

E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU
Laser Technology Research Institute of the NTUU «KPI»
Laser Center of Zhejiang University of Technology
International Association «Welding»

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ
НИИ лазерной техники и технологии НТУУ «КПИ»
Лазерный центр Дзеньянского технологического университета
Международная Ассоциация «Сварка»

Seventh International Conference
Седьмая Международная конференция

**LASER TECHNOLOGIES
IN WELDING AND MATERIALS PROCESSING**

**ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СВАРКЕ
И ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ**

Program and Abstracts of Papers
14–18 September, 2015, «Kurortny» hotel, Odessa, Ukraine

Программа и тезисы докладов
14–18 сентября 2015 г., отель «Курортный», Одесса, Украина

Organizer:
International Association «Welding»
Организатор:
Международная Ассоциация «Сварка»

Киев 2015 Kiev

Лазерные технологии в сварке и обработке материалов: Тез. докл. Седьмой Межд. конф. — Киев: Международная Ассоциация «Сварка», 2015. — 48 стр.

Сайт конференции:

www.pwi-scientists/rus/lwmp2015

www.pwi-scientists/eng/lwmp2015

Труды конференции «Лазерные технологии в сварке и обработке материалов» за 2003, 2005, 2007, 2009, 2011 и 2013 гг. в открытом доступе: www.patonpublishinghouse.com/rus/proceedings/ltwmp

Издательский проект *А.Т. Зельниченко*

Компьютерная верстка *Т.Ю. Снегирева*

Перевод *Е.С. Курочко*

Свидетельство серия ДК, № 3497 от 4 июня 2009 г.

Информационная поддержка — журналы



«Автоматическая сварка»

www.patonpublishinghouse.com/rus/journals/as



«The Paton Welding Journal»

www.patonpublishinghouse.com/rus/journals/tpwj

© Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, 2015

© Международная Ассоциация «Сварка», 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ	7
ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ	23
<i>Bo Li, Zhihong Li, Lijing Yang, Jianhua Yao.</i> Microstructure and Wear-Resistant Properties of WC/SS316L Composite Coatings Prepared with Supersonic Laser Deposition	25
<i>Бушма А.И.</i> Современное состояние гибридной лазерно-плазменной сварки	25
<i>Wang Liang, Yong Hu, Shiyang Song, Sanpin Lai, Jianhua Yao.</i> Effect of Electric-Magnetic Composite Field on WC Particulate Reinforced Metal Matrix Composites Layers by Laser Melt Injection	26
<i>Dzhemelinskiy V., Lesyk D., Saliy S., Danyleiko O.</i> Finishing of Small-Sized Medical Products of Complex Shape	26
<i>Драган Г.С., Колесников К.В.</i> Неидеальные взаимодействия конденсированных частиц в дымовой плазме лазерного пробоя	27
<i>Kovalenko V.</i> Development of 3D Additive Processing for Product Manufacturing in Modern Industry	27
<i>Коваленко Д., Кривцун И., Коваленко И., Райзген У., Герхардс Б., Забиоров А.</i> Синергетическая активация процесса Nd(Yb):YAG лазерной сварки сталей с использованием ТИГ дуги (ТИГАЛ процесс)	28
<i>Kovalenko V., Yao J., Anyakin M., Zang Q., Zhuk R., Hu H.</i> Advancements in Joint Research of Laser Cladding at Components Manufacturing	28
<i>Krivtsun I., Abdulakh V., Svirzhevska M., Reisgen U., Gerhards B.</i> Metal Penetration in TIG, Laser and Hybrid (TIG + Laser) Spot Welding. Part I – Experimental Study	29
<i>Krivtsun I., Hubaiev K., Krikent I., Semenov O., Reisgen U., Zabiroy A.</i> Metal Penetration in TIG, Laser and Hybrid (TIG + Laser) Spot Welding. Part II – Mathematical Modelling	29
<i>Krivtsun I., Krikent I., Demchenko V., Reisgen U., Zabiroy A., Mokrov O.</i> Interaction of CO ₂ -Laser Beam with Electric Arc Plasma in Hybrid (TIG + Laser) Welding	30
<i>Krivtsun I., Reisgen U., Gerhards B., Zabiroy A.</i> Experimental Research of Hybrid Welding Process in Combination of GTA with CO ₂ - or Yb:YAG-Laser Beam	30
<i>Кривцун И.В., Сидорец В.Н., Хаскин В.Ю., Коржик В.Н., Бушма А.И., Луо Зию.</i> Повышение эффективности гибридной сварки алюминиевых сплавов	31
<i>Lesyk D., Martinez S., Dzhemelinskiy V., Mordyuk B., Lamikiz A., Prokopenko G.</i> Surface Hardening of the Steel Parts by Laser and Ultrasonic Treatment	31
<i>Маркашова Л.И., Позняков В.Д., Шелягин В.Д., Бердникова Е.Н., Алексеенко Т.А.</i> Структура, прочность и трещиностойкость соединений стали 14XГН2МДАФБ при гибридной лазерно-дуговой сварке	32
<i>Makhnenko O., Muzhichenko A.</i> Numerical Simulation of Residual Stresses and Sensitization Induced by Laser Beam Welding in a 12 % Cr Stainless Steel Pipe	33

<i>Пасечникова Н.В., Науменко В.А., Уманец Н.Н.</i> Прочность хориоретинального соединения после воздействия высокочастотной электросварки биологических тканей и диодной эндолазерной коагуляции	33
<i>Piekarska W., Kubiak M., Saternus Z.</i> Numerical Modelling of Structural Composition in Laser Welded Steel Elements by Using Yb:YAG Laser	34
<i>Позняков В.Д., Шелягин В.Д., Завдоев А.В., Жданов С.Л., Максименко А.А., Бернацкий А.В.</i> Влияние термических циклов сварки на структуру и свойства соединений высокопрочной стали, выполненных с помощью гибридной лазерно-дуговой сварки	34
<i>Романов Б.С., Головкин Л.Ф., Лутай А.М.</i> Лазерне формоутворення листових деталей з термічно зміцнених матеріалів	35
<i>Сом А.И., Кривцун И.В.</i> Плазма + лазер – новые возможности плазменно-порошковой наплавки	35
<i>Худецкий И.Ю., Кривцун И.В., Сухин И.А.</i> Переваги застосування когерентного та некогерентного випромінювання, яке використовується в коагуляторах для обробки ран	36
<i>Шевченко С.Б., Кривцун И.В., Головкин Л.Ф., Лутай А.Н., Слободянюк В.П.</i> Возможности применения лазерной обработки для повышения качества электродной проволоки	37
<i>Шелягин В.Д., Курило В.А., Шуба И.В., Бернацкий А.В., Ванг Чуншенг, Ван Динда, Чжен Шухуей.</i> Лазерна ручна установка для зварювання виробів залізничного транспорту	37
<i>Шелягин В.Д., Саенко В.Я., Полишко А.А., Рябинин В.А., Бернацкий А.В., Сиора А.В., Туник А.Ю., Степанюк С.Н., Клочков И.Н., Григоренко С.Г.</i> Качество сварных соединений титана ВТ1-0 ДШП, формируемых при лазерной сварке в атмосфере с добавлением азота	38
<i>Шелягин В.Д., Хаскин В.Ю., Бернацкий А.В., Сиора А.В., Палагеша А.Н.</i> Гибридная лазерно-дуговая сварка алюминиевых сплавов	39
<i>Шелягин В.Д., Хаскин В.Ю., Бернацкий А.В., Сиора А.В., Палагеша А.Н., Туник А.Ю., Гончаренко Е.И., Чепурной А.Д.</i> Разработка технологии лазерной сварки корпусных элементов грузовых железнодорожных вагонов	39
<i>Jianhua Yao, Kovalenko V.</i> Research Progress of Supersonic Laser Deposition Technology	40
СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ	41
<i>Анякин М.И., Сердитов О.Т., Ключников Ю.В., Моисеенко Г.С., Піжов М.І.</i> Підвищення ефективності робочого інструменту	43
<i>Зельниченко А.Т., Романова И.Ю.</i> Лазерные технологии в сварке и обработке материалов: анализ по материалам публикаций в сварочных журналах и трудах конференций LTWMP	43
<i>Прудников А.М., Варюхин В.Н., Завдоев А.В.</i> Синтез сверхэнергетических структур при импульсном лазерном облучении наноструктурных материалов на основе углерода	43
<i>Iurzenko M.V., Tarasenko O.O., Demchenko V.L., Shadrin A.O., Palagesha A.M., Fedoseeva O.V., Menzheres M.G.</i> Features and Behavior of Plastics at Laser Welding	44
<i>Гаврилов Д.С., Махненко О.В.</i> Прогнозирование сварочных деформаций рабочего колеса радиального нагнетателя НР-7500 при дуговой и лазерной технологии сварки	45
ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ	47

CONTENTS

CONFERENCE PROGRAM	15
PLENARY PAPERS	23
<i>Bo Li, Zhihong Li, Lijing Yang, Jianhua Yao.</i> Microstructure and Wear-Resistant Properties of WC/SS316L Composite Coatings Prepared with Supersonic Laser Deposition	25
<i>Bushma A.I.</i> Current Condition of Laser-Plasma Hybrid Welding	25
<i>Wang Liang, Yong Hu, Shiyang Song, Sanpin Lai, Jianhua Yao.</i> Effect of Electric-Magnetic Composite Field on WC Particulate Reinforced Metal Matrix Composites Layers by Laser Melt Injection	26
<i>Dzhemelinskiy V., Lesyk D., Saliy S., Danyleiko O.</i> Finishing of Small-Sized Medical Products of Complex Shape	26
<i>Dragan G.S., Kolesnikov K.V.</i> Nonideal Interaction of Condensed Particles in Dusty Plasma of Laser-Induced Breakdown	27
<i>Kovalenko V.</i> Development of 3D Additive Processing for Product Manufacturing in Modern Industry	27
<i>Kovalenko D., Kriotsun I., Kovalenko I., Reisgen U., Gerhards B., Zabiroy A.</i> Synergetic Activation of Nd(Yb):YAG Laser Welding of Steels with TIG Arc (TIGAL Process)	28
<i>Kovalenko V., Yao J., Anyakin M., Zang Q., Zhuk R., Hu H.</i> Advancements in Joint Research of Laser Cladding at Components Manufacturing	28
<i>Kriotsun I., Abdulakh V., Svirzhevskaya M., Reisgen U., Gerhards B.</i> Metal Penetration in TIG, Laser and Hybrid (TIG + Laser) Spot Welding. Part I – Experimental Study	29
<i>Kriotsun I., Hubaiev K., Krikent I., Semenov O., Reisgen U., Zabiroy A.</i> Metal Penetration in TIG, Laser and Hybrid (TIG + Laser) Spot Welding. Part II – Mathematical Modelling	29
<i>Kriotsun I., Krikent I., Demchenko V., Reisgen U., Zabiroy A., Mokrov O.</i> Interaction of CO ₂ -Laser Beam with Electric Arc Plasma in Hybrid (TIG + Laser) Welding	30
<i>Kriotsun I., Reisgen U., Gerhards B., Zabiroy A.</i> Experimental Research of Hybrid Welding Process in Combination of GTA with CO ₂ - or Yb:YAG-Laser Beam	30
<i>Kriotsun I.V., Sidorets V.N., Khaskin V.Yu., Korzhyk V.N., Bushma A.I., Luo Ziyi.</i> Increase of Efficiency of Hybrid Welding of Aluminum Alloys	31
<i>Lesyk D., Martinez S., Dzhemelinskiy V., Mordyuk B., Lamikiz A., Prokopenko G.</i> Surface Hardening of the Steel Parts by Laser and Ultrasonic Treatment	31
<i>Markashova L.I., Poznyakov V.D., Shelyagin V.D., Berdnikova E.N., Alekseenko T.A.</i> Structure, Strength and Crack Resistance of Joints from 14KhGN2MDAFB Steel in Laser-Arc Hybrid Welding	32
<i>Makhnenko O., Muzhichenko A.</i> Numerical Simulation of Residual Stresses and Sensitization Induced by Laser Beam Welding in a 12 % Cr Stainless Steel Pipe	33

<i>Pasechnikova N.V., Naumenko V.A., Umanets N.N.</i> Strength of Chorioretinal Joints after Influence of High-Frequency Welding of Biological Tissues and Diode Endolaser Coagulation	33
<i>Piekarska W., Kubiak M., Saternus Z.</i> Numerical Modelling of Structural Composition in Laser Welded Steel Elements by Using Yb:YAG Laser	34
<i>Poznyakov V.D., Shelyagin V.D., Zavidoveev A.V., Zhdanov L.S., Maksimenko A.A., Bernatsky A.V.</i> Effect of Thermal Welding Cycles on Structure and Properties of Joints from High-Strength Steel Produced using Laser-Arc Hybrid Welding	34
<i>Romanov B.S., Golovko L.F., Lutay A.M.</i> Laser Metal Forming of Sheet Parts from Heat-Strengthened Materials	35
<i>Som A.I., Krivtsun I.V.</i> Plasma + Laser – New Capabilities of Plasma-Powder Surfacing	35
<i>Khudetsky I.Yu., Krivtsun I.V., Sukhin I.A.</i> Advantages of Application of Coherent and Noncoherent Coagulators for Wounds Treatment	36
<i>Shevchenko S.B., Krivtsun I.V., Golovko L.F., Lutay A.N., Slobodyanyuk V.P.</i> Capabilities of Application of Laser Treatment for Increasing Quality of Electrode Wire	37
<i>Shelyagin V.D., Kurilo V.A., Shuba I.V., Bernatsky A.V., Wang Chunsheng, Wan Dinda, Zhen Shukhuey.</i> Laser Manual Machine for Welding of Railway Transport Products	37
<i>Shelyagin V.D., [Saenko V.Ya.], Polishko A.A., Ryabinin V.A., Bernatsky A.V., Siora A.V., Tunik A.Yu., Stepanyuk S.N., Klochkov I.N., Grigorenko S.G.</i> Quality of VT1-0 DShP Titanium Welded Joints Formed at Laser Welding in Atmosphere with Nitrogen Addition	38
<i>Shelyagin V.D., Khaskin V.Yu., Bernatsky A.V., Siora A.V., Palagesha A.N.</i> Laser-Arc Hybrid Welding of Aluminum Alloys	39
<i>Shelyagin V.D., Khaskin V.Yu., Bernatsky A.V., Siora A.V., Palagesha A.N., Tunik A.Yu., Goncharenko E.I., Chepurnoy A.D.</i> Development of Technologies for Laser Welding of Body Elements of Freight Railway Cars	39
<i>Jianhua Yao, Kovalenko V.</i> Research Progress of Supersonic Laser Deposition Technology	40
POSTER PAPERS	41
<i>Anyakin M.I., Serditov O.T., Klyuchnikov Yu.V., Moiseenko G.S., Pizhov M.I.</i> Increase of working tool efficiency	43
<i>Zelnichenko A.T., Romanova I.Yu.</i> Laser Technologies in Welding and Material Processing: Analysis Based on Materials Published in Welding Journals and Proceedings of LTWMP Conferences	43
<i>Prudnikov A.M., Varyukhin V.N., Zavidoveev A.V.</i> Synthesis of Super-Energy Structures in Pulse Laser Irradiation of Nanostructure Carbon-Based Materials	43
<i>Iurzhenko M.V., Tarasenko O.O., Demchenko V.L., Shadrin A.O., Palagesha A.M., Fedoseeva O.V., Menzheres M.G.</i> Features and Behavior of Plastics at Laser Welding	44
<i>Gavrilov D.S., Makhmenko O.V.</i> Prediction of Welding Deformations of Rotor of Radial Pump NR-7500 in Arc and Laser Welding Technologies	45
NAME INDEX	48

ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ

14 сентября, понедельник

10:00 – 18:00	Приезд, регистрация и размещение участников конференции
19:00 – 21:00	Прием по поводу открытия конференции

15 сентября, вторник

09:30 – 11:00	Пленарные доклады
11:00 – 11:15	Кофе-брейк
11:15 – 12:45	Пленарные доклады
13:00 – 14:30	Обед
14:30 – 16:00	Пленарные доклады
16:00 – 16:15	Кофе-брейк
16:15 – 17:15	Пленарные доклады

16 сентября, среда

09:30 – 11:00	Пленарные доклады
11:00 – 11:15	Кофе-брейк
11:15 – 12:45	Пленарные доклады
13:00 – 14:30	Обед
14:30 – 16:00	Пленарные доклады
16:00 – 16:15	Кофе-брейк
16:15 – 17:15	Пленарные доклады
20:00 – 23:00	Дружеский ужин

17 сентября, четверг

09:30 – 11:00	Пленарные доклады
11:00 – 11:15	Кофе-брейк
11:15 – 12:45	Пленарные доклады
13:00 – 14:30	Обед
14:30 – 16:00	Стендовые доклады

18 сентября, пятница

09:00 – 11:00	Круглый стол «Перспективные направления развития исследований в области лазерных технологий»
---------------	--

15 сентября, вторник

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Председатели – В.С. Коваленко, И.В. Кривцун

- 09:30 – 10:00 **Открытие конференции**
Development of 3D Additive Processing for Product Manufacturing in Modern Industry
 V. Kovalenko^{1, 2}
¹*Laser Technology Research Institute of NTUU «KPI», Kiev, Ukraine*
²*Research Center of Laser Processing Technology and Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou, P.R. China*
- 10:00– 10:30 **Research Progress of Supersonic Laser Deposition Technology**
 Jianhua Yao^{1, 2}, V. Kovalenko^{1, 2, 3}
¹*Research Center of Laser Processing Technology and Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou, P.R. China*
²*Zhejiang Provincial Collaborative Innovation Center of High-end Laser Manufacturing Equipment, Hangzhou, P.R. China*
³*Laser Technology Research Institute of NTUU «KPI», Kiev, Ukraine*
- 10:30 – 11:00 **Interaction of CO₂-Laser Beam with Electric Arc Plasma in Hybrid (TIG + Laser) Welding**
 I. Krivtsun¹, I. Krikent¹, V. Demchenko¹, U. Reisgen², A. Zabirov², O. Mokrov²
¹*E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine*
²*RWTH Aachen University, ISF – Welding and Joining Institute, Aachen, Germany*
- 11:00 – 11:15 **Кофе-брейк**
- 11:15 – 11:45 **Numerical Modelling of Structural Composition in Laser Welded Steel Elements by Using Yb:YAG Laser**
 W. Piekarska, M. Kubiak, Z. Saternus
Institute of Mechanics and Machine Design Foundations, Czestochowa University of Technology, Poland
- 11:45 – 12:15 **Повышение эффективности гибридной сварки алюминиевых сплавов**
 И.В. Кривцун^{1, 2}, В.Н. Сидорец², В.Ю. Хаскин², В.Н. Коржик^{1, 2}, А.И. Бушма², Luo Ziyi¹
¹*Гуандонский Генеральный научно-исследовательский институт промышленных технологий (Гуанчжоуский научно-исследовательский институт цветных металлов), Китай*
²*Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Киев, Украина*
- 12:15 – 12:45 **Microstructure and Wear-Resistant Properties of WC/SS316L Composite Coatings Prepared with Supersonic Laser Deposition**
 Bo Li^{1, 2}, Zhihong Li^{1, 2}, Lijing Yang^{1, 2}, Jianhua Yao^{1, 2}
¹*Research Center of Laser Processing Technology and Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou, P.R. China*
²*Zhejiang Provincial Collaborative Innovation Center of High-end Laser Manufacturing Equipment, Hangzhou, P.R. China*
- 13:00 – 14:30 **Обед**

Председатель – В.Ф. Демченко

- 14:30 – 15:00 **Лазерна ручна установка для зварювання виробів залізничного транспорту**
 В.Д. Шелягін¹, В.А. Курило¹, І.В. Шуба¹, А.В. Бернацький¹, Ванг Чуншенг², Ван Дінда³, Чжен Шухуей³
¹Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ, Київ, Україна
²Чанчунський вагонобудівний завод, Чанчунь, Китай
³Китайсько-російський технопарк, Чанчунь, Китай
- 15:00 – 15:30 **Возможности применения лазерной обработки для повышения качества электродной проволоки**
 С.Б. Шевченко¹, І.В. Кривцун², Л.Ф. Головка¹, А.Н. Лутай¹, В.П. Слободянюк³
¹Национальный технический университет «КПИ», Киев, Украина
²Інститут електросварки ім. Е.О. Патона НАНУ, Киев, Украина
³ПАТ «ПлазмаТек», Винница, Украина
- 15:30 – 16:00 **Прочность хориоретинального соединения после воздействия высокочастотной электросварки биологических тканей и диодной эндолазерной коагуляции**
 Н.В. Пасечникова, В.А. Науменко, Н.Н. Уманец
 Інститут глазных болезней и тканевой терапии ім. В.П. Филатова НАМНУ, Одесса, Украина
- 16:00 – 16:15 **Кофе-брейк**
- 16:15 – 16:45 **Numerical Simulation of Residual Stresses and Sensitization Induced by Laser Beam Welding in a 12 % Cr Stainless Steel Pipe**
 О. Makhnenko, А. Muzhichenko
 E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine
- 16:45 – 17:15 **Современное состояние гибридной лазерно-плазменной сварки**
 А.И. Бушма
 Інститут електросварки ім. Е.О. Патона НАНУ, Киев, Украина

16 сентября, среда

Председатель – Л.Ф. Головка

- 09:30 – 10:00 **Effect of Electric-Magnetic Composite Field on WC Particulate Reinforced Metal Matrix Composites Layers by Laser Melt Injection**
 Wang Liang^{1, 2}, Yong Hu^{1, 2}, Shiyong Song^{1, 2}, Sanpin Lai^{1, 2}, Jianhua Yao^{1, 2}
¹Research Center of Laser Processing Technology and Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou, P.R. China
²Zhejiang Provincial Collaborative Innovation Center of High-end Laser Manufacturing Equipment, Hangzhou, P.R. China

- 10:00 – 10:30 **Metal Penetration in TIG, Laser and Hybrid (TIG + Laser) Spot Welding. Part I — Experimental Study**
I. Krivtsun^{1,2}, V. Abdulakh², M. Svirzhevskaya¹, U. Reisgen³, B. Gerhards³
¹National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev, Ukraine
²E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine
³RWTH Aachen University, ISF — Welding and Joining Institute, Aachen, Germany
- 10:30 – 11:00 **Metal Penetration in TIG, Laser and Hybrid (TIG + Laser) Spot Welding. Part II — Mathematical Modelling**
I. Krivtsun¹, K. Hubaiev¹, I. Krikent¹, O. Semenov¹, U. Reisgen², A. Zabirow²
¹E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine
²RWTH Aachen University, ISF — Welding and Joining Institute, Aachen, Germany
- 11:00 – 11:15 **Кофе-брейк**
- 11:15 – 11:45 **Неидеальные взаимодействия конденсированных частиц в дымовой плазме лазерного пробоя**
Г.С. Драган, К.В. Колесников
Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова, Одесса, Украина
- 11:45 – 12:15 **Finishing of Small-Sized Medical Products of Complex Shape**
V. Dzhemelinskiy, D. Lesyk, S. Saliy, O. Danyleiko
National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev, Ukraine
- 12:15 – 12:45 **Синергетическая активация процесса Nd(Yb):YAG лазерной сварки сталей с использованием ТИГ дуги (ТИГАЛ процесс)**
Д. Коваленко¹, И. Кривцун¹, И. Коваленко¹, У. Райзген², Б. Герхардс², А. Забиrow²
¹Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Киев, Украина
²RWTH Аахенский Университет, ISF — Институт сварки и соединения материалов, Аахен, Германия
- 13:00 – 14:30 **Обед**

Председатель – И.В. Кривцун

- 14:30 – 15:00 **Advancements in Joint Research of Laser Cladding at Components Manufacturing**
V. Kovalenko^{1,2}, J. Yao¹, M. Anyakin², Q. Zang¹, R. Zhuk², H. Hu¹
¹Research Center of Laser Processing Technology and Engineering, Zhejiang University of Technology, P.R. China
²Laser Technology Research Institute of the National Technical University, Kiev, Ukraine
- 15:00 – 15:30 **Структура, прочность и трещиностойкость соединений стали 14ХГН2МДАФБ при гибридной лазерно-дуговой сварке**
Л.И. Маркашова, В.Д. Позняков, В.Д. Шелягин, Е.Н. Бердникова, Т.А. Алексеенко
Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Киев, Украина
- 15:30 – 16:00 **Влияние термических циклов сварки на структуру и свойства соединений высокопрочной стали, выполненных с помощью гибридной лазерно-дуговой сварки**
В.Д. Позняков, В.Д. Шелягин, А.В. Завдоев, С.Л. Жданов, А.А. Максименко, А.В. Бернацкий
Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Киев, Украина

- 16:00 – 16:15 **Кофе-брейк**
- 16:15 – 16:45 **Разработка технологии лазерной сварки корпусных элементов грузовых железнодорожных вагонов**
 В.Д. Шелягин¹, В.Ю. Хаскин¹, А.В. Бернацкий¹, А.В. Сиора¹, А.Н. Палагеша¹, А.Ю. Туник¹, Е.И. Гончаренко¹, А.Д. Чепурной²
¹*Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Киев, Украина*
²*Научно-инженерный центр УК «РТХ», Мариуполь, Украина*
- 16:45 – 17:15 **Плазма + лазер — новые возможности плазменно-порошковой наплавки**
 А.И. Сом¹, И.В. Кривцун²
¹*ООО фирма «Плазма-Мастер Лтд», Киев, Украина*
²*Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Киев, Украина*

17 сентября, четверг

Председатель – В.Н. Сидорец

- 09:30 – 10:00 **Качество сварных соединений титана ВТ1-0 ДШП, формируемых при лазерной сварке в атмосфере с добавлением азота**
 В.Д. Шелягин, [В.Я. Саенко], А.А. Полишко, В.А. Рябинин, А.В. Бернацкий, А.В. Сиора, А.Ю. Туник, С.Н. Степанюк, И.Н. Клочков, С.Г. Григоренко
Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Киев, Украина
- 10:00 – 10:30 **Лазерне формоутворення листових деталей з термічно зміцнених матеріалів**
 Б.С. Романов, Л.Ф. Головка, А.М. Лутай
 НТУУ «КПІ», Київ, Україна
- 10:30 – 11:00 **Surface Hardening of the Steel Parts by Laser and Ultrasonic Treatment**
 D. Lesyk¹, S. Martinez², V. Dzhemelinskiy¹, B. Mordyuk³, A. Lamikiz², G. Prokopenko³
¹*National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev, Ukraine*
²*University of the Basque Country, Bilbao, Spain*
³*Kurdyumov Institute for Metal Physics of NASU, Kiev, Ukraine*
- 11:00 – 11:15 **Кофе-брейк**
- 11:15 – 11:45 **Experimental Research of Hybrid Welding Process in Combination of GTA with CO₂- or Yb:YAG-Laser Beam**
 I. Krivtsun¹, U. Reisgen², B. Gerhards², A. Zabirow²
¹*E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine*
²*RWTH Aachen University, ISF – Welding and Joining Institute, Aachen, Germany*
- 11:45 – 12:15 **Гибридная лазерно-дуговая сварка алюминиевых сплавов**
 В.Д. Шелягин, В.Ю. Хаскин, А.В. Бернацкий, А.В. Сиора, А.Н. Палагеша
Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Киев, Украина

12:15 – 12:45	Переваги застосування когерентного та некогерентного випромінювання, яке використовується в коагуляторах для обробки ран І.Ю. Худецький ¹ , І.В. Кривцун ² , І.А. Сухін ³ ¹ <i>НТУУ «КПІ», Київ, Україна</i> ² <i>Інститут електросварювання ім. Є.О. Патона НАНУ, Київ, Україна</i> ³ <i>Вузлова залізнична лікарня №1 «Дарниця», Київ, Україна</i>
13:00 – 14:30	Обед
14:30 – 16:00	Сессия стендовых докладов

