

УДК 621.791.72

Шелягін В. Д., Шуба І. В., Бернацький А. В., Сіора О. В.

**РОЗРОБКА ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО РУЧНОГО ЗВАРЮВАННЯ СТАЛЕВИХ ВИРОБІВ У РІЗНИХ ПРОСТОРОВИХ ПОЛОЖЕННЯХ**

Початок ХХІ сторіччя для світового зварювального виробництва характеризується інтенсивним розвитком і розширенням областей застосування променевої джерел енергії (у першу чергу лазера) для зварювання й обробки конструкційних матеріалів [1–5]. Висока густина енергії лазерного випромінювання, широкий діапазон її регулювання, можливість передачі енергії на значну відстань від джерела випромінювання забезпечують лазеру високу ефективність й універсальність. Як показують маркетингові дослідження [5], високу ефективність лазерних технологій і зростаючі масштаби їхнього промислового застосування переконливо підтверджує збільшення щорічних продажів лазерних систем і джерел для обробки матеріалів. Планується, що до 2017 р. обсяг продажів лазерних систем перевищить 10,0 млрд. долл. США [5].

Останнім часом з'явилося багато публікацій, які присвячені ряду технічних задач, рішення яких потребує використання ручного лазерного інструменту [6–8]. Такі задачі пов'язані із зварюванням, наплавленням, різанням, очищенням поверхні та іншими видами обробки металів (вуглецевих сталей, алюмінієвих, титанових і магнієвих сплавів) при виготовленні одиничних виробів, дрібних партій деталей або проведенні робіт у важкодоступних місцях при виготовленні чи ремонті серійних виробів. Наприклад, зварювання в напустку кузовних елементів вагонів та автомобілів; зварювання стільникових, таврових, стрінгерних панелей та подібних до них конструкцій; ремонтно-монтажні зварювальні при виготовленні та експлуатації апаратів аерокосмічної техніки; зварювання дрібносерійних партій спеціалізованого медичного обладнання та інструментів тощо.

Після зварювання на стапелі каркасної частини з обшивкою вагону швидкісного потягу (рис. 1), залишається велика кількість конструктивних елементів, які потребують ручного зварювання (рис. 2), оскільки велика номенклатура та важкодоступність місць розташування зварних з'єднань не дозволяють використовувати автоматичне зварювання та застосовувати автоматизовані комплекси. Розроблена установка може бути використана для зварювання елементів кузовів вагонів, а саме зварювання деталей внутрішнього шару і облицювальних панелей зовнішнього шару у вузлах кузовів вагонів з нержавіючої сталі. Тип з'єднання для лазерного зварювання – це з'єднання внапустку деталей внутрішнього шару (траверси, стійки, ребра жорсткості і т.д.) з облицювальними панелями зовнішнього шару; всі деталі внутрішнього шару зварюються в напрямку товщини листа, зовнішнього шару – частково в напрямку товщини панелі.

Метою роботи є розробка (в ІЕЗ ім. Є.О. Патона) інструменту для лазерного ручного зварювання сталевих конструкцій, який є складовою частиною лазерної установки для зварювання виробів у різних просторових положеннях, наприклад, залізничного транспорту, а саме вагонів сучасних швидкісних поїздів. Ця установка призначена для ручного зварювання з'єднань внапустку зі сталі з товщиною листів від 0,5+0,5 мм до 0,5+4,0 мм. Інструмент-може бути легко керований одним оператором (рис. 3), що дозволяє виконувати ручне зварювання конструкцій у різних просторових положеннях. Траєкторія руху сфокусованого лазерного променя може бути заздалегідь скорегована і запрограмована для забезпечення спеціальних видів зварних з'єднань (рис. 4).

Основними складовими частинами головки є оптична та електронна система керування і корпус із сопловою насадкою. В середині корпусу розташована оптико-механічна скануюча система, яка приводиться у дію за допомогою крокових двигунів. Вона призначена для

керованого переміщення сфокусованого лазерного випромінювання по поверхні виробу. Для зручного утримання головки у різних просторових положеннях до корпусу приєднана ручка із гашеткою. Сопловий насадок одночасно використовується для декількох цілей. По-перше, конструкція насадки створює безпечні умови для оператора із точки зору потрапляння прямого або відбитого лазерного випромінювання під час проведення процесу зварювання. По-друге, він забезпечує оптимальні умови газового захисту поверхні виробу. По-третє, він оснащений спеціальними отворами для видалення зварювальних газів із зони обробки.



