

Администрация Кемеровской области
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
Национальное Агентство Контроля Сварки
Кузбасский центр сварки и контроля
Томский политехнический университет
Ассоциация машиностроителей Кузбасса

**ИННОВАЦИИ В ТОПЛИВНО-
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ
КОМПЛЕКСЕ
И МАШИНОСТРОЕНИИ
(ТЭК-2022)**

**INNOVATIONS IN FUEL AND
ENERGY COMPLEX AND
MECHANICAL ENGINEERING
(FEC-2022)**

**III Международная научно-
практическая
конференция**

**III International
scientific and practical
conference**

Сборник трудов

Materials

19-21 апреля / April 2022 г.
Кемерово, Россия / Kemerovo, Russia

УДК 330:621.0(05)
ББК У305.4-551

Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении:
сборник трудов III Международной научно-практической конференция 19-21
апреля 2022 года / под ред. А. Н. Смирнова. – Кемерово : КузГТУ, 2022.
– 235 с.

ISBN 978-5-00137-295-0

В сборнике представлены труды Международной научно-практической конференции «Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении», отражающие актуальные проблемы ТЭК и машиностроения, вопросы импортозамещения, эксплуатации, ремонта и восстановления деталей и узлов потенциально опасного оборудования, развитию сварочного производства, технического диагностирования и экспертизы промышленной безопасности (ЭПБ).

Ответственный редактор
Смирнов А.Н.
Редакционная коллегия
Останин О.А.
Князьков В.Л.
Никитенко С.М.

За содержание предоставленной информации ответственность несут авторы.
Незначительные исправления и дополнительное форматирование было вызвано
приведением материалов к требованиям печати

©Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, 2022
ISBN 978-5-00137-295-0
©Авторы, 2022

Содержание

Приветственные слова	10	Words of Welcome
СЕКЦИЯ 1	19	SECTION 1
УГОЛЬНОЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ, ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ		COAL AND POWER ENGINEERING, IMPORT SUBSTITUTION
<i>Клишин Владимир Иванович</i> Механизированная крепь с управляемым выпуском межслоевой толщи угля	20	<i>Klishin Vladimir Ivanovich</i> Mechanized support with controlled release of interlayer coal
<i>Стародубов Алексей Николаевич</i> <i>Пылов Петр Андреевич</i> Модернизация архитектуры скрытой марковской модели как новая основа эффективного решения задачи интеллектуального учета энергопотребления	28	<i>Starodubov Alexey Nikolaevich</i> <i>Pylov Petr Andreevich</i> Modernization of Hidden Markov Model Architecture as a New Basis for Efficient Solution of the Problem of Intelligent Energy Metering
<i>Петренко Константин Петрович,</i> <i>Мальшикин Дмитрий Александрович</i> Закономерности формирования параметров шероховатости при ППД	37	<i>Petrenko Konstantin Petrovich,</i> <i>Malyshkin Dmitry Alexandrovich</i> Patterns of formation of roughness parameters during SPD
СЕКЦИЯ 2	43	SECTION 2
ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ТЭК, ИННОВАЦИИ В СВАРКЕ/НАПЛАВКЕ И УПРОЧНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ, ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ		THE RESTORATION OF THE EQUIPMENT OF TEK, INNOVATIONS IN WELDING/CLADDING AND HARDENING TECHNOLOGIES, FUNCTIONAL COATINGS
<i>Ковтунов Александр Иванович,</i> <i>Хохлов Юрий Юрьевич, Никитин</i> <i>Дмитрий Николаевич</i> Влияние ниобия на жаростойкость алитированных покрытий на титане	44	<i>Kovtunov Alexander Ivanovich,</i> <i>Khokhlov Yury Yuryevich, Nikitin Dmitry</i> <i>Nikolaevich</i> Influence of niobium on the heat resistance of aluminized coatings on titanium
<i>Комаров Андрей Андреевич, Киселев</i> <i>Павел Владимирович, Козырев</i> <i>Николай Анатольевич, Михно</i> <i>Алексей Романович, Усольцев</i> <i>Александр Александрович</i>	50	<i>Komarov Andrey Andreevich, Kiselev</i> <i>Pavel Vladimirovich, Kozyrev Nikolay</i> <i>Anatolievich, Mikhno Alexey</i> <i>Romanovich, Usoltsev Alexander</i> <i>Alexandrovich</i>