18 сентября, пятница

09:00 – 11:00	Круглый стол «Перспективные направления развития исследований в области лазерных технологий»
---------------	---

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

1. **Підвищення ефективності робочого інструменту**
М.І. Анякін, О.Т. Сердітов, Ю.В. Ключников, Г.С. Моїсеєнко, М.І. Піжов
НТУУ «КПІ», Київ, Україна
2. **Лазерные технологии в сварке и обработке материалов: анализ по материалам публикаций в сварочных журналах и трудах конференций LTWMP**
А.Т. Зельниченко, И.Ю. Романова
Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Киев, Украина
3. **Синтез сверхэнергетических структур при импульсном лазерном облучении наноструктурных материалов на основе углерода**
А.М. Прудников, В.Н. Варюхин, А.В. Завдоев
Донецкий физико-технический институт НАНУ, Киев, Украина
4. **Features and Behavior of Plastics at Laser Welding**
M.V. Iurzhenko, O.O. Tarasenko, V.L. Demchenko, A.O. Shadrin, A.M. Palagesha, O.V. Fedoseeva, M.G. Menzheres
E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine
5. **Прогнозирование сварочных деформаций рабочего колеса радиального нагнетателя НР-7500 при дуговой и лазерной технологии сварки**
Д.С. Гаврилов, О.В. Махненко
Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Киев, Украина

CONFERENCE PROGRAM

September 14, Monday

10:00 – 18:00 Arrival, registration, accommodation of the Conference participants
19:00 – 21:00 Welcome reception

September 15, Tuesday

09:30 – 11:00 Plenary papers
11:00 – 11:15 Coffee break
11:15 – 12:45 Plenary papers
13:00 – 14:30 Lunch
14:30 – 16:00 Plenary papers
16:00 – 16:15 Coffee break
16:15 – 17:15 Plenary papers

September 16, Wednesday

09:30 – 11:00 Plenary papers
11:00 – 11:15 Coffee break
11:15 – 12:45 Plenary papers
13:00 – 14:30 Lunch
14:30 – 16:00 Plenary papers
16:00 – 16:15 Coffee break
16:15 – 17:15 Plenary papers
20:00 – 23:00 Banquet

September 17, Thursday

09:30 – 11:00 Plenary papers
11:00 – 11:15 Coffee break
11:15 – 12:45 Plenary papers
13:00 – 14:30 Lunch
14:30 – 16:00 Poster papers

September 18, Friday

09:00 – 11:00 Round table «Perspective directions of development of investigations in the field of laser technologies»

15 September, Tuesday

PLENARY PAPERS

Chairman – V.S. Kovalenko, I.V. Krivtsun

- 09:30 – 10:00 **Opening of the Conference. Development of 3D Additive Processing for Product Manufacturing in Modern Industry**
V. Kovalenko^{1, 2}
¹*Laser Technology Research Institute of NTUU «KPI», Kiev, Ukraine*
²*Research Center of Laser Processing Technology and Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou, P.R. China*
- 10:00 – 10:30 **Research Progress of Supersonic Laser Deposition Technology**
Jianhua Yao^{1, 2}, V. Kovalenko^{1, 2, 3}
¹*Research Center of Laser Processing Technology and Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou, P.R. China*
²*Zhejiang Provincial Collaborative Innovation Center of High-end Laser Manufacturing Equipment, Hangzhou, P.R. China*
³*Laser Technology Research Institute of NTUU «KPI», Kiev, Ukraine*
- 10:30 – 11:00 **Interaction of CO₂-Laser Beam with Electric Arc Plasma in Hybrid (TIG + Laser) Welding**
I. Krivtsun¹, I. Krikent¹, V. Demchenko¹, U. Reisgen², A. Zabirov², O. Mokrov²
¹*E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine*
²*RWTH Aachen University, ISF – Welding and Joining Institute, Aachen, Germany*
- 11:00 – 11:15 **Coffee break**
- 11:15 – 11:45 **Numerical Modelling of Structural Composition in Laser Welded Steel Elements by Using Yb:YAG Laser**
W. Piekarska, M. Kubiak, Z. Saternus
Institute of Mechanics and Machine Design Foundations, Czestochowa University of Technology, Poland
- 11:45 – 12:15 **Increase of Efficiency of Hybrid Welding of Aluminum Alloys**
I.V. Krivtsun^{1, 2}, V.N. Sidorets², V.Yu. Khaskin², V.N. Korzhyk^{1, 2}, A.I. Bushma², Luo Ziyi¹
¹*Guangdong General Reseach Institute for Industrial Technology (Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals), China*
²*E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine*
- 12:15 – 12:45 **Microstructure and Wear-Resistant Properties of WC/SS316L Composite Coatings Prepared with Supersonic Laser Deposition**
Bo Li^{1, 2}, Zhihong Li^{1, 2}, Lijing Yang^{1, 2}, Jianhua Yao^{1, 2}
¹*Research Center of Laser Processing Technology and Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou, P.R. China*
²*Zhejiang Provincial Collaborative Innovation Center of High-end Laser Manufacturing Equipment, Hangzhou, P.R. China*
- 13:00 – 14:30 **Lunch**

Chairmen – V.F. Demchenko

- 14:30 – 15:00 **Laser Manual Machine for Welding of Railway Transport Products**
V.D. Shelyagin¹, V.A. Kurilo¹, I.V. Shuba¹, A.V. Bernatsky¹, Wang Chunsheng², Wan Dinda³, Zhen Shukhuey³
¹*E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine*
²*Changchun Railway Car Building Plant, Changchun, China*
³*China-Russian Technological Park, Changchun, China*
- 15:00 – 15:30 **Capabilities of Application of Laser Treatment for Increasing Quality of Electrode Wire**
S.B. Shevchenko¹, I.V. Krivtsun², L.F. Golovko¹, A.N. Lutay¹, V.P. Slobodyanyuk³
¹*National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev, Ukraine*
²*E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine*
³*PJSC «PlasmaTek», Vinnitsa, Ukraine*
- 15:30 – 16:00 **Strength of Chorioretinal Joints After Influence of High-Frequency Welding of Biological Tissues and Diode Endolaser Coagulation**
N.V. Pasechnikova, V.A. Naumenko, N.N. Umanets
The Filatov Institute of Eye Diseases and Tissue Therapy of NAMSU, Odessa, Ukraine
- 16:00 – 16:15 **Coffee break**
- 16:15 – 16:45 **Numerical Simulation of Residual Stresses and Sensitization Induced by Laser Beam Welding in a 12% Cr Stainless Steel Pipe**
O. Makhnenko, A. Muzhichenko
E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine
- 16:45 – 17:15 **Current Condition of Laser-Plasma Hybrid Welding**
A.I. Bushma
E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine

16 September, Wednesday**Chairmen – L.F. Golovko**

- 09:30 – 10:00 **Effect of Electric-Magnetic Composite Field on WC Particulate Reinforced Metal Matrix Composites Layers by Laser Melt Injection**
Wang Liang^{1, 2}, Yong Hu^{1, 2}, Shiyong Song^{1, 2}, Sanpin Lai^{1, 2}, Jianhua Yao^{1, 2}
¹*Research Center of Laser Processing Technology and Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou, P.R. China*
²*Zhejiang Provincial Collaborative Innovation Center of High-end Laser Manufacturing Equipment, Hangzhou, P.R. China*

- 10:00 – 10:30 **Metal Penetration in TIG, Laser and Hybrid (TIG + Laser) Spot Welding. Part I – Experimental Study**
I. Krivtsun^{1,2}, V. Abdulakh², M. Svirzhevskaya¹, U. Reisgen³, B. Gerhards³
¹National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev, Ukraine
²E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine
³RWTH Aachen University, ISF – Welding and Joining Institute, Aachen, Germany
- 10:30 – 11:00 **Metal Penetration in TIG, Laser and Hybrid (TIG + Laser) Spot Welding. Part II – Mathematical Modelling**
I. Krivtsun¹, K. Hubaiev¹, I. Krikent¹, O. Semenov¹, U. Reisgen², A. Zabiroy²
¹E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine
²RWTH Aachen University, ISF – Welding and Joining Institute, Aachen, Germany
- 11:00 – 11:15 **Coffee break**
- 11:15 – 11:45 **Nonideal Interaction of Condensed Particles in Dusty Plasma of Laser-Induced Breakdown**
G.S. Dragan, K.V. Kolesnikov
I.I. Mechnikov Odessa National University, Odessa, Ukraine
- 11:45 – 12:15 **Finishing of Small-Sized Medical Products of Complex Shape**
V. Dzhemelinskiy, D. Lesyk, S. Saliy, O. Danyleiko
National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev, Ukraine
- 12:15 – 12:45 **Synergetic Activation of Nd(Yb):YAG Laser Welding of Steels with TIG Arc (TIGAL Process)**
D. Kovalenko¹, I. Krivtsun¹, I. Kovalenko¹, U. Reisgen², B. Gerhards², A. Zabiroy²
¹E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine
²RWTH Aachen University, ISF – Welding and Joining Institute, Aachen, Germany
- 13:00 – 14:30 **Lunch**

Chairmen – I.V. Krivtsun

- 14:30 – 15:00 **Advancements in Joint Research of Laser Cladding at Components Manufacturing**
V. Kovalenko^{1,2}, J. Yao¹, M. Anyakin², Q. Zang¹, R. Zhuk², H. Hu¹
¹Research Center of Laser Processing Technology and Engineering, Zhejiang University of Technology, P.R. China
²Laser Technology Research Institute of the National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev, Ukraine
- 15:00 – 15:30 **Structure, Strength and Crack Resistance of Joints from 14KhGN2MDAFB Steel in Laser-Arc Hybrid Welding**
L.I. Markashova, V.D. Poznyakov, V.D. Shelyagin, E.N. Berdnikova, T.A. Alekseenko
E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine
- 15:30 – 16:00 **Effect of Thermal Welding Cycles on Structure and Properties of Joints from High-Strength Steel Produced using Laser-Arc Hybrid Welding**
V.D. Poznyakov, V.D. Shelyagin, A.V. Zavdoveev, L.S. Zhdanov, A.A. Maksimenko, A.V. Bernadsky
E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine

- 16:00 – 16:15 **Coffee break**
- 16:15 – 16:45 **Development of Technologies for Laser Welding of Body Elements of Freight Railway Cars**
 V.D. Shelyagin¹, V.Yu. Khaskin¹, A.V. Bernatsky¹, A.V. Siora¹, A.N. Palagesha¹, A.Yu. Tunik¹, E.I. Goncharenko¹, A.D. Chepurnoy²
¹*E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine*
²*Scientific-Engineering Centre UK «RTKh», Mariupol, Ukraine*
- 16:45 – 17:15 **Plasma+ Laser — New Capabilities of Plasma-Powder Surfacing**
 A.I. Som¹, I.V. Krivtsun²
¹*Plasma-Master Ltd., Kiev, Ukraine*
²*E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine*

17 September, Thursday

Chairmen – V.N. Sydorets

- 09:30 – 10:00 **Quality of VT1-0 DShP Titanium Welded Joints Formed at Laser Welding in Atmosphere with Nitrogen Addition**
 V.D. Shelyagin, V.Ya. Saenko, A.A. Polishko, V.A. Ryabinin, A.V. Bernatsky, A.V. Siora, A.Yu. Tunik, S.N. Stepanyuk, I.N. Klochkov, S.G. Grigorenko
E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine
- 10:00 – 10:30 **Laser Metal Forming of Sheet Parts from Heat-Strengthened Materials**
 B.S. Romanov, L.F. Golovko, A.M. Lutay
 National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev, Ukraine
- 10:30 – 11:00 **Surface Hardening of the Steel Parts by Laser and Ultrasonic Treatment**
 D. Lesyk¹, S. Martinez², V. Dzhemelinskiy¹, B. Mordyuk³, A. Lamikiz², G. Prokopenko³
¹*National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev, Ukraine*
²*University of the Basque Country, Bilbao, Spain*
³*Kurdyumov Institute for Metal Physics of NASU, Kiev, Ukraine*
- 11:00 – 11:15 **Coffee break**
- 11:15 – 11:45 **Experimental Research of Hybrid Welding Process in Combination of GTA with CO₂- or Yb:YAG-Laser Beam**
 I. Krivtsun¹, U. Reigen², B. Gerhards², A. Zabirov²
¹*E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine*
²*RWTH Aachen University, ISF – Welding and Joining Institute, Aachen, Germany*
- 11:45 – 12:15 **Laser-Arc Hybrid Welding of Aluminum Alloys**
 V.D. Shelyagin, V.Yu. Khaskin, A.V. Bernatsky, A.V. Siora, A.N. Palagesha
E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine
- 12:15 – 12:45 **Advantages of Application of Coherent and Noncoherent Coagulators for Wounds Treatment**
 I.Yu. Khudetsky¹, I.V. Krivtsun², I.A. Sukhin³
¹*National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev, Ukraine*
²*E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine*
³*Junction Railway Hospital No.1 «Darnitsa», Kiev, Ukraine*

-
- 13:00 – 14:30 **Lunch**
- 14:30 – 16:00 ***Poster Paper Session***

18 September, Friday

- 09:00 – 11:00 Round table «Perspective directions of development of investigations in the field of laser technologies»

POSTER PAPERS

- 1. Increase of Working Tool Efficiency**
M.I. Anyakin, O.T. Serditov, Yu.V. Klyuchnikov, G.S. Moiseenko, M.I. Pizhov
National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev, Ukraine
- 2. Laser Technologies in Welding and Material Processing: Analysis Based on Materials Published in Welding Journals and Proceedings of LTWMP Conferences**
A.T. Zelnichenko, I.Yu. Romanova
E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine
- 3. Synthesis of Super-Energy Structures in Pulse Laser Irradiation of Nanostructure Carbon-Based Materials**
A.M. Prudnikov, V.N. Varyukhin, A.V. Zavdoveev
Donetsk Physical-Technical Institute of NASU, Kiev, Ukraine
- 4. Features and Behavior of Plastics at Laser Welding**
M.V. Iurzhenko, O.O. Tarasenko, V.L. Demchenko, A.O. Shadrin, A.M. Palagesha, O.V. Fedoseeva, M.G. Menzheres
E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine
- 5. Prediction of Welding Deformations of Rotor of Radial Pump NR-7500 in Arc and laser Welding Technologies**
D.S. Gavrilov, O.V. Makhnenko
E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ
PLENARY PAPERS

MICROSTRUCTURE AND WEAR-RESISTANT PROPERTIES OF WC/SS316L COMPOSITE COATINGS PREPARED WITH SUPERSONIC LASER DEPOSITION

Bo Li^{1, 2}, Zhihong Li^{1, 2}, Lijing Yang^{1, 2}, Jianhua Yao^{1, 2}

¹*Research Center of Laser Processing Technology and Engineering,
Zhejiang University of Technology, Hangzhou, P.R. China*

²*Zhejiang Provincial Collaborative Innovation Center
of High-end Laser Manufacturing Equipment, Hangzhou, P.R. China*

Supersonic laser deposition (SLD) is a newly developed coating method which combines the supersonic powder stream found in cold spray (CS) with synchronous laser heating of the deposition zone. The addition of laser heat energy into CS enables a change in the thermodynamic state of impacting particles and substrate, thereby significantly lowering the critical deposition velocities required for effective coating formation and allowing the range of materials deposited to expand to higher strength materials which are of considerable engineering interest.