Рис. 1. Вагон швидкісного потягу після зварювання каркасної частини з обшивкою

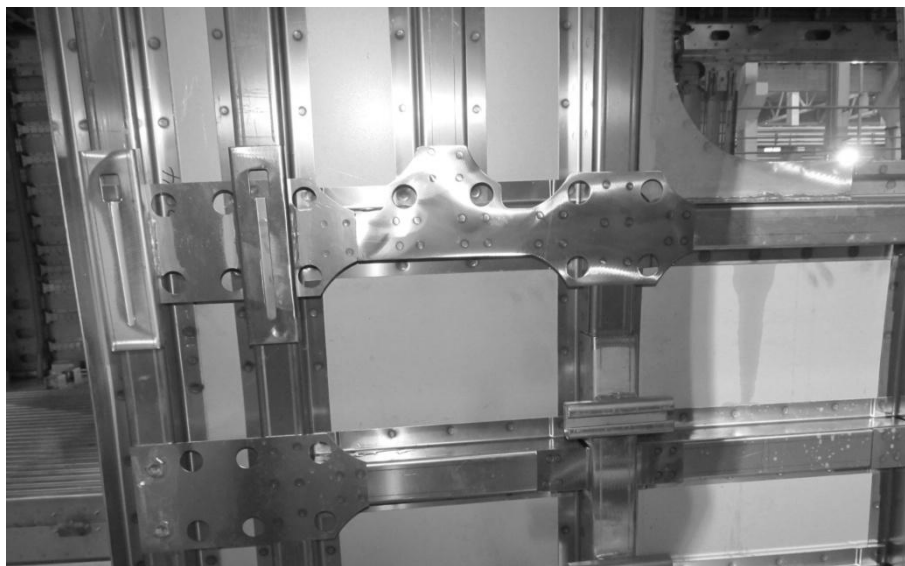


Рис. 2. Місця розташування типових зварних з'єднань у внутрішній частині вагону швидкісного потягу

Крім цього на поверхні корпусу ручного інструменту розташовані чотири світлодіоди, три із яких розташовані у формі трикутника і сигналізують про правильність притискання вихідного отвору головки до поверхні виробу. При щільному притисканні головки світлодіоди в вершинах трикутника будуть горіти зеленим кольором, при нещільному притисканні (коли хоча б один із сенсорів знаходиться на відстані більше 1 мм від виробу) – синім кольором. Реєстрацію притискання виконують три послідовно з'єднані ємнісні сенсори. Вони роз-

ташовані у площині вихідного отвору соплової насадки і крім забезпечення світлової сигналізації також використовуються для блокування лазерного випромінювання у разі нещільного притискання вихідного отвору до поверхні виробу. Четвертий світлодіод розташований у центрі і сигналізує про перетікання процесу зварювання. Під час виконання підготовчих операцій (подавання захисних газів у зону обробки) він мерехтить, а при виконанні зварювання він безперервно горить зеленим кольором. Якщо під час проведення процесу зварювання ємнісні сенсори зареєструють нещільність притискання вихідного отвору до поверхні виробу лазерне випромінювання буде миттєво вимкнено системою керування головки.

