

ЗВАРЮВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ ПЛІВОК ЛАЗЕРАМИ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ

М.Г. Кораб, М.В. Юрженко, А.В. Ващук, М.Г. Менжерес

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: korab_nikolay@ukr.net

Технологія лазерного зварювання трансмісійним методом дозволяє зварювати внапуск полімерні плівки та листи різної товщини. На розробленій експериментальній установці було проведено зварювання полівінілхлоридних плівок з використанням твердотільного лазера з діодною накачкою (DPSS) потужністю 10 Вт, який генерує випромінювання зеленого кольору з довжиною хвилі 532 нм. Застосування даного методу дало можливість зварювати між собою прозорі багат шарові медичні плівки Wipak. Експерименти показали, що за допомогою такого лазера можливе утворення якісного з'єднання медичної плівки Wipak з папером. Бібліогр. 9, рис. 5.

Ключові слова: зварні з'єднання, полімерні плівки, трансмісійне лазерне зварювання, діодні лазери

Універсальність і непримхливість до умов зовнішнього середовища дозволяє використовувати лазерне зварювання навіть за польових умов, де питання продуктивності зварювального процесу є найбільш актуальним. Більш того, висока інтенсивність і монохроматичність лазерного пучка дають можливість досягти високих значень потужності і густини потоку енергії, що робить його принципово відмінним від інших джерел нагріву в технології зварювання. Оскільки лазерне випромінювання є безінерційним об'єктом, то час включення і виключення пучка, зміна його енергетичних властивостей, а також напрям його руху відносно оброблюваної деталі визначаються виключно швидкодією джерела лазерного випромінювання, системою транспортування випромінювання і органів управління випромінюванням. Термічний цикл визначається прийнятим режимом зварювання, який залежить від потужності випромінювання, швидкості зварювання, умов просторового розташування пучка відносно зварюваної деталі, умов охолодження, а також від теплофізичних властивостей матеріалу. Таким чином, застосування лазерного випромінювання і висока продуктивність лазерного зварювання при правильному формуванні шва дає можливість досягти високої міри автоматизації зварювального процесу.

Лазерне зварювання є способом зварювання випромінюванням з нагріванням поверхонь, що з'єднуються за рахунок перетворення в тепло енергії електромагнітного випромінювання [1]. Конструкції лазерів можна поділити на чотири основні типи (рис. 1), які відрізняються довжиною хвилі випромінювання, іншими параметрами та можуть застосовуватися для зварювання пластмас [2, 3].

Газовий лазер на основі вуглекислоти (CO_2) генерує безперервне випромінювання з довжиною

хвилі 10,6 мкм. Оскільки таке ІЧ випромінювання добре поглинається практично усіма видами пластмас, потужні CO_2 лазери застосовуються для різання та зварювання полімерних матеріалів [4].

Активним середовищем твердотільних лазерів є діелектричні кристали, активовані іонами рідкоземельних елементів [5]. Найпотужнішим серед твердотільних є алюмо-іттрієвий неодимовий лазер (Nd:AlG), який генерує випромінювання довжиною хвилі 1,064 мкм в імпульсному режимі з періодичністю менше наносекунди. Такі лазери широко застосовуються в медицині та для обробки технічних матеріалів, в тому числі для зварювання пластмас.

Волоконні лазери як активні середовища використовують оптичний хвилевід з волокнами, легуваними рідкоземельними елементами. Вони формують гостронаправлений пучок, який може бути легко сфокусований в пляму дуже малих розмірів. Цей тип лазерів зручний тим, що добре поєднується з волоконними оптичними лініями для передачі випромінювання [6].

Діодні (напівпровідникові) лазери також є твердотільними, але вони на відміну від вищезгаданих мають інший принцип роботи. Активним середовищем таких лазерів є напівпровідники на основі галію та індію. Потужність напівпровідникових лазерів менша, але вони прості та компактні, можуть генерувати випромінювання в оптичному, ближньому та середньому ІЧ діапазонах. Тому напівпровід-

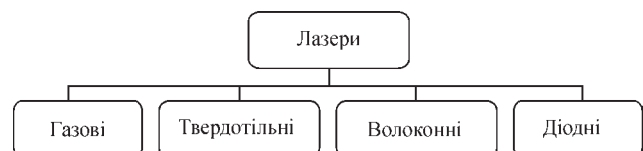


Рис.1. Типи лазерів

Кораб М.Г. – <https://orcid.org/0000-0001-8030-1468>, Юрженко М.В. – <http://orcid.org/0000-0002-5535-731X>, Ващук А.В. – <http://orcid.org/0000-0002-4524-4311>

© М.Г. Кораб, М.В. Юрженко, А.В. Ващук, М.Г. Менжерес, 2020

никові лазери широко використовують для обробки та зварювання полімерних матеріалів [7, 8].