The work reported in this paper presents the ability of SLD technique to deposit hard metal matrix composite (MMC) coatings, such as WC/SS316L. The focus of this research is on the comparison between composite coatings produced with conventional CS and those produced with SLD. The microstructure evolution, mechanical deformation mechanisms, correlation between functional properties and process parameters were elaborated in detail. The experimental results show that with the assistance of laser irradiation, WC/SS316L composite coatings can be successfully deposited using SLD. The obtained coatings are superior to that processed with CS, because SLD can improve the deposition efficiency, coating density, interface bonding as compared to CS due to the softening of particle and substrate by laser irradiation. It can be found that SLD is capable of depositing high strength MMC coatings with good quality, thus exhibiting great potential in the field of metal three-dimensional printing.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГИБРИДНОЙ ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОЙ СВАРКИ

А.И. Бушма

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Киев, Украина

В докладе излагается краткая ретроспектива развития и современное состояние гибридной лазерно-плазменной сварки. Показано, что к основным задачам гибридной лазерно-плазменной сварки относится не только плазменно-дуговой подогрев металла изделия для повышения его поглощательной способности, но и модификация сварочного термического цикла для снижения скорости охлаждения после сварки. Это позволяет снизить содержание хрупких структур, склонных к разрушению при эксплуатации. Также, наличие плазменно-дуговой составляющей процесса позволяет снизить требования к качеству сборки свариваемых стыков, по сравнению с лазерной сваркой. Перспективы промышленного внедрения гибридной лазерно-плазменной сварки связаны с ее экономическими и технологическими преимуществами. Экономические преимущества заключаются в частичной (до 50 %) замене достаточно дорогой лазерной мощности значительно более дешевой дуговой, а также в снижении энергозатрат процесса за счет возможности замены присадочной проволоки соответствующим порошком или полного отказа от присадочного материала. Технологические преимущества заключаются в уменьшении остаточных термических деформаций, снижении требований к подготовке свариваемых кромок (включая возможность сварки кромок с зазором переменной ширины), получению возможности катодной очистки алюминиевых сплавов непосредственно в процессе сварки, увеличении глубины проплавления и повышению производительности процесса (в несколько раз по сравнению с плазменной сваркой и примерно на 40 %

по сравнению с лазерной). Внедрение лазерно-плазменной сварки способно изменить существующие взгляды технологов на сварочный процесс и конструкторов на проектирование сварных конструкций. Промышленное применение лазерно-плазменной сварки, в первую очередь, связано с решением задач соединения титановых и алюминиевых сплавов, а также нержавеющей сталей, в диапазоне толщин от 0,3–15,0 мм.

EFFECT OF ELECTRIC-MAGNETIC COMPOSITE FIELD ON WC PARTICULATE REINFORCED METAL MATRIX COMPOSITES LAYERS BY LASER MELT INJECTION

Wang Liang^{1, 2}, Yong Hu^{1, 2}, Shiyong Song^{1, 2}, Sanpin Lai^{1, 2}, Jianhua Yao^{1, 2}

¹*Research Center of Laser Processing Technology and Engineering,
Zhejiang University of Technology, Hangzhou, P.R. China*

²*Zhejiang Provincial Collaborative Innovation Center
of High-end Laser Manufacturing Equipment, Hangzhou, P.R. China*

High-strength composite coating prepared by Laser Melt Injection (LMI) has many advantages such as small tendency to crack, less particles to decompose and controllable thickness of hardening layer, but it is much difficult to control the distribution of hard phase particles in the composite layer. In order to study the effect of electric-magnetic field on the hard particles distribution in the composite layer, the WCp/316 gradient metal-matrix composite coating was prepared by LMI with electric-magnetic synergistic effect in this paper. The results show that with the help of electric-magnetic composite field, the volume rate of WC particles in top part of laser track declines to 9 % from 19 %, but that of WC particles in the bottom of laser track increases to 14 % from 11 %. At the same time, the decomposition rate of WC particles increases and more eutectic structures form in the composite coating when the steady magnetic field was added.

FINISHING OF SMALL-SIZED MEDICAL PRODUCTS OF COMPLEX SHAPE

V.V. Dzhemelinskiy, D.A. Lesyk, S.S. Saliy, O.O. Danyleiko

National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev, Ukraine

The purpose of this study is to develop combined technology for finishing and hardening processing of small-sized parts in medical products using laser beam and alternating magnetic field energy.

Specific methods to manufacture relevant parts made of special steels are featured with their characteristics meeting a number of specific conditions: high hardening, wear resistance, corrosion resistance, complex geometry with small size and the required quality of the surface layer. One of the most pressing problems is search of the new processing methods that allow increasing productivity, as well as improving microrelief and physical and mechanical properties.

The results of experimental research of the processes of finishing and hardening of small-sized parts were carried out, in particular pacemakers, surgical needle handpieces for different types of surgeries, are reflected with further determination of the optimum parameters for punched holes by laser beam and polishing surfaces in alternating magnetic field.

The method and technology have been developed for finishing of both external and internal cylindrical surface using combined action rotary and translational reverse motions in spiral device with straining elements in a toroidal-screw stream of working environment, which created by rotating action of electromagnetic fields and compressed aerosol mixture in the container of toroidal shape.

The use of proposed technology has enhanced the polishing process productivity in 5–6 times as compared to the use of low-frequency vibrations, as well as has reduced of the roughness parameters in 3 times with surface layer microhardness in 1.2 times.

НЕИДЕАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ЧАСТИЦ В ДЫМОВОЙ ПЛАЗМЕ ЛАЗЕРНОГО ПРОБОЯ

Г.С. Драган, К.В. Колесников

Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова, Одесса, Украина

В работе исследованы взаимодействия заряженных конденсированных частиц, которые образуются в низкотемпературной плазме при взаимодействии лазерного излучения с веществом. Предполагалось, что наличие электрических сил в окрестности заряженной частицы приводит к образованию слоя пространственного заряда, степень ионизации которого отличается от равновесной ионизации газовой фазы плазмы. Изменение степени ионизации обусловлено эффектом смещения ионизационного равновесия в газовой фазе дымовой плазмы и приводит к образованию неравновесных носителей заряда, которые обеспечивают изменение давления газовой фазы на поверхность конденсированной частицы, определяемое как диффузионное давление неравновесных носителей. Последнее приводит к сближению одноименно заряженных конденсированных частиц и, противодействуя силе электрического отталкивания, обеспечивает некоторое равновесное пространственное распределение пылевых частиц в дымовой плазме.

DEVELOPMENT OF 3D ADDITIVE PROCESSING FOR PRODUCT MANUFACTURING IN MODERN INDUSTRY

V. Kovalenko

Laser Technology Research Institute of NTUU «KPI», Kiev, Ukraine

Research Center of Laser Processing Technology and Engineering

Zhejiang University of Technology, Hangzhou, P.R. China

Today civilized societies may reach the success in their industrial development only based on sustainable competitive manufacturing. Such approach is justified because of the constant danger of spreading the new crises in economy caused by increasing lack of raw materials, energy and water supply, strict environment limitations, etc. Modern industry expects new materials and new technologies which provide the improvements in functionality of manufactured products, the decrease in consumption of materials and energy in production different machines and devices with higher productivity at minimizing cost.

Analyzing the situation in industrial sphere it is obvious that the largest amount of products is manufactured using up to now the classic technologies as mostly adapted to the general level of technology development - casting, forging, punching, stamping, mechanical machining, etc. Meanwhile the development of science and technology for the last decades has proposed the new and entirely original technology based on the mechanism taken from Nature – 3D object growing, now familiar under different names – 3D printing, rapid prototyping, 3D object manufacturing, 3D additive processing, etc. At such technologies three main factors are involved – material (metal sheet or powder, polymer solid or liquid, paper, wood powder, etc.), energy (laser or electron beam, electric discharge, plasma stream, etc.) and the virtual model of component to be manufactured.

3D printing is quite well known in light industry for manufacturing great varieties of goods from plastic, wood, paper, rubber, etc., which is realized via mechanisms of stereo lithography, plastic melting, wood or paper cutting, etc.

For heavy industry, where metal components are mainly manufactured, the most applicable technology is 3D additive processing via the mechanism of laser cladding (LC) or selective laser sintering (SLS).

The discussed technologies are already used in automotive, aerospace, ship, electric power and other industries (even in houses construction field) for components manufacturing and remanufacturing.

Alongside with already mentioned advantages of the new unique technologies their implementation into the modern industry allows to cut down the cost and duration of the production cycle due to exclusion the waste of labor, time and materials on preparatory operations.

СИНЕРГЕТИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ ПРОЦЕССА Nd(Yb):YAG ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ СТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТИГ ДУГИ (ТИГАЛ ПРОЦЕСС)

**Д. Коваленко¹, И. Кривцун¹, И. Коваленко¹,
У. Райзген², Б. Герхардс², А. Забиров²**

¹*Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Киев, Украина*

²*RWTH Аахенский Университет, ISF –*

Институт сварки и соединения материалов, Аахен, Германия

Исследован процесс синергетической активации лазерной сварки сталей излучением Nd(Yb):YAG лазеров за счет дополнительного использования ТИГ дуги (ТИГАЛ процесс), в том числе с применением активаторов. Выполнен сравнительный анализ результатов экспериментальных исследований проплавления металла и формирования швов при использовании следующих трех процессов сварки: ТИГ сварка аргоновой дугой на токах от 5 до 150 А, лазерная сварка пучком излучения Nd:YAG или Yb:YAG лазеров непрерывного действия мощностью от 250 до 1000 Вт и гибридная Nd(Yb):YAG + ТИГ сварка на указанных выше режимах (ТИГАЛ процесс). Швы выполнялись на образцах из нержавеющей стали типа 304 толщиной 1,2, 1,5 и 2,0 мм и углеродистой стали типа S235JR толщиной 5 мм на скорости 100 мм/мин. Показано, что при использовании ТИГАЛ процесса сварки по сравнению с ТИГ сваркой существенно повышается устойчивость горения слаботочной дуги (на токах до 10 А), а по сравнению с отдельным применением лазерной и ТИГ сварки более чем в 2 раза повышается глубина проплавления и до 2 раз площадь проплавления металла.

ADVANCEMENTS IN JOINT RESEARCH OF LASER CLADDING AT COMPONENTS MANUFACTURING

V. Kovalenko^{1, 2}, J. Yao¹, M. Anyakin², Q. Zang¹, R. Zhuk², H. Hu¹

¹*Research Center of Laser Processing Technology and Engineering,*

Zhejiang University of Technology, P.R. China

²*Laser Technology Research Institute of the National Technical University «KPI», Kiev, Ukraine*

The collaboration activity in laser technology research between two universities has started more than ten years ago. At first it had been exchanges of visits, mutual consulting on different aspects and then the Agreement on international collaboration activity between two research groups had been signed with planned cooperation in studying new processes of laser cladding for components manufacturing and remanufacturing. In the framework of that Agreement the following tasks had been solved:

- studying the factors influencing the quality of laser cladding;
- simulation of gas-powder stream feeding into the clad zone;
- development of laser beam focusing system coaxial with gas-powder stream;
- development of slot nozzle feeding-focusing system;
- experimental tests of designed and manufactured powder feeding-focusing systems.

The main goal of joint research had been the achievement of higher productivity and quality of processing, the development of reliable systems to control the parameters of clad layers, studying the possibilities to provide better processing versatility which may adapt it with time to universal industrial system for 3D laser additive processing at components manufacturing and remanufacturing.

The results of joint research had been published in 11 papers and presented in a number of International and National Forums, Congresses and Conferences. In conjunction with Paton Welding Institute of the National Academy of Science of Ukraine laser experts of two Universities from China and Ukraine had participated in arranging three International Conferences «Laser Technology in Welding and Material Processing» in Katsivly, Crimea, Ukraine – LTWMP-2011, LTWMP-2013 and in Odessa, Ukraine – LTWMP-2015.

