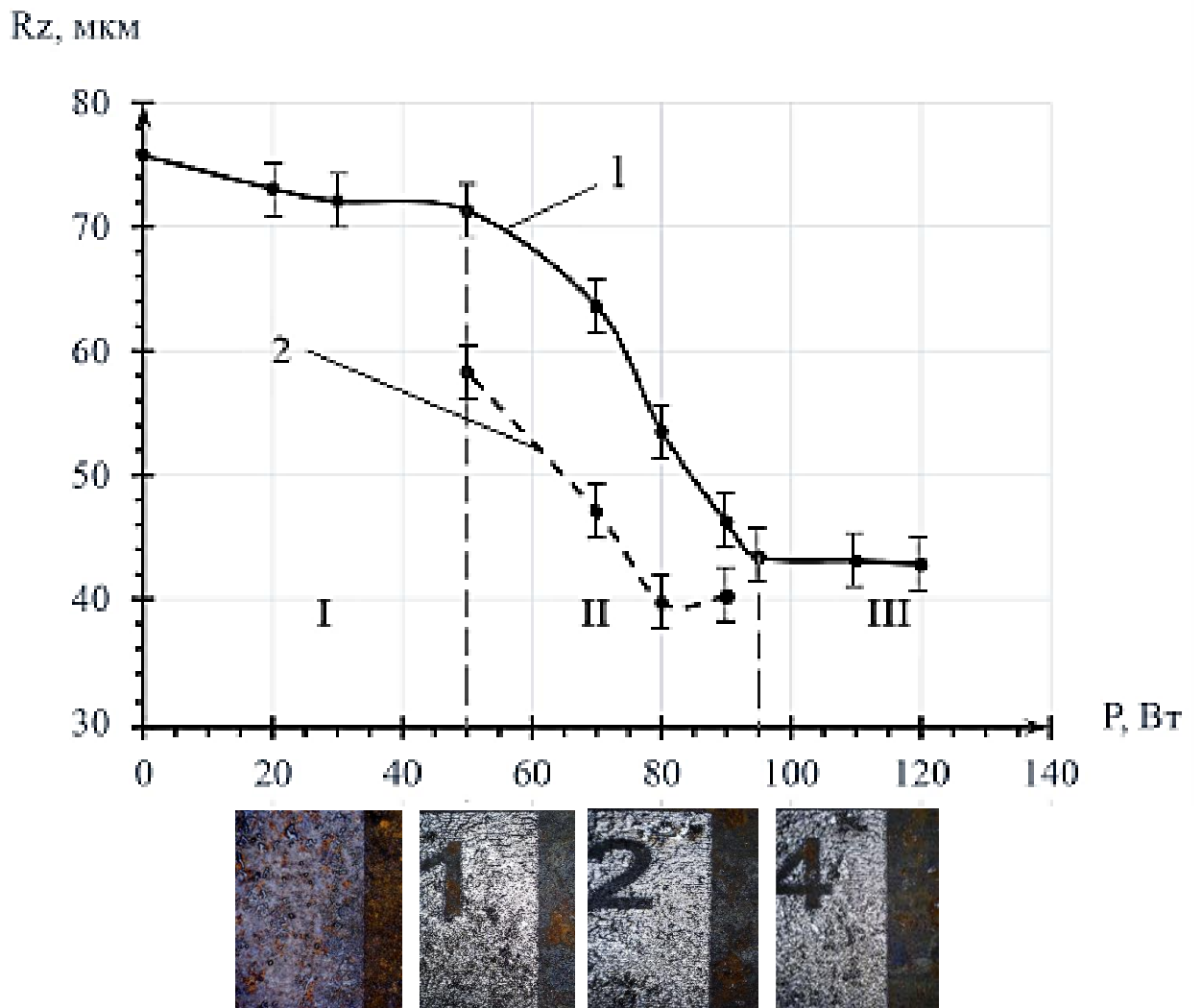
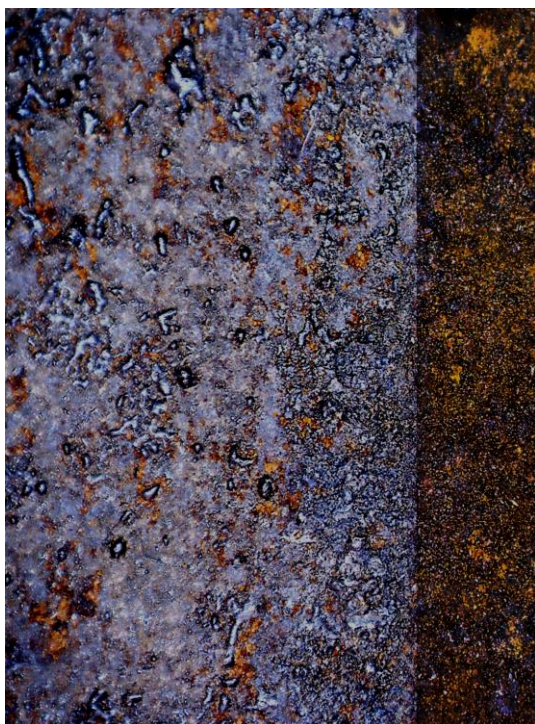
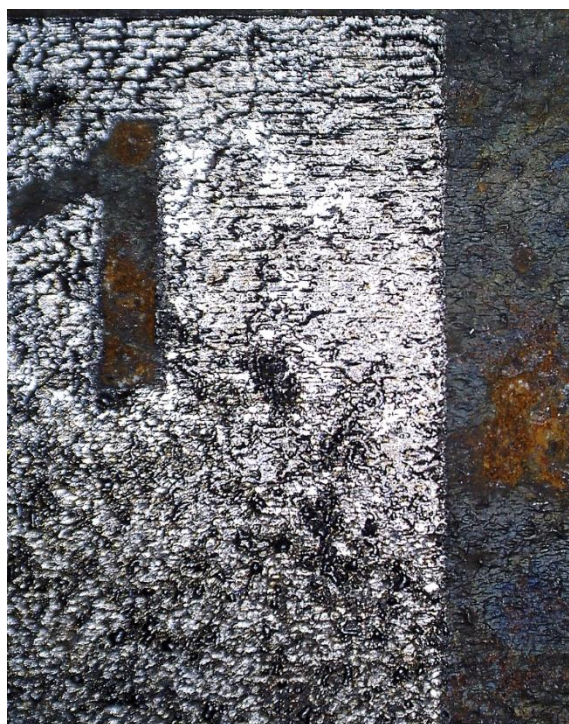