Розробка та масовий промисловий випуск твердотільних лазерів значно розширили технологічні можливості лазерного зварювання пластмас. Найбільше в даний час застосовують лазерне зварювання внапуск листових полімерних матеріалів трансмісійним методом. В цьому випадку лазерне випромінювання оптичного або ближнього ІЧ діапазону проходить через прозору верхню деталь зварного з'єднання та поглинається з виділенням теплоти на поверхні контакту деталей. Таким способом часто зварюють полімерні плівки або тонколистові заготовки, які є напівпрозорими для лазерного випромінювання. Тому можливий варіант, коли випромінювання частково поглинається обома заготовками, розігриваючи зону зварювання [9].

Лазерне зварювання вважають дороговартісним з точки зору капітальних витрат. Але при застосуванні малопотужних дешевих лазерів цей спосіб зварювання може бути більш зручним у порівнянні з іншими при виготовленні виробів з полімерних плівок. Вважається, що практично усі термопласти, такі як поліетилен, полівінілхлорид, поліпропілен, полістирол, полікарбонат, АБС, поліаміди, поліметилметакрилат, а також термопластичні еластомери придатні для лазерного зварювання.

В наших попередніх роботах було показано, що для зварювання плівок у діапазоні товщин 0,015...0,1 мм достатньо лазера потужністю 1 Вт. Для зварювання матеріалу більшої товщини потрібно потужніше джерело енергії. Крім того, використання ползків часто не дає змогу точно навести лазерний промінь на лінію з'єднання та спостерігати за ходом зварювання. Тому в даній роботі було проведено серію технологічних досліджень з використанням більш потужного довгофокусного лазера.

У даній роботі на візок з електромеханічним регульованим проводом було встановлено твердотільний лазер з діодною накачкою (DPSS) потужністю 10 Вт (рис. 2). В цьому лазері використано потужний діод з довжиною хвилі випромінювання 808

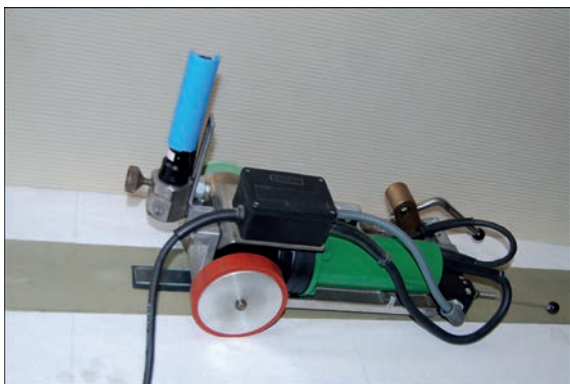


Рис. 2. Експериментальна установка для трансмісійного лазерного зварювання полімерної плівки з довгофокусним лазером

нм, яке подається серії перетворень і у підсумку, на виході утворюється лазерний промінь зеленого кольору з довжиною хвилі 532 нм. Це випромінювання добре проходить крізь прозорі полімерні матеріали, менше відбивається від їх поверхні та добре поглинається затемненими матеріалами. Лазер оснащений системою лінз для фокусування променя, яка дозволяє сфокусувати випромінювання на відстані 120 мм від передньої кромки корпусу, або розфокусувати його для зменшення концентрації енергії у плямі нагріву. Мінімальний діаметр плями лазерного випромінювання складав 1,1 мм.

Корпус лазера закріплювали у металевому циліндрі, який мав змогу переміщуватись по вертикальній напрямній з фіксацією на різних відстанях від площини зварюваних деталей. В процесі експериментів потужність лазера лишалась незмінною, питому енергію випромінювання змінювали регулюванням швидкості зварювання та відстані від лазера до деталі. Збільшення потужності лазера дало можливість зварювати плівки більшої товщини з ПВХ. При зварюванні плівку фіксували скляними пластинами для забезпечення необхідного тиску та запобігання деформації з'єднання.