Повышение надежности деталей, работающих в условиях интенсивного износа, путем дуговой наплавки порошковой проволокой, дополнительно содержащей порошок титана		Improving the reliability of parts operating under conditions of intense wear by arc surfacing with flux-cored wire additionally containing titanium powder
<i>Михно Алексей Романович, Козырев Николай Анатольевич, Усольцев Александр Александрович, Жуков Андрей Владимирович</i> Исследования сварочного флюса, изготовленного из техногенного сырья металлургического производства, при проведении ремонтно-восстановительных работ металлургического оборудования	56	<i>Mikhno Alexey Romanovich, Kozyrev Nikolay Anatolievich, Usoltsev Alexander Alexandrovich, Zhukov Andrey Vladimirovich</i> Studies of the welding flux made from technogenic raw materials of metallurgical production during the repair and restoration work of metallurgical equipment
<i>Орлов Александр Семенович, Рубцова Елена Григорьевна, Сизинцев Сергей Валерьевич, Власова Екатерина Андреевна</i> Применение наноструктур (УНТ) для модифицирования сварочной ванны	61	<i>Orlov Alexander Semenovich, Rubtsova Elena Grigorievna, Sizintsev Sergey Valerievich, Vlasova Ekaterina Andreevna</i> The use of nanostructures (CNTs) for modifying the weld pool
<i>Мандров Борис Иванович, Лебедев Максим Николаевич, Ощепков Алексей Александрович, Маценко Илья Александрович, Хомутов Георгий Станиславович</i> Определение технических характеристик порошковой проволоки марки E71T-1 Ø 1,2 мм	66	<i>Mandrov Boris Ivanovich, Lebedev Maxim Nikolaevich, Oshchepkov Alexey Alexandrovich, Matsenko Ilya Alexandrovich, Khomutov Georgy Stanislavovich</i> Determination of the technical characteristics of the flux-cored wire grade E71T-1 Ø 1,2 mm
<i>Коротин Владимир Олегович</i> Поверхностное пластическое деформирование образцов с напыленным покрытием	72	<i>Korotin Vladimir Olegovich</i> Surface Plastic Deformation of Specimens with a Sputtered Coating
<i>Блюменштейн Валерий Юрьевич, Учайкин Сергей Евгеньевич</i> Анализ процессов ППД переходных поверхностей сложнопрофильными деформирующими инструментами	78	<i>Blumenstein Valery Yurievich, Uchaikin Sergey Evgenievich</i> Analysis of SPD processes of transitional surfaces with complex- profile deforming tools