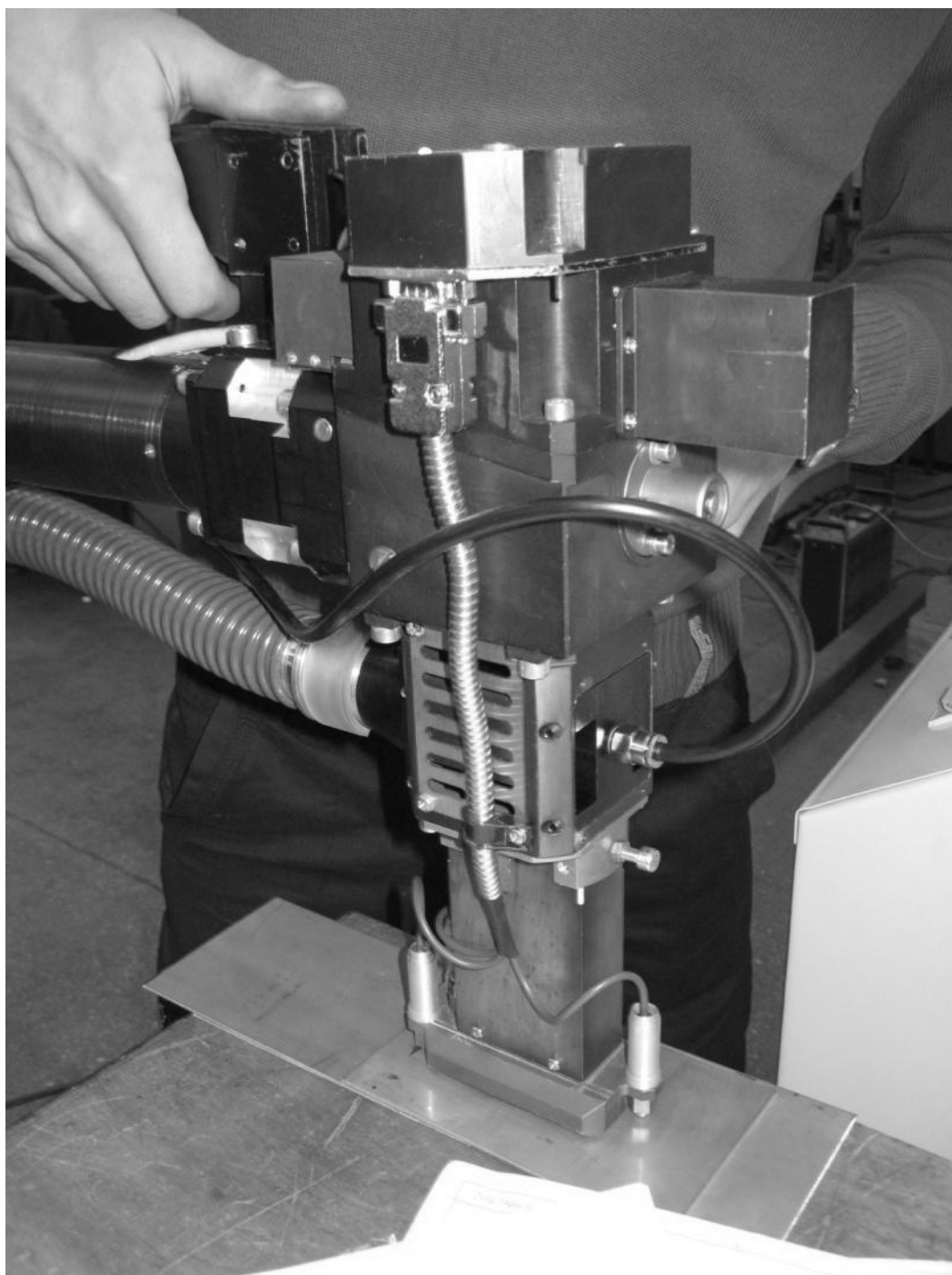


Рис. 3. Інструмент для ручного лазерного зварювання

При проведенні випробувань розроблений інструмент був з'єднаний за допомогою відповідних комунікацій з волоконним лазером «ЛС-2-П1» (виробництва «IPG», Німеччина) та системами управління та охолодження.

За допомогою розробленого інструменту для лазерного ручного зварювання, виготовлені дослідні зразки зварних з'єднань внапустку зі сталі 08X18H10T товщиною 1,5 мм (рис. 4). Якість зварних з'єднань оцінювалась у відповідності за стандартом ISO15614-11. Встановлено, що одержані шви, за рівнями якості швів залежно від дефектів, відповідають вимогам групи оцінки В в стандарті ISO13919-1.

Металографічні дослідження зварних швів і ЗТВ проводилися по макро- та мікрошліфах зразків з використанням оптичного мікроскопа «Neophot-32» при збільшеннях 25–600 і твердоміра М-400 фірми «Лесо» при навантаженні 50 г й 10 г. Для виявлення мікроструктури швів використовували електролітичне травлення в розчині хромової кислоти.

Металографічні дослідження зразків зварних з'єднань внапусток зі сталі 08X18H10T товщиною 1,5 мм (рис. 5), показали наступне. Структура швів аустенітна (рис. 6), відсоток  $\alpha$ -фази не перевищує 0,3%. Оскільки в аустенітних сталях внаслідок високої стабільності аустеніту перекристалізація, як правило, не відбувається, то вторинна структура зберігає характер первинної структури литого металу. В центрі шва формується зона рівновісних кристалітів, по боках кристаліти мають витягнуту форму. Твердість шва на різних ділянках не відрізняється і становить HV<sub>0,05</sub> – 204–221. Зона термічного впливу має аустенітну структуру і твердість HV<sub>0,05</sub> – 192–212. Твердість основного металу при цьому становить HV<sub>0,05</sub> – 210–214.