Рисунок 3.1 – Графік залежності шорсткості та структури поверхні від потужності випромінювання

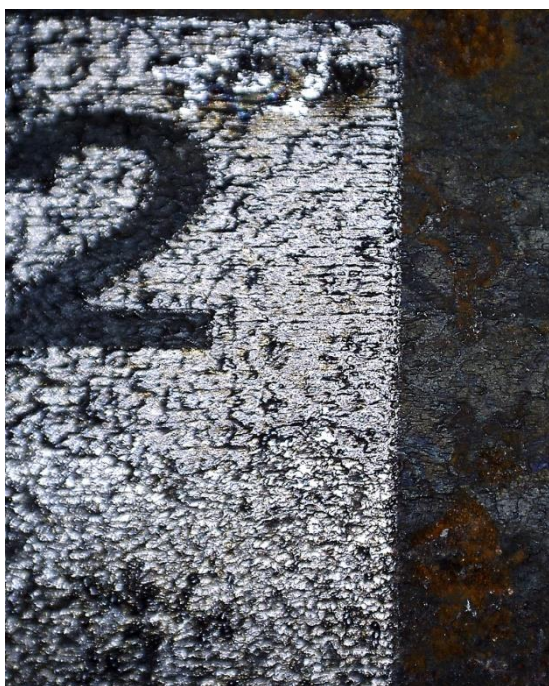
Вид поверхні зразків до та після очищення на різних режимах показаний на рис. 3.2.



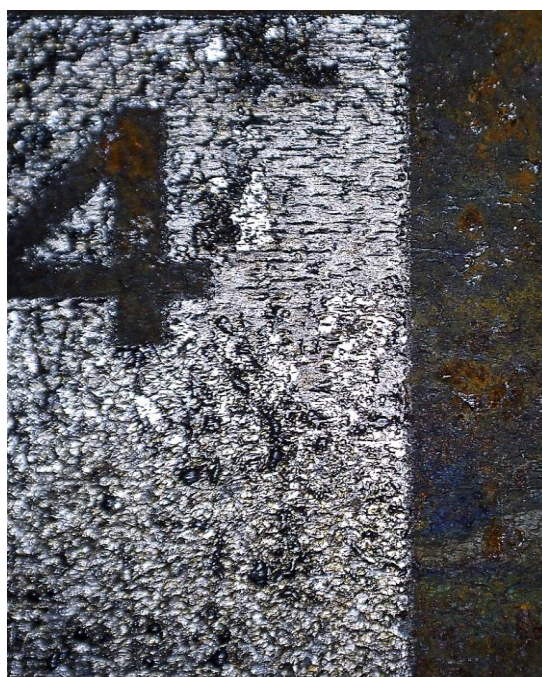
а)