- | | | |
|--|------------|---|
| <p><i>Атрощенко Валерий Владимирович,
Кагарманов Эдуард Илшатович,
Логачев Юрий Владимирович,
Сафиуллин Равиль
Шамилевич, Шугаипов Шамиль
Данилевич</i></p> <p>Влияние параметров режима на
формирование сварного соединения
при сварке трением с
перемешиванием</p> | <p>83</p> | <p><i>Atroshchenko Valery Vladimirovich,
Kagarmanov Eduard Ilshatovich,
Logachev Yury Vladimirovich, Safiullin
Ravil Shamilovich, Shugaipov Shamil
Danilevich</i></p> <p>Influence of mode parameters on the
formation of a welded joint in friction
stir welding</p> |
| <p><i>Атрощенко Валерий Владимирович,
Логачев Юрий Владимирович,
Садрисламов Артем Радифович,
Селиванов Алексей Сергеевич,
Лобачев Владислав Сергеевич</i></p> <p>Особенности формирования
соединений меди при сварке трением
с перемешиванием</p> | <p>89</p> | <p><i>Atroshchenko Valery Vladimirovich,
Logachev Yury Vladimirovich,
Sadrislamov Artem Radifovich,
Selivanov Alexey Sergeevich, Lobachev
Vladislav Sergeevich</i></p> <p>Peculiarities of Formation of Copper
Joints in Friction Stir Welding</p> |
| <p><i>Атрощенко Валерий Владимирович,
Логачев Юрий Владимирович,
Садрисламов Артем Радифович,
Селиванов Алексей Сергеевич,
Лобачев Владислав Сергеевич</i></p> <p>Особенности формирования
соединений стали при сварке
трением с перемешиванием</p> | <p>95</p> | <p><i>Atroshchenko Valery Vladimirovich,
Logachev Yury Vladimirovich,
Sadrislamov Artem Radifovich,
Selivanov Alexey Sergeevich, Lobachev
Vladislav Sergeevich</i></p> <p>Features of the formation of steel joints
in friction stir welding</p> |
| <p><i>Собачкин Алексей Викторович,
Попова Анастасия Александровна</i></p> <p>Газодетонационное напыление
порошковых СВС-материалов на
основе алюминидов титана</p> | <p>100</p> | <p><i>Sobachkin Alexey Viktorovich, Popova
Anastasia Alexandrovna</i></p> <p>Gas Detonation Spraying of SHS
Powder Materials Based on Titanium
Aluminides</p> |
| <p><i>Князьков Константин Викторович,
Князьков Виктор Леонидович</i></p> <p>Исследование влияния модификации
наноразмерными частицами Al_2O_3 на
формирование наплавленного слоя
бронзы БРаж9-4 плазменно-
порошковой наплавкой</p> | <p>105</p> | <p><i>Knyazkov Konstantin Viktorovich,
Knyazkov Viktor Leonidovich</i></p> <p>Investigation of the influence of
modification with Al_2O_3 nanoparticles
on the formation of the deposited layer
of bronze BRaZh9-4 by plasma-powder
surfacing</p> |
| <p><i>Малушин Николай
Николаевич, Громов Виктор
Евгеньевич, Романов
Денис Анатольевич, Бащенко
Людмила Петровна,
Ковалев Андрей Петрович</i></p> | <p>111</p> | <p><i>Malushin Nikolai Nikolaevich, Gromov
Viktor Evgenievich, Romanov Denis
Anatolyevich, Bashchenko Lyudmila
Petrovna, Kovalev Andrey Petrovich</i></p> <p>Application of a complex of hardening
technologies to increase the efficiency of</p> |

Применение комплекса упрочняющих технологий для повышения эффективности плазменной наплавки теплостойкими сплавами		plasma surfacing with heat-resistant alloys
<i>Атрощенко Валерий Владимирович, Сафиуллин Равиль Шамилевич, Кагарманов Эдуард Илшатович, Никитин Владислав Валерьевич, Бачаев Денис Александрович</i> Исследование свариваемости плакированных сталей	117	<i>Atroshchenko Valery Vladimirovich, Safiullin Ravil Shamilevich, Kagarmanov Eduard Ilshatovich, Nikitin Vladislav Valerievich, Bachaev Denis Aleksandrovich</i> Investigation of the weldability of clad steels
<i>Киселев Вадим Сергеевич, Радченко Михаил Васильевич, Шевцов Юрий Олегович</i> Система контроля и измерения температуры нагрева сверхзвуковых газовых струй	123	<i>Kiselev Vadim Sergeevich, Radchenko Mikhail Vasilievich, Shevtsov Yuri Olegovich</i> Development of a system for measuring the velocity of powder alloy particles during SGP surfacing by an integral correlation method
<i>Киселев Вадим Сергеевич, Радченко Михаил Васильевич</i> Разработка системы измерения скорости частиц порошкового сплава при СГП-наплавке интегральным корреляционным методом	129	<i>Kiselev Vadim Sergeevich, Radchenko Mikhail Vasilievich</i> Development of a system for measuring the speed of particles of a powder alloy during SGP surfacing by the integral correlation method
СЕКЦИЯ 3 НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРТИЗА ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ТЭК	135	SECTION 3 NDT, TECHNICAL DIAGNOSTICS AND EXAMINATION OF INDUSTRIAL SAFETY OF EQUIPMENT OF FEC
<i>Сясько Владимир Александрович, Галкин Денис Игоревич</i> Перспективы развития приборостроения в неразрушающем контроле	136	<i>Syasko Vladimir Aleksandrovich, Galkin Denis Igorevich</i> Prospects for the development of instrumentation in non-destructive testing
<i>Алешин Николай Павлович, Крысько Николай Владимирович, Щипаков Никита Андреевич, Кусый Андрей Геннадьевич</i>	141	<i>Aleshin Nikolai Pavlovich, Krysko Nikolay Vladimirovich, Shchipakov Nikita Andreyevich, Kusyi Andrey Gennadievich</i>