METAL PENETRATION IN TIG, LASER AND HYBRID (TIG + LASER) SPOT WELDING. PART I — EXPERIMENTAL STUDY

I. Kriivtsun^{1, 2}, V. Abdulakh¹, M. Svirzhevska², U. Reisgen³, B. Gerhards³

¹*E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine*

²*National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev, Ukraine*

³*RWTH Aachen University, ISF – Welding and Joining Institute, Aachen, Germany*

Comparative experimental studies for TIG, laser (CO₂- and Yb:YAG laser) and its hybrid spot welding processes were carried out. Experiments were performed for different times of heat input into the workpiece. In the case of hybrid welding, the interaction between the laser beam and the arc plasma is dependent on the wavelength and the power of the laser was examined as well. To carry out the experiments, a special hybrid welding torch was used. This torch combines arc and laser heat sources in one common weld pool. Geometry of the cross-sections for different welding times were examined. The experimental results were used for the analysis of complex physical processes that occur in hybrid spot welding, in order to identify the role of each process in the improvement of the penetration depth of the hybrid heat source. Furthermore, the experimental data was used for the verification of mathematical models of metal penetration in TIG, laser and hybrid (TIG + CO₂ laser) spot welding.

METAL PENETRATION IN TIG, LASER AND HYBRID (TIG + LASER) SPOT WELDING. PART II — MATHEMATICAL MODELLING

I. Kriivtsun¹, K. Hubaiev¹, I. Krikent¹, O. Semenov¹, U. Reisgen², A. Zabirov²

¹*E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine*

²*RWTH Aachen University, ISF – Welding and Joining Institute, Aachen, Germany*

The efficiency of fusion welding processes is greatly defined by conditions of heat, mass and charge transfer in the weld pool. These conditions in turn are defined by the interaction between the base metal and heat source in use (electric arc, laser beam). Therefore, the most adequate models for numerical modelling of metal penetration in welding are those which allow for description of physical processes in the heat source, on the metal surface, and in its volume by self-consistent way. This paper is devoted to that kind of model as well as simulation of penetration in arc (TIG), laser (CO₂ laser) and hybrid (TIG + CO₂ laser) spot welding. The proposed model provides the possibility of self-consistent consideration of physical processes taking place in the arc column and arc anode region with refractory cathode (TIG), including interaction with arc plasma of focused laser beam (TIG + CO₂ laser) that results in the appearance of a combined laser-arc discharge. Heat transfer, electromagnetic and hydrodynamic processes in the volume and on the surface of the metal being welded (anode) are also captured by the proposed model. The model of physical processes in metal accounts for metal evaporation from the weld pool surface along with its deformation, influence of arc pressure, plasma shear stresses and thermocapillary Marangoni effect (surface forces). The influence of Lorentz and buoyancy forces on hydrodynamic processes and convective heat transfer in the weld pool are also taken into account (volume forces). The governing equations of the model are solved by means of a finite element method. The comparison of calculated results with experiments is carried out.

INTERACTION OF CO₂-LASER BEAM WITH ELECTRIC ARC PLASMA IN HYBRID (TIG + LASER) WELDING

I. Krivtsun¹, I. Krikent¹, V. Demchenko¹, U. Reisgen², A. Zabirov², O. Mokrov²

¹*E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine*

²*RWTH Aachen University, ISF – Welding and Joining Institute, Aachen, Germany*

Self-consistent mathematical model was proposed for the processes of energy-, mass- and charge transfer in the plasma of the column and anode region of electric arc with refractory cathode, running in inert gas, and exposed to a focused beam of CO₂-laser radiation, propagating along the arc column. Mathematical description of the processes running in such a system uses single-temperature model of arc plasma, allowing for additional plasma heating due to laser radiation absorption, as well as its multicomponent nature, associated with metal evaporation from cathode surface. Influence of laser beam power and anode surface temperature on thermal and electromagnetic characteristics of plasma of the column and anode region of argon arc on refractory cathode was analyzed. It is shown that as a result of additional local heating of arc plasma by laser radiation, its temperature in the paraxial zone of arc column can rise by 5000–10000 K, compared to the respective arc in TIG welding. This leads to an essential restructuring of spatial distributions of electric potential and density of electric current in the arc column near-anode region, as well as density of thermal flow applied by the arc to the anode, thus changing the distributed and integral characteristics of its thermal and dynamic impact on the metal being welded. It is established that the impact of a focused laser beam on arc plasma leads to the effect of electric current contraction in the center of the region of anode binding of the arc and respective increase of the density of heat flow, applied by the arc to the anode, in hybrid (CO₂-laser + TIG) welding. This promotes an increase of the energy applied to the metal, which is consumed in its melting and, therefore, an increase of penetrability of laser-arc heat source. It is shown that anode metal evaporation leads to a certain weakening of the effect of electric current contraction in the arc near-anode region, which is exposed to a focused laser beam. The influence of laser radiation absorption and refraction in arc plasma on the characteristics of laser beam interacting with it and its thermal impact on the surface of metal being welded under the conditions of hybrid (CO₂-laser + TIG) welding was studied. It is shown that laser beam absorption in arc plasma leads to a certain decrease of radiation power, reaching the anode surface. The size of beam focusing spot on the above surface practically does not change, i.e. beam refraction in arc plasma turns out to be insignificant.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF HYBRID WELDING PROCESS IN COMBINATION OF GTA WITH CO₂-OR Yb:YAG-LASER BEAM

I. Krivtsun¹, U. Reisgen², B. Gerhards², A. Zabirov²

¹*E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine*

²*RWTH Aachen University, ISF – Welding and Joining Institute, Aachen, Germany*

Hybrid welding is a field in welding technology in which several welding procedures are combined to operate in one weld bath. An attempt is being made to combine the positive properties of the processes in a way that synergy effects take place and can be taken advantage of. Comparative experimental analysis of hybrid welding processes is carried out. The used hybrid welding process is a combination of tungsten cathode in argon shielding gas atmosphere and laser beam of different wave length (CO₂- and Yb:YAG-laser). Both lasers were used in heat transfer mode. To carry out these experiments, a special hybrid welding torch was developed to combine arc and laser heat sources in one common weld pool. Depth of penetration and the area of welds' cross sections for pure TIG, TIG plus CO₂ Laser and TIG plus Yb:YAG Laser were compared. High speed video images (500 frames per second) with synchronized current and voltage recording were used. The experimental results demonstrate a different behaviour of the arc in CO₂- and Yb:YAG Laser hybrid

welding. It is shown that in case of hybrid welding the efficiency of input energy from the arc is higher than the sum of two separately used heat sources.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИБРИДНОЙ СВАРКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

**И.В. Кривцун^{1, 2}, В.Н. Сидорец², В.Ю. Хаскин²,
В.Н. Коржик^{1, 2}, А.И. Бушма², Luo Ziyi¹**

¹Гуандонский Генеральный научно-исследовательский институт промышленных технологий
(Гуанчжоуский научно-исследовательский институт цветных металлов), Китай

²Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Киев, Украина

Одной из актуальных проблем современной науки и техники в области сварки металлов плавлением является создание новых и усовершенствование существующих лазерно-дуговых источников тепла. Знание физических особенностей гибридной лазерно-дуговой сварки позволяет повысить ее производительность за счет повышения эффективного КПД, т.е. увеличения отношения мощности теплового источника, действующего на металл при сварке, к суммарной мощности электрической дуги и лазерного луча. Одним из путей повышения эффективного КПД сварки является снижение потерь лазерной энергии, связанных с отражением излучения от свариваемой поверхности.

Изучено влияния сопутствующего подогрева, обеспечиваемого электрической дугой, на изменение условий поглощения лазерного излучения алюминиевыми сплавами при их лазерно-дуговой сварке, а также определены параметры режима сварки, обеспечивающие повышение эффективного КПД за счет снижения потерь лазерной энергии. При этом рассмотрение теплового действия дуги не зависело от вида дугового сварочного процесса: сварка дугой плавящегося электрода или сварка дугой неплавящегося электрода.

Сформулирована и решена задача определения температурной зависимости коэффициента поглощения лазерного излучения алюминием в рамках модели почти свободных электронов. Сравнение полученных расчетных зависимостей поглощательной способности с имеющимися экспериментальными данными показало их удовлетворительное совпадение. Для определения таких параметров режима лазерно-дуговой сварки, как мощность дуговой составляющей и расстояние между зоной действия дуги и осью лазерного луча, решали соответствующее уравнение теплопроводности. Экспериментальная проверка предложенного подхода к повышению эффективного КПД гибридной сварки, проведенная на образцах из алюминиевого сплава АМг6, подтвердила достоверность спрогнозированных результатов.

SURFACE HARDENING OF THE STEEL PARTS BY LASER AND ULTRASONIC TREATMENT

**D. Lesyk¹, S. Martinez², V. Dzhemelinskiy¹, B. Mordyuk³,
A. Lamikiz², G. Prokopenko³**

¹National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev, Ukraine

²University of the Basque Country, Bilbao, Spain

³Kurdyumov Institute for Metal Physics of NASU, Kiev, Ukraine

Development of new industrial technologies in the automotive, aviation, aerospace, and shipbuilding industries occurs towards the integration of the known technologies into the hybrid and combined processes. The problem of improving the quality and operational characteristics of the surface layer of parts is one of the important problems in mechanical engineering industry.

One of the most effective methods for combined surface hardening of steel parts is laser surface hardening and subsequent ultrasonic strain hardening, which can provide the required ultrafine-grained structure, high hardness, guaranteed compressive stress of the surface layer as well as minimal roughness microrelief.

The optimal regimes of thermal action by the scanner equipped fiber laser and straining action by multi-pins ultrasonic impact head, which promoted the improvement in roughness, hardness and wear resistance of steel parts, were established by theoretical and experimental studies.

Laser surface hardening combined with subsequent ultrasonic plastic straining cause 4–8 times decrease in the roughness parameter, and 2.5–3 times increases in hardness of the surface layer. Moreover, compressive residual stresses (up to – 400 MPa) are formed, and significant diminishment in crystallite size (down to ~84 nm) is observed. In comparison with the initial state, the effects of the combined thermo-straining action provides double and triple enhancements in wear resistance of the surface layer AISI D2 steel at static and dynamic conditions, respectively. Besides, the formed regular wavy microrelief promotes economical use of lubricating materials.

СТРУКТУРА, ПРОЧНОСТЬ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛИ 14ХГН2МДАФБ ПРИ ГИБРИДНОЙ ЛАЗЕРНО-ДУГОВОЙ СВАРКЕ

***Л.И. Маркашова, В.Д. Позняков, В.Д. Шелягин,
Е.Н. Бердникова, Т.А. Алексеенко***

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Киев, Украина

Представлены результаты исследований структуры и фазового состава, формирующихся в сварных соединениях высокопрочной стали 14ХГН2МДАФБ, выполненных с использованием сварочной проволоки Св-10ХН2ГСМФТЮ. Сварные соединения получали в условиях различных скоростей ($V_{св} \sim 72$ м/ч; 90 м/ч; 110 м/ч) лазерно-дуговой сварки с применением технологического СО₂-лазера.

Показано, что при бейнитной структуре основного металла, в случае увеличения скорости сварки от $V_{св} \sim 72$ м/ч до 110 м/ч фазовый состав металла швов и участка перегрева ЗТВ не изменяется — бейнитно-мартенситный, однако изменяется соотношение фазовых составляющих (бейнита нижнего, верхнего и мартенсита): заметно уменьшается объемная доля нижнего бейнита (до 20 %), преимущественно формируется структура верхнего бейнита (70 %) и мартенсита (20 %). При этом, наблюдаются градиенты по размерам зеренной и субзеренной структуры при неравномерном изменении микротвердости, а также по плотности дислокаций (в 2,5 раза) — от $\rho \sim 4-6 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ до $\rho \sim (1-1,5) \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$.

Аналитическими оценками механических свойств сварных соединений по зоне сварки в условиях гибридной лазерно-дуговой сварки показано, что наибольший вклад в упрочнение металла (σ_T) и повышение вязкости разрушения (K_{1c}) вносит субструктура нижнего бейнита ($\Delta\sigma_c \sim 300-400$ МПа) при скорости сварки $V_{св} \sim 72$ м/ч. В случае увеличения скорости сварки до $V_{св} \sim 110$ м/ч вследствие формирования преимущественно структуры бейнита верхнего значительно снижается (на 30 %) показатель K_{1c} при увеличении упрочнения металла на 10–15 %.

Оценками распределения уровня локальных внутренних напряжений ($\tau_{вн}$) в структурных зонах их концентраторов показано, что максимальные значения $\tau_{вн} \sim 1900-2800$ МПа ($0,2-0,35$) $\tau_{теор}$ формируются при $V_{св} \sim 110$ м/ч вдоль границ реек бейнита верхнего, что может приводить к зарождению микротрещин и снижению трещиностойкости сварных соединений.

Установлено, что наиболее оптимальная структура, которая обеспечивает высокие показатели прочности, вязкости и трещиностойкости металла сварных соединений стали 14ХГН2МДАФБ, формируется при скоростях сварки $V_{св} \sim 72-90$ м/ч.

NUMERICAL SIMULATION OF RESIDUAL STRESSES AND SENSITIZATION INDUCED BY LASER BEAM WELDING IN A 12 % Cr STAINLESS STEEL PIPE

O. Makhnenko, A. Muzhichenko

E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine

12 % Cr stainless steel are chosen for many engineering applications in aggressive environments in chemistry and in the high temperature (up to about 650 °C) boiler tubing and piping components used in modern power generating plants.

Components of 12 % Cr stainless steels can be welded by SMAW welding process using similar martensitic filler materials or by using a nickel-based alloy (Inconel) dissimilar weld materials. Proper preheat, interpass temperature for 200–300 °C and PWHT to 760 °C are not optional, they are mandatory to decrease residual stresses, reduce the microstructural nonuniformity and provide structural integrity at welding (hot and cold cracking) and during operational period (IV type cracking).