б)



в)



г)

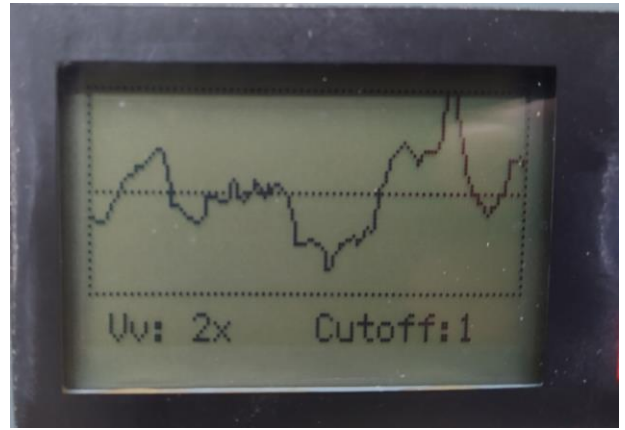
а – режим 3, б – режим 5, в – режим 7, г – режим 9.

Рисунок 3.2 – Вид поверхні сталевих зразків до і після очищення від іржі

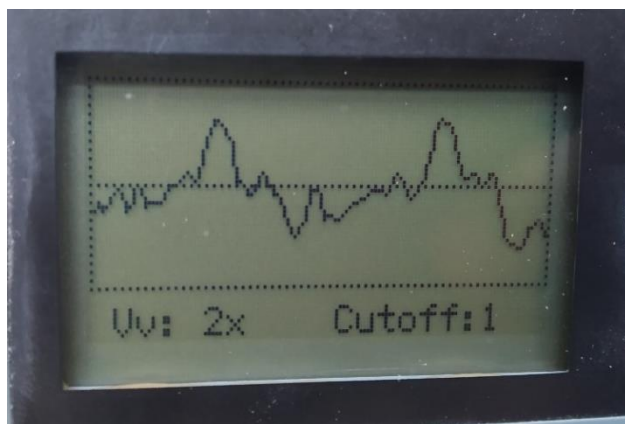
Дослідження поверхні показали, що потужність випромінювання має суттєвий вплив на якість очищення. При потужності до 50Вт шорсткість поверхні практично не змінюється.



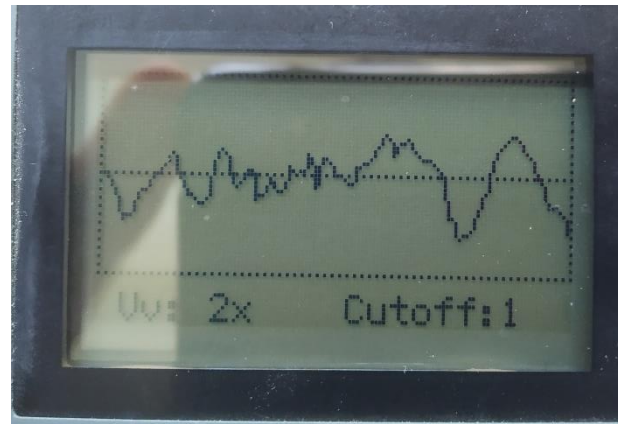
а)



б)



в)



г)

а – режим 3, б – режим 5, в – режим 7, г – режим 9.

Рисунок 3.3 – Вид профілограм сталевих зразків після очищення від іржі

Металографічні дослідження показують, що на поверхні іржі спостерігається металізація її верхніх шарів, форма частинок іржі глобулярна, розміри глобул різні (рис. 3.2,а).

Ці утворення не мають значної адгезії з металом і легко видаляються.

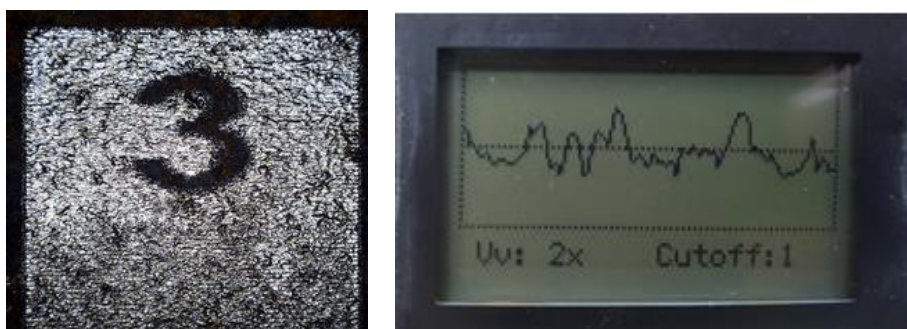
Зі збільшенням потужності металізація поверхні збільшується, а при потужності більше 95Вт починається оплавлення поверхні. При роботі по режимам 3 – 5 (рис. 3.2, а – б) залишаються неметалізовані ділянки, очевидно, що одного проходу при очищенні від забруднень товщиною 0,6 – 0,8 мм недостатньо.