Подходы на основе цифровых технологий при комплексной диагностике различными физическими методами неразрушающего контроля		Approaches based on digital technologies for complex diagnostics by various physical methods of non-destructive testing
<i>Шубочкин Андрей Евгеньевич</i> Универсальные шаблоны ВИК	146	<i>Shubochkin Andrey Evgenievich</i> Universal VIC Templates
<i>Ефимов Алексей Геннадьевич</i> Возможность применения метода магнитной структуроскопии для контроля напряженно-деформированного состояния конструкционных сталей и сплавов	152	<i>Efimov Alexey Gennadievich</i> The possibility of using the method of magnetic structuroscopy to control the stress-strain state of structural steels and alloys
<i>Батенков Кирилл Александрович</i> Расчет амплитудно-частотной характеристики аналоговых окончаний телекоммуникационных сетей	157	<i>Batenkov Kirill Alexandrovich</i> Calculation of the amplitude-frequency characteristic of analog terminations of telecommunication networks
<i>Каташинский Сергей Иванович, Лось Андрей Владимирович, Лютарь Виталий Станиславович, Гаркаев Евгений Александрович</i> Оценка остаточного ресурса вертикальных резервуаров	162	<i>Katashinsky Sergey Ivanovich, Los Andrey Vladimirovich, Lyutar Vitaly Stanislavovich, Garkae Evgeny Alexandrovich</i> Estimation of the residual life of vertical tanks
<i>Каташинский Сергей Иванович, Лось Андрей Владимирович, Лютарь Виталий Станиславович, Гаркаев Евгений Александрович</i> Техника и технология неразрушающей диагностики состояния металла элементов сварных конструкций	167	<i>Katashinsky Sergey Ivanovich, Los Andrey Vladimirovich, Lyutar Vitaly Stanislavovich, Garkae Evgeny Alexandrovich</i> Technique and technology for non-destructive diagnostics of the state of the metal of elements of welded structures
<i>Артемьев Руслан Евгеньевич, Атрощенко Валерий Владимирович, Савичев Максим Павлович</i> Разработка методики неразрушающего контроля сварных соединений газопроводов с выполнением совместного анализа данных визуально-измерительного, радиографического и ультразвукового методов	172	<i>Artemiev Ruslan Evgenievich, Atroshchenko Valery Vladimirovich, Savichev Maxim Pavlovich</i> Development of a method for non-destructive testing of welded joints of gas pipelines with the implementation of a joint analysis of data from visual-measuring, radiographic and ultrasonic methods