На рис. 3 показано поперечний переріз напускного зварного шва двох ПВХ плівок товщиною 0,1 та 0,3 мм. При оптимально підбраному режимі зварювання за рахунок достатнього прогріву матеріалу нижньої плівки верхня плівка розплавляється більше, ніж на половину своєї товщини, що сприяє формуванню якісного зварного з'єднання.

Досліджували також зварюваність спеціальної багат шарової полімерної плівки для медичної упаковки фірми Wipac. Найбільш поширене застосування цієї плівки – виготовлення пласких мішечків для медичного інструменту, де плівка по зовнішньому периметру приварюється тепловим зварюванням до листа спеціального паперу. Плівка повністю прозора, тому лазерне випромінювання вона поглинає погано. Експерименти показали, що за допомогою лазера можливе утворення з'єднання плівки з папером. Для цього необхідно прикласти до зони шва додатковий тиск спеціальним навантаженням скляної пластини. У даному ви-

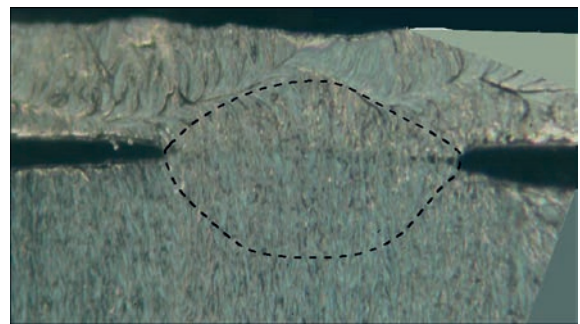


Рис. 3. Поперечний переріз з'єднання ПВХ плівки, виконаного трансмісійним лазерним зварюванням. Пунктиром позначені контури зварного шва (×200)

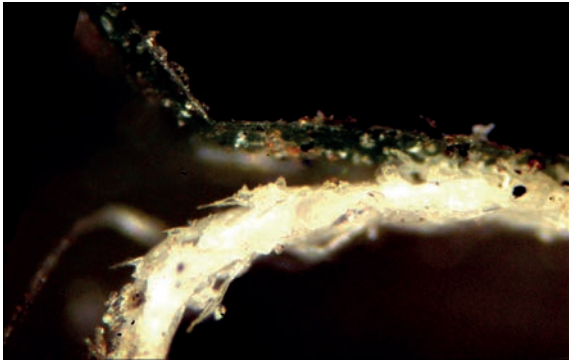


Рис. 4. З'єднання багат шарової плівки Wipak з папером ($\times 100$)

падку шляхом розігріву паперу утворюється зчеплення з ним нижніх шарів плівки (рис. 4).

Загалом, для достатнього розігріву прозорої полімерної плівки необхідно додавати в зону шва барвники чорного або темних кольорів, які сприяють активному поглинанню лазерного випромінювання та не знижують механічні характеристики матеріалу з'єднання. Такими барвниками можуть бути традиційні сажа або графіт та дрібний чорний поліетиленовий порошок.

В результаті технологічних досліджень оптимальні параметри трансмісійного лазерного зварювання полімерних плівок визначались за результатами оцінки зовнішнього вигляду швів, вивчення під мікроскопом їх поперечних перерізів, а також за результатами механічних випробувань зразків швів плівки згідно з вимогами діючих нормативних документів. При оптимальних параметрах режиму зварювання на зовнішній поверхні шва відсутні пори, раковини, тріщини та інші дефекти, на поперечному перерізі шва спостерігається рівномірний провар (рис. 5), трохи збільшений для нижньої плівки. Механічна міцність таких швів знаходиться на рівні основного матеріалу. За результатами досліджень були розроблені технологічні рекомендації з трансмісійного лазерного зварювання полімерних плівок різних видів за допомогою малопотужних діодних лазерів оптичного діапазону.

Список літератури

1. Кораб Г.Н., Шестопал А.Н., Комаров Г.В. и др. (1988) *Словарь-справочник по сварке и склеиванию пластмасс*. Патон Б.Е. (ред.). Киев, Наукова думка.