На рис. 3.3 наведені профілограми зразків, очищених за відповідними режимами. При роботі в декілька, зокрема, два проходи, можливе таке розподілення потужності між проходами: перший прохід менш потужний, ніж другий; перший прохід більш потужний, ніж другий; проходи мають однакову потужність.

Перший варіант був відкинутий одразу. Обробка за такою схемою сприяла утворенню на поверхні окалини FeO, яка має дуже високу (до 70%) відбивну здатність, тому подальша обробка підвищувала енерговитрати.

Обробка однаково потужними проходами сприяє оплавленню поверхні вже при 75 – 80Вт. Варіант обробки, при якому потужність другого проходу менша, ніж першого, виявився більш результативним.

Крива 2 на рис. 3.1 характеризує залежність шорсткості поверхні від потужності випромінювання для двох проходів при постійній потужності другого у 50Вт. Найкращий результат був отриманий при режимі 8 (рис. 3.4), потужність першого проходу 80 Вт.



а

б

Рисунок 3.4 – Вид поверхні (а) та профілограма (б) сталевого зразку після очищення від іржі у два проходи

Обробка в два проходи сприяє повній металізації поверхні із шорсткістю 33 – 45 мкм без оплавлення поверхневого шару.

Для очищення лакофарбних покриттів потужність може бути від 20 Вт до 50 Вт, в залежності від кількості шарів покриття. Якщо забруднення більш складне, або комбіноване з іржею, то слід орієнтуватися на режими для очищення іржі за два проходи.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналітичний огляд літератури, присвяченої взаємодії лазерного випромінювання з металами і технологічних процесів лазерного очищення.
2. Досліджено вплив параметрів лазерного випромінювання на якість очищення сталевих зразків від іржі.
3. Розроблено режими лазерного очищення сталевих зразків від іржі. Найкращим результатом, рекомендованим для використання є режим з потужністю на першому проході 80 Вт, на другому 50Вт. Цей режим забезпечує максимальне очищення та мінімальне оплавлення приповерхневого слою.
4. Досліджені умови фокусування випромінювання, рекомендовано фокусувати випромінювання на поверхні або над поверхнею матеріалу.
5. Отримані результати можуть бути використані на технологічному виробництві для очищення металевих поверхонь від іржі та різних технологічних забруднень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Реди Дж. Промышленные применения лазеров [Текст] / Дж. Реди. – М.: Мир. 1981. – 638 с.
2. Крылов К.И. Применение лазеров в машиностроении и приборостроении [Текст] / К.И. Крылов, В.Т. Прокопенко, А.С. Митрофанов. Л.: Машиностроение, 1978. – 335 с.
3. Взаимодействие лазерного излучения с веществом, силовая оптика [Текст] / В.П. Вейко, М.Н. Либенсон, Г.Г. Червяков, Е.Б. Яковлев. М.: Физматлит, 2008. – 312 с.
4. Григорьянц А.Г. Технологические процессы лазерной обработки [Текст] / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюров М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 664 с.
5. Вейко В.П. Лазерная обработка [Текст] / В.П. Вейко, М.Н. Либенсон. Л.: Машиностроение, 1973. – 191 с.
6. Вейко В.П. Физические механизмы лазерной очистки поверхности [Текст] / В.П. Вейко, Е.А. Шахно// Известия РАН. – 2001. – Т.65, №4. – С.584 – 587.
7. Конспект лекцій з дисципліни "Застосування лазерів та пристроїв оптоелектронної техніки" (Ч. 1. "Застосування лазерів у промислових технологіях") для студентів денної та заочної форм навчання за напрямком вимірювальна техніка, освітня програма "Оптотехніка" [Електронний ресурс] / Автор: О.В. Афанасьєва. – Харків: ХНУРЕ, 2017. –196 с.
8. Мурзин С.П. Лазерные технологии обработки материалов учеб.пособие [Текст]/ С. П. Мурзин, В. Н. Илюхин. – Самара: Самар.гос.аэрокосм.ун-т, 2006. – 98с.