New methods for joining materials are of interest to increase the efficiency and productivity. Optimized joints require narrow heat affected zones, low residual stress, strain and distortion, low tendency to sensitization and creep. Of particular interest is the laser welding of the 12 % Cr steels used extensively in the power plants. The objective of this paper is compare the predicted by numerical simulations residual stresses and sensitization for 12 % Cr steel between laser and arc welding processes. The FE simulation consists of thermal analysis and a sequentially coupled structural analysis. Solid state phase transformation is included in the analysis to account for the volumetric changes due to martensitic transformation during cooling. The characteristics of the residual stress distribution, degree of sensitization, the influence of phase transformations and needing of PWHT (Post Weld Heat Treatment) are discussed.

ПРОЧНОСТЬ ХОРИОРЕТИНАЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ЭЛЕКТРОСВАРКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ И ДИОДНОЙ ЭНДОЛАЗЕРНОЙ КОАГУЛЯЦИИ

Н.В. Пасечникова, В.А. Науменко, Н.Н. Уманец

Институт глазных болезней и тканевой терапии им. В.П. Филатова НАМНУ, Одесса, Украина

NUMERICAL MODELLING OF STRUCTURAL COMPOSITION IN LASER WELDED STEEL ELEMENTS BY USING Yb:YAG LASER

W. Piekarska, M. Kubiak, Z. Saternus

Institute of Mechanics and Machine Design Foundations, Czestochowa University of Technology, Poland

Nowadays, the laser welding is constantly evolving in terms of production efficiency and quality of the product. Increasing demand for a high quality of welded joints at reduced production costs is forcing manufacturers to create newer types of lasers. One of the most modern type of lasers is solid state laser Yb:YAG type with the active element in a shape of a disk. This laser is characterized by the high efficiency and a low optical quantum defect. Many new phenomena occur in the laser welding of steel that are not found in the conventional welding methods. One of basic problems is the formation of hardening structures, induced by the action of highly concentrated thermal energy on a small area of the workpiece, which are contributing to the arising of high cooling rates in the process.

The work concerns the numerical prediction of structure composition in the joint and heat affected zone during Yb:YAG laser butt-welding of sheets made of higher strength steel. The motion of liquid material in the fusion zone is taken into account in the numerical analysis of thermal phenomena. Structural composition of the joint is predicted using classic models of the kinetics of phase transformations in solid state during heating and cooling processes. For diffusive transformations Johnson-Mehl-Avrami (JMA) models is used while Koistinen-Marburger (KM) model for martensite transformation. Start and finish temperatures and times of arising phases are determined using Continuous-Heating-Transformations (CHT) and Continuous-Cooling-Transformations (CCT) diagrams for S355 steel. In the modelling of thermal phenomena Chorins' projection is used with finite volume method taking into account interpolated distribution of Yb:YAG laser, developed on the basis of Kriging method and measured distribution of laser beam power intensity. Presented in this work results include predicted the temperature history and structural composition in Yb:YAG laser welded joint.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ СВАРКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЙ ВЫСОКОПРОЧНОЙ СТАЛИ, ВЫПОЛНЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ГИБРИДНОЙ ЛАЗЕРНО-ДУГОВОЙ СВАРКИ

*В.Д. Позняков, В.Д. Шелягин, А.В. Завдоев, С.Л. Жданов,
А.А. Максименко, А.В. Бернацкий*

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Киев, Украина

На данный момент все большее развитие получают гибридные способы сварки, к которым относится гибридная лазерно-дуговая сварка. Однако оценке влияния термических циклов сварки на механические свойства соединений уделяется не достаточное внимание. В связи с этим цель настоящей работы состояла в сравнительной оценке термических циклов, структуры и механических свойств соединений высокопрочной стали 14ХГН2МДАФБ, характерных для лазерной, гибридной лазерно-дуговой и дуговой сварки. Анализ термических циклов сварки показал, что при различных скоростях гибридной лазерно-дуговой сварки: $v_{св} = 72, 90$ и 110 м/ч скорости охлаждения $w_{6/5}$ примерно одинаковы и составляют $58-63$ °С/с. Структурно-фазовый анализ позволил установить, что при скорости гибридной сварки $v_{св} = 72$ м/ч фазовый состав металла шва и участка перегрева ЗТВ бейнитный (с преимущественным содержанием

бейнита нижнего). Увеличение скорости сварки до 90 м/ч приводят к изменению фазового состава при переходе от шва к ЗТВ от бейнитно-мартенситного ($M > B_n > B_v$) в шве до бейнитного ($B_n > B_v$) в ЗТВ. Это обуславливает повышение механических свойств ($\sigma_{0,2}$, σ_b , KCV). В данном случае, мартенситная составляющая обеспечивает прирост прочностных характеристик, а наличие нижнего бейнита обеспечивает повышение ударной вязкости.

Таким образом, оптимальным способом, обеспечивающим высокие механические свойства и показатели ударной вязкости металла шва сварных соединений стали 14ХГН2МДАФБ, является гибридная лазерно-дуговая сварка, выполняемая со скоростью $v_{св} = 90$ м/ч. При этом, использование гибридной лазерно-дуговой сварки на вышеуказанных режимах со скоростями $v_{св} = 72$ и 110 м/ч удовлетворяет условиям обеспечения показателей ударной вязкости на уровне $KCV_{-40} > 30$ Дж/см².

ЛАЗЕРНЕ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЛИСТОВИХ ДЕТАЛЕЙ З ТЕРМІЧНО ЗМІЦНЕНИХ МАТЕРІАЛІВ

Б.С. Романов, Л.Ф. Головки, А.М. Лутай

НТУУ «КПІ», Київ, Україна

До класу термічно зміцнених матеріалів відносять: загартовані сталі на мартенсит, низько відпущені сталі, зістарені алюмінієві та титанові сплави.

Формоутворення листових конструкцій з даного класу матеріалів має ряд технологічних проблем. Згинання загартованих сталевих листів — важка задача, тому що матеріал має високу міцність і крихкість. Експериментально доведено, що процес лазерного формоутворення дозволяє формувати листи з загартованої сталі. Умова лазерного формоутворення загартованих сталей: в зоні формовки повинно проходити поліморфне перетворення мартенситу в аустеніт по всій товщині листа. По закінченню процесу лазерного формоутворення структура загартованої сталі в ЗТВ перетворюється в мартенсит.

Більшість титанових сплавів володіють відмінною технологічною пластичністю при гарячій обробці тиском. Але основним недоліком при гарячій обробці титанових сплавів є окиснення і утворення на поверхні деталей газонасиченого (охрупченого) шару, що призводить до браку деталі. При лазерному формоутворенні листових титанових сплавів формовка проходить локально (з подачею з зону обробки інертного газу), тобто структурні зміни у всьому матеріалі не проходять, що є основною перевагою.

Формоутворення листових деталей за зістарених алюмінієвих сплавів (Д16Т, В-95Т) має основний недолік: це похибка в точності виготовленої деталі за рахунок високої твердості і низької пластичності сплаву. Виска межа міцності та низька пластичність в зістарених алюмінієвих сплавах виникають за рахунок дрібно дисперсних частинок інтерметаліду $CuAl_2$. При лазерному формоутворенні відбувається акумуляція температури, що призводить до коагуляції та розчинення частинок $CuAl_2$. Для вирішення задачі знеміцнення при ЛФ було застосовано додаткове охолодження парами азоту або холодним повітрям. Експериментально доведено, що при лазерному формоутворенні зістарених алюмінієвих сплавів ми формуємо листову конструкцію з мінімальною похибкою та зі сталими властивостями матеріалу.

ПЛАЗМА + ЛАЗЕР — НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКИ

А.И. Сом¹, И.В. Кривцун²

¹ООО фирма «Плазма-Мастер Лтд», Киев, Украина

²Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Киев, Украина

В последнее время в научно-технической литературе появляется все больше публикаций о применении комбинированных процессов сварки, основанных на совместном использовании лазерного излучения и электрической, в том числе плазменной дуги. Такая комбинация приводит к улучшению пространственной стабилизации пятна дуги на поверхности свариваемого металла и повышению устойчивости ее горения при малых токах и больших скоростях перемещения относительно изделия. Одновременно увеличивается коэффициент поглощения лазерного излучения поверхностью металла, что особенно важно при исполь-

зованим лазером невеликої потужності. Все це дозволяє, з однієї сторони, значно збільшити продуктивність і стабільність дугової (плазменної) зварки, а з іншої - підвищити ефективність і знизити собівартість лазерної зварки. Мета цього доповіді - проведення теоретичних і експериментальних досліджень впливу лазерного пучка на процес плазменно-порошкової наплавки (ППН) і виявлення нових технологічних можливостей комбінованого способу - лазерно-плазменної порошкової наплавки (ЛППН). Найбільш раціональною, на наш погляд, схемою реалізації такого комбінованого процесу є соосне об'єднання лазерного пучка і плазменної дуги при розподіленій подачі присадочного порошку в плазму розряду. Оскільки в цьому випадку лазерний пучок повинен проходити певну відстань в дугової плазмі, при розробці розглянутого способу наплавки необхідно враховувати не тільки плазменне і лазерне вплив на присадочний матеріал і оброблювану поверхню, але і безпосереднє взаємодія сфокусованого лазерного пучка з плазмою стиснутої дуги.

ПЕРЕВАГИ ЗАСТОСУВАННЯ КОГЕРЕНТНОГО ТА НЕКОГЕРЕНТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ, ЯКЕ ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ В КОАГУЛЯТОРАХ ДЛЯ ОБРОБКИ РАН

І.Ю. Худецький¹, І.В. Кривцун¹, І.А. Сухін³

¹*Національний технічний університет України «КПІ», Київ, Україна*

²*Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ, Київ, Україна*

³*Вузлова залізнична лікарня № 1 «Дарниця», Київ, Україна*

Проблема обробки ран є однією з фундаментальних проблем хірургії. На різних етапах розвитку людства вона вирішувалась відповідно до досягнутого рівня розвитку фундаментальної науки та існуючих технологічних рішень в медицині.

Головними питаннями при вирішенні цієї проблеми були: зупинка кровотечі, видалення нежиттєздатних та дезінфекція ушкоджених тканин в рані. Важливим критерієм успішності технологій обробки ран є відсутність ускладнень та час загоєння рани.

Були проведені експериментальні дослідження впливу когерентного випромінювання інфрачервоного діапазону, некогерентного випромінювання видимого та інфрачервоного діапазону та комбінованих потоків інфрачервоного випромінювання та конвекційних високотемпературних повітряних потоків на м'які біологічні тканини з метою оцінки успішності виконання окремих хірургічних маніпуляцій при обробці ран.

Проведені дослідження дозволили зробити висновки, що видалення нежиттєздатних тканин можна проводити з використанням ріжучих хірургічних інструментів (РХІ), високочастотними біполярними інструментами (ВБІ) типу ножиці та лазерними променями. Найкращий результат може бути досягнутий при застосуванні лазерного променя потужністю 65 Вт шляхом вапоризації, наприклад, хірургічним лазером GreenLightPV в ручному режимі або лазером потужністю 120–150 Вт при умові досягнення високої концентрації променя та достатній швидкості проходження в межах рани, що в свою чергу вимагає застосування певних автоматизованих пристосувань. Застосування традиційних РХІ традиційно дозволяє обробляти рани в найбільш автономному режимі, хоча і несе цілий ряд загроз. Високочастотний біполярний інструмент можна вважати найбільш прийнятним для виконання цієї маніпуляції за параметром ціна/ефективність.

При порівнянні успішності досягнення гемостазу в рані пріоритети розподілились наступним чином. При зупинці кровотечі з судин великого та середнього діаметру найвищу ефективність показали ВБІ, як альтернатива застосування традиційних технік накладення лігатур чи скобок. При кровотечі з дрібних судин та капілярів, а також при санації ран перевага на боці комбінованих конвекційно-інфрачервоних потоків. Для досягнення необхідної коагуляції поверхні рани з метою гемостазу та санації з застосуванням лазерного випромінювання необхідно створити потік потужністю понад 120 Вт/с з площею променя 1 см². Застосування таких лазерів в операційних в даний час є надмірно затратним. Разом з тим прогрес у розробці лазерної техніки дозволяє передбачити можливість застосування лазерів для гемостазу та санації ран уже в найближчі 5–10 років.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ

**С.Б. Шевченко¹, И.В. Кривцун², Л.Ф. Головка¹,
А.Н. Лутай¹, В.П. Слободянюк³**

¹Национальный технический университет Украины НТУУ «КПИ»

²Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Киев, Украина

³ПАТ «ПлазмаТек», Винница, Украина

При полуавтоматической сварке в качестве сварочного электрода широко применяется стальная проволока диаметром 0,8–1,6 мм с медным гальваническим покрытием. Процесс сварки и ее качество в значительной мере зависят от однородности химического состава поверхностного слоя самой стальной проволоки и обусловленного этим качества медного покрытия. К настоящему времени разработан целый ряд различных способов очистки поверхности сварочной проволоки перед меднением от различного рода загрязнений, позволяющих лишь частично повысить сплошность покрытия и несколько снизить разбрызгивание материала электродов при сварке, но не решить проблему в целом. Концентрация оксидов железа и других неметаллических включений, образовавшихся в поверхностном слое проволоки на различных этапах волочения, которые снижают качество медного покрытия, меняется в широком диапазоне (от 20 до 40 %). При этом глубина их залегания не превышает 20–30 мкм.

Разработан способ и оборудование для очистки поверхности сварочной проволоки перед нанесением медного покрытия от таких неметаллических включений обработкой излучением CO₂ лазера. Лазерная обработка сварочной проволоки непрерывным излучением с длиной волны 10,6 мкм за счет интенсивного избирательного его поглощения оксидами значительно уменьшает их количество в поверхностных дефектах. Освободившиеся от оксидов объемы на поверхности сварочной проволоки при последующем нанесении покрытия заполняются медью.

Показано, что основным механизмом разрушения оксидов является хрупкое разрушение в результате резкого увеличения их объема вследствие высокоскоростного лазерного нагрева и частично - испарения. Для равномерного удаления оксидов со всей цилиндрической поверхности проволоки целесообразно лазерное излучение фокусировать с помощью тороидального зеркала в кольцо, через которое затем ее протягивать.