Бобров Алексей Леонидович, Кутень Мария Михайловна Анализ эффективности систем мониторинга трубопроводов в условиях эксплуатации	178	<i>Bobrov Alexey Leonidovich, Kuten Maria Mikhailovna</i> Analysis of the effectiveness of pipeline monitoring systems in operation
Абабков Николай Викторович, Смирнов Александр Николаевич, Фольмер Сергей Владимирович, Пимонов Максим Владимирович Инновационные подходы к оценке работоспособности металла длительно работающего энергетического оборудования	183	<i>Ababkov Nikolay Viktorovich, Smirnov Alexander Nikolaevich, Volmer Sergey Vladimirovich, Pimonov Maxim Vladimirovich</i> New approaches to assessing the performance of the metal of long-term power equipment
Тюрин Сергей Иванович, Гильманишина Татьяна Ренатовна, Ковалева Ангелина Адольфовна, Крицкий Дмитрий Юрьевич, Кашубский Иван Николаевич, Баланев Руслан Олегович Исследование структуры аустенитных сталей, применяемых в горном машиностроении	193	<i>Tyurin Sergey Ivanovich, Gilmanshina Tatyana Renatovna, Kovaleva Angelina Adolfovna, Kritsky Dmitry Yurievich, Kashubsky Ivan Nikolaevich, Balanov Ruslan Olegovich</i> Study of the structure of austenitic steels used in mining engineering
Герике Борис Людвигович, Швыдкин Сергей Анатольевич Оценка технического состояния несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов	199	<i>Gerike Boris Lyudvigovich, Shvydkin Sergey Anatolyevich</i> Assessment of the technical condition of the supporting metal structures of mining dump trucks
Герике Павел Борисович, Герике Борис Людвигович Разработка системы единых диагностических критериев для оценки технического состояния горных машин и оборудования по параметрам механических колебаний	206	<i>Gerike Pavel Borisovich, Gerike Boris Ludwigovich</i> Development of a system of unified diagnostic criteria for assessing the technical condition of mining machines and equipment according to the parameters of mechanical vibrations
Ожиганов Евгений Анатольевич Оценка остаточного ресурса трубопроводов из конструкционных сталей при проведении стресс- испытаний	214	<i>Ozhiganov Evgeny Anatolievich</i> Estimation of the residual life of pipelines made of structural steels during stress testing

<i>Абабков Николай Викторович, Пимонов Максим Владимирович, Левашова Елена Евгеньевна</i>	218	<i>Ababkov Nikolai Viktorovich, Pimonov Maxim Vladimirovich, Levashova Elena Evgenievna</i>
Исследование микроструктуры и механических характеристик поверхностного слоя образцов после наплавки и механической обработки		Study of the microstructure and mechanical characteristics of the surface layer of specimens after surfacing and machining
СЕКЦИЯ 4	225	SECTION 4
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ		IMPROVEMENT OF EDUCATION
ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ		IN THE FIELD OF TRAINING FOR
ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ		ENERGY COMPANIES
ПРЕДПРИЯТИЙ ТЭК		
<i>Стерлигов Владислав Викторович, Михайличенко Татьяна Алексеевна</i>	226	<i>Sterligov Vladislav Viktorovich, Mikhailichenko Tatyana Alekseevna</i>
Образование должно быть прогностическим		Education must be predictive
<i>Белкин Денис Сергеевич, Першина Анна Александровна, Скрипко Степан Игоревич</i>	232	<i>Belkin Denis Sergeevich, Pershina Anna Aleksandrovna, Skripko Stepan Igorevich</i>
Трансформация подходов в образовании		Transformation of approaches in education

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА УПРОЧНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКИ ТЕПЛОСТОЙКИМИ СПЛАВАМИ

APPLICATION OF A COMPLEX OF HARDENING TECHNOLOGIES TO INCREASE THE EFFICIENCY OF PLASMA SURFACING WITH HEAT-RESISTANT ALLOYS

Малушин Николай Николаевич¹,
Malushin N. N.
Громов Виктор Евгеньевич¹,
Gromov V.E.
Романов Денис Анатольевич¹,
Romanov D.A.
Бащенко Людмила Петровна¹,
Bashchenko L.P.
Ковалев Андрей Петрович¹
Kovalev A.P.

¹ФГБОУ ВО Сибирский государственный индустриальный университет
654007, Россия, г. Новокузнецк, Центральный район, ул. Кирова, зд. 42

¹Siberian State Industrial University

654007, Russia, Novokuznetsk, Central district, Kirova str., zd. 42

e-mail: nmalushin@mail.ru, gromov@physics.sibsiu.ru, romanov_da@physics.sibsiu.ru,
luda.baschenko@gmail.com, Andreiiii70@mail.ru

Аннотация: Основу упрочнения наплавленных деталей обеспечивает плазменная наплавка в среде азота порошковыми проволоками, разработанными на базе экономно-легированных теплостойких сплавов. Дополнительное повышение твердости и износостойкости обеспечивает высокотемпературный отпуск, ультразвуковая поверхностная упрочняющая обработка и рекристаллизационный отжиг.

Ключевые слова: плазменная наплавка в среде азота, теплостойкие сплавы, высокотемпературный отпуск, поверхностная упрочняющая обработка, рекристаллизационный отжиг.