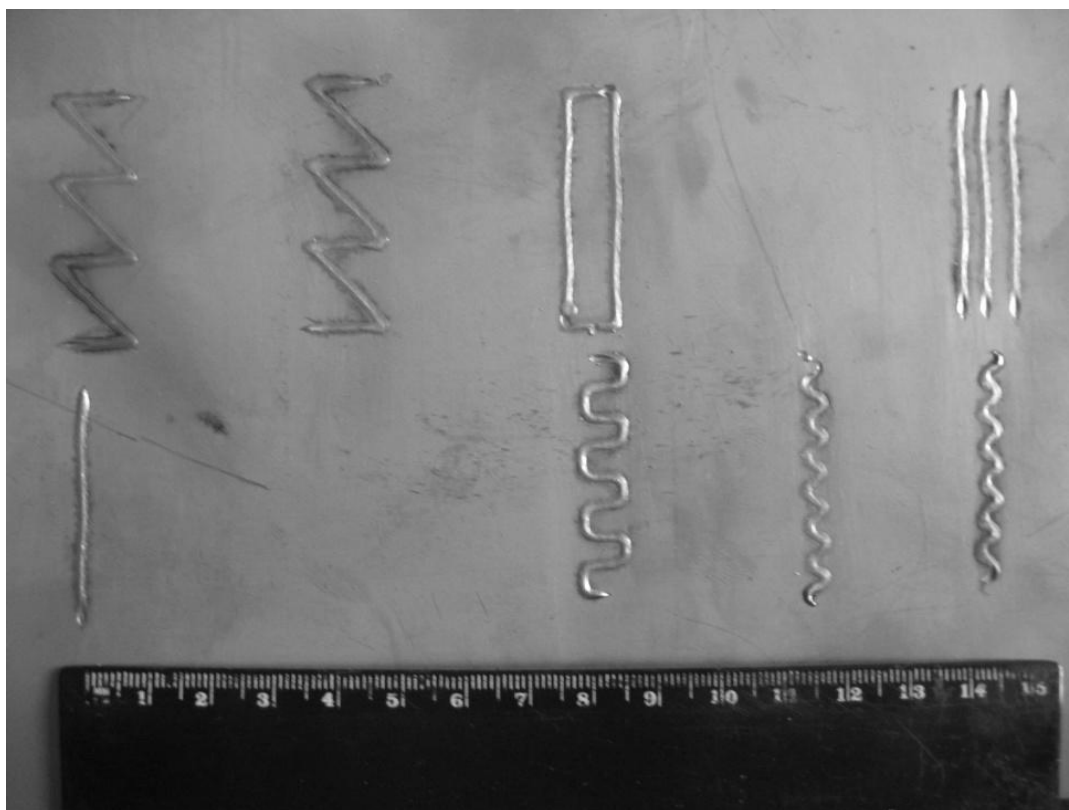


Рис. 4. Зовнішній вигляд зварного з'єднання внапустку сталі 08X18H10T товщиною 1,5 + 1,5 мм