WELDING OF POLYMER FILMS BY LOW POWER LASERS

M.G. Korab, M.V. Iurzhenko, A.V. Vashchuk, M.G. Menzheres

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: korab_nikolay@ukr.net

The technology of laser welding by a transmission method allows welding overlapping polymeric films and sheets of various thickness. Welding of polyvinyl chloride films using a diode-pumped solid-state laser (DPSS) of 10 W power, which generates green radiation with wavelength of 532 nm, was performed in the developed experimental equipment. Application of this method made it possible to weld transparent multilayer medical films Wipak. Experiments have shown that with the help of such a laser it is possible to form a high-quality joint of Wipak medical film with paper. 9 Ref, 5 Fig.

Keywords: welded joints, polymer films, transmission laser welding, diode lasers

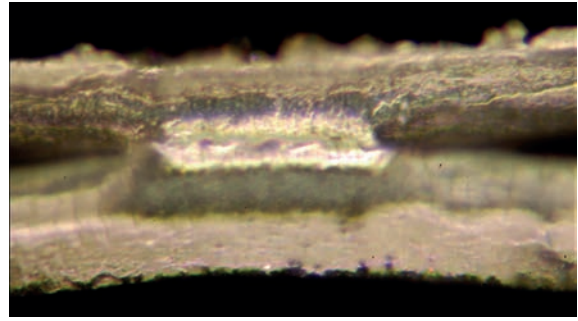


Рис. 5. Оптимальна форма зварного шва з'єднання поліетиленової плівки товщиною 0,1 та 0,15 мм, виконаного трансмісійним лазерним зварюванням ($\times 200$)

2. Москвитин Г.В., Поляков А.Н., Бригер Е.М. (2012) Лазерная сварка пластических материалов (обзор). *Сварочное производство*, **9**, 21–33.
3. Klein R. (2011) *Laser welding of plastics*. Wiley-VCH, Verlag GmbH & Co.
4. Бригер Е.М., Москвитин Г.В., Поляков А.Н. (2012) Применение методов лазерной сварки в современном промышленном производстве. *Сварочное производство*, **6**, 36–47.
5. Звелто О. (1990) *Принципы лазеров*. Москва, Мир.
6. Грефф Г. Лазерная сварка пластмасс. Новые химические технологии. http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=750
7. Кондиленко И.И., Коротков П.А., Хижняк А.И. (1984) *Физика лазеров*. Киев, Вища школа.
8. *Plastics joining with high-power diode lasers*. <http://www.limo.de/ru/limo-produ-kte/kundenreferenzen/kunststoffschweissen/>
9. *Лазерная трансмиссионная (проникающая) сварка термопластов*. Фирма «BASF Aktiengesellschaft» Техническое обслуживание термопластов. <http://www.basf.ru/>

References

1. Korab, G.N., Shestopal, A.N., Komarov, G.V. et al. (1988) *Dictionary and reference book on welding and gluing of plastics*. Ed. by B.E. Paton. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
2. Kondilenko, G.V., Polyakov, A.N., Birger, E.M. (2012) Laser welding of plastics (Review). *Svarochn. Proizvodstvo*, **9**, 21–33 [in Russian].
3. Klein, R. (2011) *Laser welding of plastics*. Wiley-VCH, Verlag GmbH & Co.
4. Briger, E.M., Moskvitin, G.V., Polyakov, A.N. (2012) Application of laser welding methods in modern industrial production. *Svarochn. Proizvodstvo*, **6**, 36–47 [in Russian].
5. Zvelto, O. (1990) *Principles of lasers*. Moscow, Mir [in Russian].
6. Greff, G. *Laser welding of plastics. New chemical technologies*. http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=750
7. Kondilenko, I.I., Korotkov, P.A., Khizhnyak, A.I. (1984) *Physics of lasers*. Kiev, Vyscha Shkola [in Russian].
8. *Plastics joining with high-power diode lasers*. <http://www.limo.de/ru/limo-produ-kte/kundenreferenzen/kunststoffschweissen/>
9. *Laser transmission (penetration) welding of thermoplastics*. BASF Aktiengesellschaft Company. Maintenance of thermoplastics. <http://www.basf.ru/>

Надійшла до редакції 27.07.2020