Для совмещения оси тороидального зеркала с осью проволоки предусмотрена специальная юстировочная система. Регулировка и стабилизация положения оси проволоки в пространстве осуществляется с помощью двух пар роликов со взаимноперпендикулярными осями. В зону действия лазерного излучения на проволоку принудительно подается защитный газ. Для удаления продуктов лазерной обработки предусмотрена специальная вытяжная система.

ЛАЗЕРНА РУЧНА УСТАНОВКА ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ВИРОБІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

**В.Д. Шелягін¹, В.А. Курило¹, І.В. Шуба¹, А.В. Бернацький¹,
Ванг Чуншенг², Ван Дінда³, Чжен Шухуей³**

¹Інститут електросварювання ім. Є.О. Патона НАНУ, Київ, Україна

²Чанчунський вагонобудівний завод, Чанчунь, Китайська Народна Республіка

³Китайсько-Російський технопарк, Чанчунь, Китайська Народна Республіка

Існує ряд технічних задач, рішення яких потребує використання ручного лазерного інструменту. Такі задачі пов'язані із зварюванням, наплавленням та різанням тонколистових металів (вуглецевих сталей, алюмінієвих, титанових сплавів) при виготовленні одиничних виробів, дрібних партій деталей або проведеної робіт у важкодоступних місцях при виготовленні серійних виробів. Наприклад, зварювання

кузовних елементів автомобілів, внутрішніх перегородок та кріплень залізничних вагонів; зварювання стільникових панелей та подібних до них конструкцій тощо. Для вирішення низки вищенаведених задач, в ІЕЗ ім. Є.О. Патона за технічним завданням Чанчунського вагонобудівного заводу, та Китайсько-Російського технопарку виконана розробка лазерної ручної установки для зварювання внутрішніх елементів залізничних вагонів.

До складу установки входять системи: перетворення та транспортування лазерного випромінювання; газового захисту; «cross-jet»; охолодження; діагностики та контролю. Масогабаритні характеристики розробленої зварювальної головки (вага не перевищує 8 кг) дозволяють виконувати роботу у різних просторових положеннях. За допомогою розробленої установки виготовлені дослідні зразки зварних з'єднань в напущку зі сталі 08X18H10T товщиною 1,5 мм. Проведені випробування на зсув показали, що зусилля зсуву для одержаних зварних з'єднань (без розгортання лазерного випромінювання по довільній траєкторії) складає 13,5–15,5 кН, як й для зварних з'єднань, одержаних за допомогою автоматичного лазерного зварювання. Це свідчить про перспективність використання розробленої ручної установки для вирішення задач лазерного зварювання у різних галузях промисловості.

КАЧЕСТВО СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТИТАНА ВТ1-0 ДШП, ФОРМИРУЕМЫХ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКЕ В АТМОСФЕРЕ С ДОБАВЛЕНИЕМ АЗОТА

**В.Д. Шелягин, В.Я. Саенко, А.А. Полишко, В.А. Рябинин, А.В. Бернацкий,
А.В. Сиора, А.Ю. Туник, С.Н. Степанюк, И.Н. Клочков, С.Г. Григоренко**

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Киев, Украина

Показана возможность получения лазерной сваркой равнопрочных с основным металлом стыковых соединений листового проката ВТ1-0 толщиной 12 мм. Исходный металл был упрочнен азотом (0,098 мас. %) из газовой фазы в процессе дугошлакового переплава (ДШП). Сварку двухсторонних стыковых швов выполнили с применением YAG-лазера в излучении Nd в атмосфере активного (N₂) и инертных (Ar, He) газов.

Проведен комплекс металлографических исследований структуры и механических испытаний двухсторонних сварных соединений, полученных в атмосфере только инертных газов (1) и с добавлением азота (2). Показано, что полученные двухсторонние стыковые швы характеризуются хорошим формированием, каких-либо поверхностных дефектов в швах или зоне термического влияния не обнаружено. Установлено, что размер зерна для двух вариантов следующий:

Образец металла сварного соединения	Размер зерна в сварном соединении, мкм*	Размер зерна в зоне стыка швов, мкм*
1	$\frac{250-450}{350}$	$\frac{50-100}{75}$
2	$\frac{150-250}{200}$	$\frac{40-100}{70}$

* В таблице приведены значения в следующем виде $\frac{\min-\max}{\text{ср}}$.

Достигнуто повышение микротвердости в образце сварного соединения, полученного в атмосфере с добавлением азота на 10 % по сравнению с образцом сварного соединения, полученного в атмосфере инертных газов.

В результате механических испытаний на статическое растяжение, изгиб и ударный изгиб установлено, что уровень прочностных свойств сварного соединения, сформированного лазерной сваркой с добавлением азота выше, при этом показатели пластичности сохраняются. Фрактографический анализ поверхностей изломов показал смешанный характер разрушения (вязкий и межзеренный).

Таким образом, показано, что добавление азота в газовую смесь при лазерной сварке положительно влияет на структуру и свойства сварного соединения листового проката ВТ1-0 ДШП толщиной 12 мм, предварительно упрочненного азотом (0,098 мас. %) из газовой фазы в процессе ДШП. Существенного влияния на технологические режимы сварки добавление азота не оказало. Работы в данном направлении будут продолжены.

ГИБРИДНАЯ ЛАЗЕРНО-ДУГОВАЯ СВАРКА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В.Д. Шелягин, В.Ю. Хаскин, А.В. Бернацкий, А.В. Сиора, А.Н. Палагеша

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Киев, Украина

Исследованы особенности и определены рабочие диапазоны режимов гибридной лазерно-дуговой сварки плавящимся электродом импульсной дугой (ИДСПЭ + СЛИ) с использованием излучения Nd:YAG-лазера, которые обеспечивают удовлетворительное формирование швов на алюминиевых сплавах АМг6 и Д16 толщиной 2–6 мм и 1420 толщиной 4 мм. Разработаны технологические приемы лазерной и гибридной лазерно-дуговой сварки элементов конструкций, которые применяются в авиа- и ракетостроении.

Установлены изменения геометрических параметров швов в зависимости от изменения мощности лазерного излучения (от 1,3 до 4,4 кВт) и тока дуги плавящегося электрода (от 50 до 200 А). Проведены металлографические исследования соединений алюминиевых сплавов систем легирования Al–Mg, Al–Cu–Mg и Al–Mg–Li.

Определено, что в сравнении с ИДСПЭ, гибридная сварка ИДСПЭ + СЛИ позволяет повысить в 2,0–2,5 раза скорость сварки металла толщиной 6 мм (в диапазоне скорости сварки 30–120 м/ч.), снизить в ~1,5 раза тепловложение в сварочный металл и значительно уменьшить деформации соединений толщиной 2–4 мм. Установлено, что введение в гибридный процесс импульсной модуляции лазерного излучения, равной по частоте однополярной импульсной модуляции дуги, позволяет улучшить формирование швов и увеличить глубину провара до 30 %. Влияние на геометрические параметры швов долей мощностей лазерного излучения и электрической дуги, при их общем действии в процессе гибридной лазерно-дуговой сварки, связано со сложными процессами, происходящими в дуге и вокруг дуговой зоны, а также с уменьшением доли мощности лазерного излучения, попадающего в сварочную ванну. Последнее обуславливается повышением поглощающей способности газо-плазменной среды над ванной (за счет аэрозолей, которые образуются при испарении и окислении капель электродного проволоки) и значительной отражающей способностью алюминиевых сплавов.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ КОРПУСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГРУЗОВЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНОВ

**В.Д. Шелягин¹, В.Ю. Хаскин¹, А.В. Бернацкий¹, А.В. Сиора¹,
А.Н. Палагеша¹, А.Ю. Туник¹, Е.И. Гончаренко¹, А.Д. Чепурной²**

¹*Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Киев, Украина*

²*Научно-инженерный центр УК «РГХ», Мариуполь, Украина*

Как показывает опыт экономически развитых стран, одной из перспектив модернизации современного вагоностроения является замена традиционной автоматической дуговой сварки лазерной и гибридной лазерно-дуговой сваркой. Это связано с повышением производительности труда (за счет повышения скорости сварки, ее автоматизации и уменьшения объемов подготовительных операций), повышением качества получаемых соединений, значительным снижением величин остаточных деформаций, улучшением условий труда сварщиков (в т.ч. за счет снижения выбросов вредных аэрозолей).

Лазерную сварку при изготовлении железнодорожного вагона целесообразно применять в тех случаях выполнения нахлесточных и прорезных швов, когда не требуется сквозное проплавление нижней из двух свариваемых пластин. В случаях необходимости сквозного проплавления и сварки стыковых соединений более перспективной является гибридная лазерно-дуговая сварка. Для улучшения формы шва, уменьшения его зернистости, повышения механических характеристик соединения и снижения остаточного термического влияния на свариваемые конструкции лазерную и гибридную сварку желательнее вести на высоких скоростях.

После выполнения сварочных работ необходим контроль сварных швов, позволяющий аттестовать процедуры сварки согласно EN ISO 15609. При этом целесообразно применять метод аттестации, основанный на испытании процедуры сварки.

Целью работы является разработка и подготовка технологии высокопроизводительной автоматизированной лазерной сварки фрагментов корпусных элементов крытых грузовых железнодорожных вагонов, изготовленных из стали 09Г2С, к аттестации.

RESEARCH PROGRESS OF SUPERSONIC LASER DEPOSITION TECHNOLOGY

Jianhua Yao^{1, 2}, V. Kovalenko^{1, 2, 3}

¹*Research Center of Laser Processing Technology and Engineering,
Zhejiang University of Technology, Hangzhou, P.R. China*

²*Zhejiang Provincial Collaborative Innovation Center of High-end Laser Manufacturing Equipment,
Hangzhou, P.R. China*

³*Laser Technology Research Institute of NTUU «KPI», Kiev, Ukraine*

Supersonic laser deposition (SLD) is a new coating and fabrication process in which a supersonic powder stream generated in cold spray (CS) impinges onto the substrate and a laser irradiates it simultaneously. It will be increasingly employed for depositing coatings and metal additive manufacturing because of its unique advantages: solid-state deposition of dense, homogeneous and pore-free coatings onto a range of substrate, high build rate at reduced operating costs without the use of expensive gas heating and large volumes of helium gas, and opening up a new opportunity for efficiently depositing high hardness metallic powders which are usually difficult to be deposited solely by CS.

Based on the current research results in our group, this paper systematically reviews the state of the art of supersonic laser deposition technique at home and abroad, from the viewpoints of materials selection, process optimization, properties characterization, equipment design and so on. The existing issues in these aspects are deeply analysed and the corresponding solutions are tentatively proposed. Meanwhile, the potential industrial applications of supersonic laser deposition technique in various fields are elaborated in detail as well as the future perspectives and challenges facing this technology, in order to provide insight for further investigations and innovation in supersonic laser deposition as an emerging combination additive remanufacturing technology with high efficiency, low cost and high quality.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ
POSTER PAPERS

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОЧОГО ІНСТРУМЕНТУ

М.І. Анякін, О.Т. Сердітов, Ю.В. Ключников, Г.С. Моїсеєнко, М.І. Піжов

Національний технічний університет України «КПІ», Київ, Україна

У роботі приведені результати підвищення ефективності робочого інструменту із сталей У8, Х12М шляхом формування на їх поверхнях різних покриттів, нанесених лазерним наплавленням та хіміко-термічною обробкою. Проведені дослідження та аналіз мікрогеометрії з використанням методів растрової мікроскопії. Встановлені особливості формування покриттів. Аналіз поверхонь зразків показав, що в процесі тривалої експлуатації (більше 700 годин) відбувається їх руйнування (поява мікротріщин, збільшення мікронерівностей, відколів та інших мікрodefektів), яке призводить до різкого зниження функціональних властивостей цих покриттів і працездатності інструмента в цілому.

В результаті склерометричних досліджень адгезійних властивостей покриттів встановлено, що критичне навантаження, при якому з'являлися перші відколи і відшаровування покриття, складало 145–165 Н, що значно перевищує критичне ударне навантаження в 10 Н/мм² при експлуатації інструментів (перового свердла) із сталі У8 без покриття.

Отримані методом атомно-силової мікроскопії за допомогою приладу NT-206V профілі інструменту із сталей Х12М та У8 без покриття і з покриттями вказують на високу суцільність покриття навіть після його тривалої експлуатації, яка в 1,4–1,6 рази перевищує час експлуатації інструменту без покриття за тих же режимів. Результати дослідження робочих інструментів без покриття та з покриттям дозволили підвищити термін експлуатації інструменту до 1300 годин порівняно з інструментом без покриття – 850 год при зусиллі на інструмент 180 Н.

ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СВАРКЕ И ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ: АНАЛИЗ ПО МАТЕРИАЛАМ ПУБЛИКАЦИЙ В СВАРОЧНЫХ ЖУРНАЛАХ И ТРУДАХ КОНФЕРЕНЦИЙ LTWMP

А.Т. Зельниченко, И.Ю. Романова

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Киев, Украина

В последнее десятилетие значительно возрос интерес к лазерным технологиям в сварке, резке, пайке, наплавке и другим технологиям термической обработки материалов, базирующихся на энергии лазерного излучения, что связано с появлением относительно дешевых, с низким потреблением энергии, компактных диодных лазеров, с возможностью подвода лазерного излучения по оптоволокну практически к любому операционному месту.

В докладе приведен анализ публикационной активности в указанной области лазерных технологий, базирующийся на публикациях за 2010–2014 гг. в журналах «Автоматическая сварка», «Biuletyn Instytutu Spawalnictwa», «Przegląd Spawalnictwa» и «Сварочное производство», а также в трудах конференций «Лазерные технологии в сварке и обработке материалов» (2003–2013 гг.).