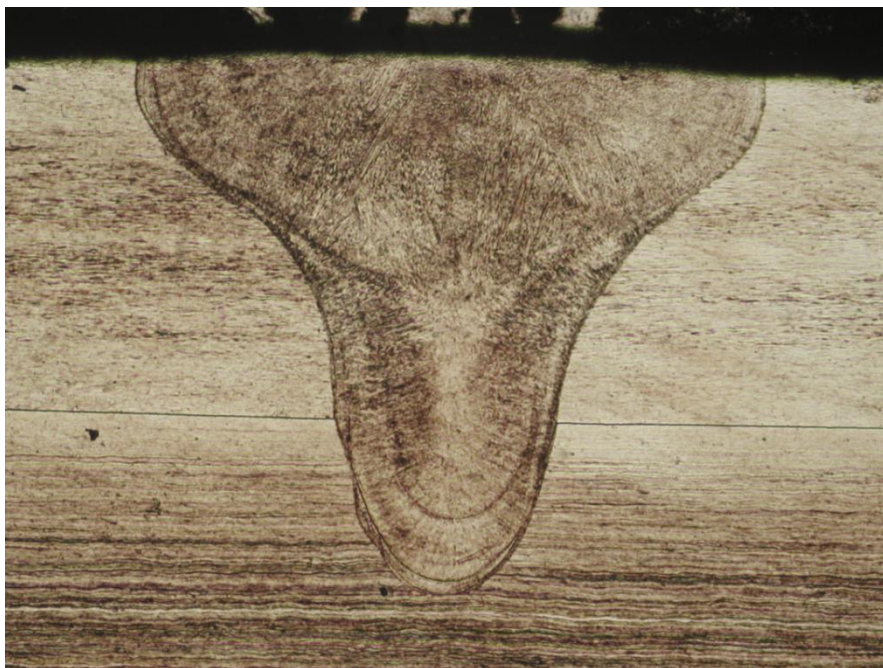


Рис. 5 Макроструктура зварного з'єднання внапустку сталі 08X18N10T товщиною 1,5 + 1,5 мм

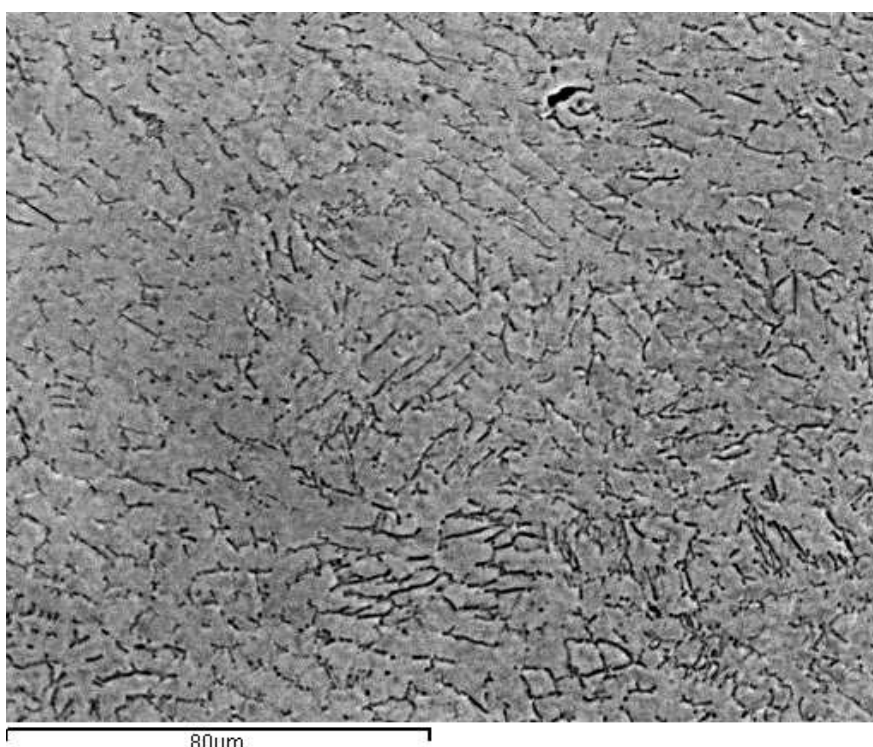


Рис. 6. Мікроструктура зварного з'єднання внапусток сталі 08X18N10T товщиною 1,5 + 1,5 мм

Проведені механічні випробування на зсув, зразків, отриманих під час експериментів. Схему випробування на зріз зварного з'єднання було вибрано згідно [9]. Проведення механічних випробувань зварних з'єднань вищевказаних зразків відбувалося відповідно до ГОСТ 6996-66 «Зварні з'єднання. Методи визначення механічних властивостей» на універсальній сервогідроліній машині «MTS-318.25». При температурі  $t = 20^{\circ}\text{C}$  та швидкості переміщення захвату 10 мм/хв. Проведені випробування на зсув показали, що зусилля зсуву для



одержаних зварних з'єднань складає 13,5–15,5 кН, як й для зварних з'єднань, одержаних за допомогою автоматичного лазерного зварювання. Це свідчить про перспективність використання розробленої головки для вирішення задач лазерного зварювання у різних галузях промисловості.

Малі масогабаритні характеристики розробленого інструменту (вага безпосередньо самого інструменту не перевищує 3,5 кг), дозволяють виконувати зварювання у різних просторових положеннях. Проведені металографічні дослідження та механічні випробування зварних з'єднань показали, що характеристики одержаних зварних з'єднань не гірші за характеристики зварних з'єднань, одержаних за допомогою автоматичного лазерного зварювання. Це свідчить про перспективність використання розробленого інструменту для вирішення задач лазерного зварювання конструкцій у різних галузях промисловості (вагонобудуванні, суднобудуванні, авіабудуванні тощо). Конструкція пристрою дозволяє у подальшому проводити удосконалення концепції інструменту для ручного лазерного зварювання за допомогою встановлення системи автоматичного розпізнавання зварювального стику.

### ВИСНОВКИ

1. Малі масогабаритні характеристики розробленого ручного інструменту дозволяють оператору виконувати ручне лазерне зварювання конструкцій у різних просторових положеннях.

2. Проведені металографічні дослідження та механічні випробування одержаних зварних з'єднань, свідчать про те, що рівень механічних характеристик зварних з'єднань не нижчий за рівень характеристик зварних з'єднань, одержаних за допомогою автоматичного лазерного зварювання. Це свідчить про перспективність використання розробленого інструменту для вирішення багатьох задач лазерного зварювання сталей у різних галузях промисловості.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бернадский В. Н. Сварочное производство и рынок сварочной техники в современной экономике / В. Н. Бернадский, О. К. Маковецкая // Автоматическая сварка. – 2007. – № 1. – С. 44–48.
2. Nikolov M. Trends in Development of Weld Overlaying During The 21ST Century / M. Nikolov // Acta Technologica Agriculturae. – 2014. – Volume 17. – Issue 2. – P. 35–38.
3. Smith I. Advanced joining techniques for the 21st century [Електронний ресурс] / I. Smith, G. Shi, R. Freeman, F. Smith. – Режим доступу : <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/published-papers/advanced-joining-techniques-for-the-21st-century/>. – Назва з екрана.
4. Бернадский В. Н. Современный рынок лазерной техники для сварки и обработки материалов / В. Н. Бернадский, В. Д. Шелягин, О. К. Маковецкая // Автоматическая сварка. – 2007. – № 10. – С. 53–59.
5. Annual Laser Market Review & Forecast: Can laser markets trump a global slowdown? [Електронний ресурс] / G. Overton, A. Noguee, D. A. Belforte, C. Holton. – Режим доступу : <http://www.laserfocusworld.com/articles/print/volume-52/issue-01/features/annual-laser-market-review-forecast-can-laser-markets-trump-a-global-slowdown.html>. – Назва з екрана.
6. Drechsel J. Handgeführter Laserschweißkopf für fasergekoppelten Hochleistungsdiodenlaser im kW-Bereich / J. Drechsel, H. Exner // Lasermagazin. – Issue 3. – 1999. – S. 26.
7. Drechsel J. Materialbearbeitung mit handgeführtem Bearbeitungsoptikkopf [Електронний ресурс] / J. Drechsel. – Режим доступу : [www.laser.hs-mittweida.de/3\\_forschung/30\\_makro/beispiele/default.asp?content=\\_HDL-Kopf.html](http://www.laser.hs-mittweida.de/3_forschung/30_makro/beispiele/default.asp?content=_HDL-Kopf.html). – Назва з екрана.
8. Mobile Laseranwendungen im Schiffbau – von der Vision zur Realisierung [Електронний ресурс] / F. Roland, G. Pethan, A. Dominguez, J. Neubert, H. Staufer, C. Rasmussen, J.O. Nokleby, L. Mraz, R. Ahlers, C. Schmid, O. Madsen, A. Sumpf, U. Jasnau // Vorträge der gleichnamigen Großen Schweißtechnischen Tagung in Aachen vom 20. bis 22. September 2006. – Режим доступу : [http://www.ltz.de/fileadmin/user\\_upload/Rostock/FuE/Veroeffentlichungen/vor2006/Mobile\\_Laseranwendungen\\_im\\_Schiffbau.pdf](http://www.ltz.de/fileadmin/user_upload/Rostock/FuE/Veroeffentlichungen/vor2006/Mobile_Laseranwendungen_im_Schiffbau.pdf). – Назва з екрана.
9. Кушниренко Б. Н. Альбом образцов для испытаний металлов и норм времени на их изготовление / Б. Н. Кушниренко, В. Н. Иванов, В. М. Сиклитенко. – ИЭС им. Е. О. Патона АН УССР, 1986. – 201 с.