СИНТЕЗ СВЕРХЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СТРУКТУР ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЛАЗЕРНОМ ОБЛУЧЕНИИ НАНОСТРУКТУРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДА

А.М. Прудников, В.Н. Варюхин, А.В. Завдоев

Донецкий физико-технический институт НАН Украины, Киев, Украина

На данный момент синтез кристаллических фаз нитрида углерода β -C₃N₄ еще не реализован в полной мере. Обнаружился ряд технологических проблем в получении такого рода материала, связанных с трудностями обеспечения высокой концентрации азота в веществе, а также с температурной нестабильностью конденсата в процессе роста. β -C₃N₄ является метастабильным при нормальных условиях. Поэтому для предотвращения обратного фазового перехода необходима достаточно быстрая релаксация термодинамических параметров к их нормальным условиям. К этой группе методов относится импульсная лазерная обработка.

В данной работе методом магнетронного распыления гибридной мишени было выращено две серии пленок: фуллереноподобные системы C–N и наноклонарные системы C–N–Ni. После роста образцы подвергались лазерному облучению наносекундным лазером ЛТИ-701 при нормальных условиях.

FEATURES AND BEHAVIOR OF PLASTICS AT LASER WELDING

***M.V. Iurzhenko, O.O. Tarasenko, V.L. Demchenko, A.O. Shadrin,
A.M. Palagesha, O.V. Fedoseeva, M.G. Menzheres***

E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, Kiev, Ukraine

Among the classical welding methods, laser welding has recently become an interesting alternative and offers a number of advantages. This method is characterized by improved optical properties, small heat affected zone, miniaturization, less thermal, mechanical or electrical load upon the product, less flash or no flash at all, feasibility of 3D weld geometries etc. Also in some cases it allows to weld dissimilar polymers, which cannot be welded by other methods.

There are two kinds of laser welding: overlap (transmission) welding and butt welding. Today the most commonly used is transmission welding. In this method the first material is transparent and the second is absorbing of the laser irradiation. Laser beam penetrates through the first polymer (upper) and it is absorbed by the second (lower) one. The result and process depend on the type of polymers and lasers. The major benefits of the transmission laser welding technique can be summarized as: weld high quality seam, no direct contact with the welding tool, flexible configurations of joint, controlled and localized energy input, high strengths of joint, minimal thermal motion and deformation. In process of the butt welding, laser beam focuses at the junction of two semi-transparent materials. The result and quality of junction depends on optical properties of plastics to be joined, their thickness and thermal properties.

There are no researches in Ukraine of plastics laser welding, and it is very vivid nowadays. The main areas of progress and plastics laser welding researches can be the following: multilayer film welding (triple layer joining), influence of different laser irradiations on different plastics, welding of high-temperature thermoplastics, technological features in welding of plastics.

In this work we present the results of investigations of laser irradiation influence of different lasers on engineering plastics like high density polyethylene, namely PE-100, PE-400, PP, PEEK and PEI plastics. CO₂, Nd:YAG and fiber lasers were used. This made it possible to investigate the effect of different wavelengths on each polymer. After lasers' processing the microscopic analysis of morphological changes in these plastics have been performed.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ РАБОЧЕГО КОЛЕСА РАДИАЛЬНОГО НАГНЕТАТЕЛЯ НР-7500 ПРИ ДУГОВОЙ И ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ

Д.С. Гаврилов, О.В. Махненко

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Киев, Украина

Определение сварочных деформаций крупногабаритных конструкций с большим количеством сварных соединений расчетными методами, основанными на общих подходах теории термопластичности, требует больших вычислительных затрат. В данной работе предложено усовершенствование известного подхода комбинированного использования общих методов термопластичности и приближенного метода функции усадки для прогнозирования общих деформаций конструкций.

С целью реализации метода функции усадки для сварных соединений сложной пространственной конфигурации использовался метод конечных элементов и усовершенствованная методика фиктивных температур для описания дополнительных усадочных деформаций в зоне сварных соединений с помощью моделирования соединяемых элементов конструкции как композитного двухслойного материала с анизотропным термическим расширением. Такое представление позволяет применять в конечно-элементной модели экономичные оболочечные элементы и легко задавать как продольную и поперечную усадки, так и угловые деформации для сварных соединений любого пространственного расположения и конфигурации.

Усовершенствованный подход комбинированного использования общих методов термопластичности и приближенного метода функции усадки был применен для прогнозирования общих деформаций новой сварной конструкции рабочего колеса радиального нагнетателя НР-7500.

На металлургических предприятиях Украины для откачивания продуктов сгорания мартеновских печей, агломерационных и конвертерных газов используются радиальные нагнетатели имеющие клепанную конструкцию. В связи с коротким сроком эксплуатации и необходимостью частого планового ремонта рабочего колеса в настоящее время разрабатывается принципиально новая сварная конструкция рабочего колеса радиального нагнетателя НР-7500.

В связи с высокими затратами на экспериментальное определение сварочных деформаций при разработке технологии изготовления колеса нагнетателя численное моделирование деформаций при сварке является наиболее целесообразным решением. С этой целью определены параметры функции усадки для таврового сварного соединения, типового для конструкции рабочего колеса, как для технологии дуговой сварки, так и для перспективной лазерной сварки. Для этого были рассчитаны с помощью методов термопластичности поля остаточных деформаций при сварке таврового соединения пластин из соответствующего металла и толщин при дуговой и лазерной сварке. Создана конечно-элементная модель колеса радиального нагнетателя. С помощью усовершенствованного метода функции усадки определены общие сварочные деформации после сварки всей конструкции. Результаты проведенного моделирования показали высокую эффективность усовершенствованного подхода прогнозирования общих деформаций.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Abdulakh V.** 11, 29
Алексеенко Т.А. 11, 32
Анякін М.І. 11, 13, 28, 43
- Бердникова Е.Н.** 11, 32
Бернацкий А.В. 10, 11, 12(3), 34, 37, 38, 39, 39(2)
Бушма А.И. 9, 10, 25, 31
- Варюхин В.Н.** 13, 44
- Гаврилов Д.С.** 13, 45
Gerhards V. 11, 12, 28, 29, 30
Головко Л.Ф. 10, 12, 35, 37
Гончаренко Е.И. 12, 39
Григоренко С.Г. 12, 38
Hubaiev K. 11, 29
- Danyleiko O.** 11, 26
Demchenko V. 9, 30
Demchenko V.L. 13, 44
Дінда Ван 10, 37
Dzhemelinskiy V. 11, 12, 26, 31
Драган Г.С. 11, 27
- Жданов С.Л.** 11, 34
Zhuk R. 11, 28
- Zabirov A.** 9, 11, 12, 28, 29, 30(2)
Завдоев А.В. 11, 13, 34, 44
Zang Q. 11, 28
Зельниченко А.Т. 13, 43
Ziyi Luo 9, 31
- Клочков И.Н.** 12, 38
Ключников Ю.В. 13, 43
Коваленко Д.В. 11, 28
Коваленко И.В. 11, 28
Kovalenko V. 9(3), 11, 27, 28, 40
Колесников К.В. 11, 27
Коржик В.Н. 9, 31
Кривцун И.В. 9(2), 10, 11(3), 12(2), 13, 28, 29(2), 30(2), 31, 35, 36, 37
Krikent I. 9, 11, 29, 30
Kubiak M. 9, 34
Курило В.А. 10, 37
- Lai Sanpin** 10, 26
Lamikiz A. 12, 31
Lesyk D. 11, 12, 26, 31
Li Bo 9, 25
Li Zhihong 9, 25
Liang Wang 10(2), 26
Лутай А.М. 10, 12, 35, 37
- Максименко А.А.** 11, 34
Маркашова Л.И. 11, 32
Martinez S. 12, 31
Махненко О.В. 10, 13, 33, 45
Menzheres M.G. 13, 44
- Моисеев Г.С. 13, 43
Mokrov O. 9, 30
Mordyuk B. 12, 31
Muzhichenko A. 10, 33
- Науменко В.А.** 10, 33
- Паллагеша А.Н.** 12(2), 13, 39(2), 44
Пасечникова Н.В. 10, 33
Піжов М.І. 13, 43
Piekarska W. 9, 34
Позняков В.Д. 11(2), 32, 34
Полишко А.А. 12, 38
Prokopenko G. 12, 31
Прудников А.М. 13, 44
- Reisgen U.** 9, 11(2), 12, 28, 29(2), 30(2)
Романов Б.С. 12, 35
Романова И.Ю. 13, 43
Рябинин В.А. 12, 38
- Саенко В.Я.** 12, 38
Saliy S. 11, 26
Semenov O. 11, 29
Сердігов О.Т. 13, 43
Saternus Z. 9, 34
Svirzhevskaya M. 11, 29
Сидорец В.Н. 9, 31
Снора А.В. 12(3), 38, 39(2)
Слободянюк В.П. 10, 37
Сом А.И. 12, 35
Song Shiying 10, 26
Степанюк С.Н. 12, 38
Сухін І.А. 13, 36
- Tarasenko O.O.** 13, 44
Туник А.Ю. 12(2), 38, 39
- Уманец Н.Н.** 10, 33
- Fedoseeva O.V.** 13, 44
- Хаскин В.Ю.** 9, 12(2), 31, 39(2)
Hu H. 11, 28
Hu Yong 10, 26
Худецький І.Ю. 13, 36
- Чепурной А.Д.** 12, 39
Чуншенг Ванг 10, 37
- Shadrin A.O.** 13, 44
Шевченко С.Б. 10, 37
Шелягин В.Д. 10, 11(2), 12(3), 32, 34, 37, 38, 39(2)
Шуба І.В. 10, 37
Шухуей Чжен 10, 37
- Iurzhenko M.V.** 13, 44
- Yang Lijing** 9, 25
Yao Jianhua 9(2), 10, 11, 25, 26, 28, 40

NAME INDEX

- A**
Abdulakh V. 19, 29
Aleksenko T.A. 19, 32
Anyakin M.I. 19, 21, 28, 43
- B**
Berdnikova E.N. 19, 32
Bernatsky A.V. 18, 19, 20(3), 34, 37, 38, 39(2)
Bushma A.I. 17, 18, 25, 31
- C**
Chepurnoy A.D. 20, 39
Chunsheng Wang 18, 37
- D**
Danyleiko O. 19, 26
Demchenko V. 17, 30
Demchenko V.L. 21, 44
Dinda Wan 18, 37
Dragan G.S. 19, 27
Dzhemelinskiy V. 19, 20, 26, 31
- F**
Fedoseeva O.V. 21, 44
- G**
Gavrilov D.S. 21, 45
Gerhards B. 19, 20, 28, 29, 30
Golovko L.F. 18, 20, 35, 37
Goncharenko E.I. 20, 39
Grigorenko S.G. 20, 38
- H**
Hu H. 19, 28
Hu Yong 18, 26
Hubaiev K. 19, 29
- I**
Iurzhenko M.V. 21, 44
- K**
Khaskin V.Yu. 17, 20(2), 31, 39(2)
Khudetsky I.Yu. 20, 36
Klochkov I.N. 20, 38
Klyuchnikov Yu.V. 21, 43
Kolesnikov K.V. 19, 27
Korzhyk V.N. 17, 31
Kovalenko D.V. 19, 28
Kovalenko I.V. 19, 28
Kovalenko V. 17(2), 19, 27, 28, 40
Krikent I. 17, 19, 29, 30
Krivtsun I.V. 17(2), 18, 19(3), 20(3), 28, 29(2), 30(2),
31, 35, 36, 37
Kubiak M. 17, 34
Kurilo V.A. 18, 37
- L**
Lai Sanpin 18, 26
Lamikiz A. 20, 31
Lesyk D. 19, 20, 26, 31
Li Bo 17, 25
Li Zhihong 17, 25
Liang Wang 18, 26
Lutay A.M. 18, 20, 35, 37
- M**
Makhnenko O. 18, 21, 33, 45
Maksimenko A.A. 19, 34
Markashova L.I. 19, 32
Martinez S. 20, 31
- Menzheres M.G. 21, 44
Moiseenko G.S. 21, 43
Mokrov O. 17, 30
Mordyuk B. 20, 31
Muzhichenko A. 18, 33
- N**
Naumenko V.A. 18, 33
- P**
Palagesha A.N. 20(2), 21, 39(2), 44
Pasechnikova N.V. 18, 33
Piekarska W. 17, 34
Pizhov M.I. 21, 43
Polishko A.A. 20, 38
Poznyakov V.D. 19(2), 32, 34
Prokopenko G. 20, 31
Prudnikov A.M. 21, 44
- R**
Reisgen U. 17, 19(2), 20, 28, 29(2), 30(2)
Romanov B.S. 20, 35
Romanova I.Yu. 21, 43
Ryabinin V.A. 20, 38
- S**
Saenko V.Ya. 20, 38
Saliy S. 19, 26
Saternus Z. 17, 34
Semenov O. 19, 29
Serditov O.T. 21, 43
Shadrin A.O. 21, 44
Shelyagin V.D. 18, 19(2), 20(3), 32, 34, 37, 38, 39(2)
Shevchenko S.B. 18, 37
Shuba I.V. 18, 37
Shukhuey Zhen 18, 37
Sidorets V.N. 17, 31
Siora A.V. 20(3), 38, 39(2)
Slobodyanyuk V.P. 18, 37
Som A.I. 20, 35
Song Shiyang 18, 26
Stepanyuk S.N. 20, 38
Sukhin I.A. 20, 36
Svirzhevskaya M. 19, 29
- T**
Tarasenko O.O. 21, 44
Tunik A.Yu. 20(2), 38, 39
- U**
Umanets N.N. 18, 33
- V**
Varyukhin V.N. 21, 44
- Y**
Yang Lijing 17, 25
Yao Jianhua 17(2), 18, 19, 25, 26, 28, 40
- Z**
Zabirov A. 17, 19, 20, 28, 29, 30(2)
Zang Q. 19, 28
Zavdoveev A.V. 19, 21, 34, 44
Zelnichenko A.T. 21, 43
Zhdanov S.L. 19, 34
Zhuk R. 19, 28
Ziyi Luo 17, 31