Abstract. The basis of hardening of the deposited parts is provided by plasma surfacing in a nitrogen medium with powder wires developed on the basis of economically alloyed heat-resistant alloys. An additional increase in hardness and wear resistance is provided by high-temperature tempering, ultrasonic surface hardening treatment (UPO) and recrystallization annealing.

Keywords: plasma surfacing in nitrogen, heat-resistant alloys, high-temperature tempering, surface hardening treatment, recrystallization annealing.

Введение

Для упрочнения деталей горно-металлургического оборудования широко применяются наплавочные материалы, разработанные на базе теплостойких быстрорежущих сталей [1, 2]. Основной трудностью, возникающей при наплавке

теплостойкими сплавами, является образование холодных (закалочных) трещин. Для предупреждения трещин применяют обязательный предварительный подогрев деталей до температуры 350 – 700 С. Существенным недостатком традиционной технологии является обязательное применение высокотемпературного подогрева, замедленного охлаждения и, как следствие, последующей закалки наплавленного слоя. Закалка биметаллического изделия является сложной задачей из-за различных свойств наплавленного высоколегированного слоя и низколегированной сердцевины. Существующие технологические процессы наплавки теплостойкими сплавами не позволяют достаточно полно использовать свойства металла наплавленного слоя [1, 2]. Именно поэтому актуальной является задача разработки новых способов наплавки теплостойкими сплавами и применения дополнительных упрочняющих технологий, которые позволяют устранить отмеченные недостатки традиционной технологии и полностью использовать высокую твердость и износостойкость используемых материалов.

Цель работы – разработка способов наплавки теплостойкими сплавами высокой твердости, обеспечивающих получение наплавленного металла в закаленном состоянии без образования трещин и применение дополнительных упрочняющих технологий для повышения эффективности использования высоколегированных теплостойких сплавов.

Теория

Получить наплавленный металл, который обладает высокой стойкостью против образования холодных трещин и высокими механическими свойствами сразу же после окончания наплавки, можно путем регулирования термического цикла наплавки. Предлагаемый термический цикл для многослойной наплавки теплостойкими сплавами показан на рисунке 1 (где t_{10} – время, необходимое для образования 10 % мартенсита; t_{30} – время, необходимое для образования 30 % мартенсита) [2].

Особенностью предложенных способов наплавки [3] является применение низкотемпературного предварительного и сопутствующего подогрева. Для получения наплавленного металла с низкой склонностью к образованию трещин регулируется уровень временных напряжений в процессе наплавки путем их частичной релаксации за счет проявления эффекта кинетической пластичности в момент протекания мартенситного превращения. Релаксация временных напряжений в интервале температур мартенситного превращения предотвращает образование трещин в процессе наплавки.

Охлаждение наплавленных слоев и изотермическая выдержка в интервале мартенситного превращения приводит к термической стабилизации аустенита. При этом наплавленный металл в процессе наплавки на 70 – 90 % состоит из стабилизированного аустенита. При увеличении количества аустенита снижаются напряжения, увеличивается пластичность, уменьшаются объемные изменения, деформации и чувствительность к трещинам.

Особенностями предложенного термического цикла наплавки также являются: ограниченное время пребывания наплавленного металла в высокотемпературной зоне; высокие скорости охлаждения металла в области минимальной устойчивости аустенита; сохранение металла в аустенитном состоянии до завершения процесса наплавки путем применения предварительного подогрева с температурой $M_n + (50 \div 100)$ С (рисунок 1). Для уменьшения уровня накопившихся в аустенитной области временных напряжений предложено кратковременное снижение температуры подогрева на 20 – 100 °С ниже значения M_n . Снижение температуры подогрева в процессе многослойной наплавки приводит к частичной релаксации временных напряжений, которая происходит в основном за счет эффекта сверхпластичности в момент мартенситного превращения. Релаксация временных напряжений в интервале температур мартенситного превращения предотвращает образование трещин в

процессе многослойной наплавки. Уровень релаксации временных напряжений обеспечивается временем выдержки t_B при температурах ниже M_n

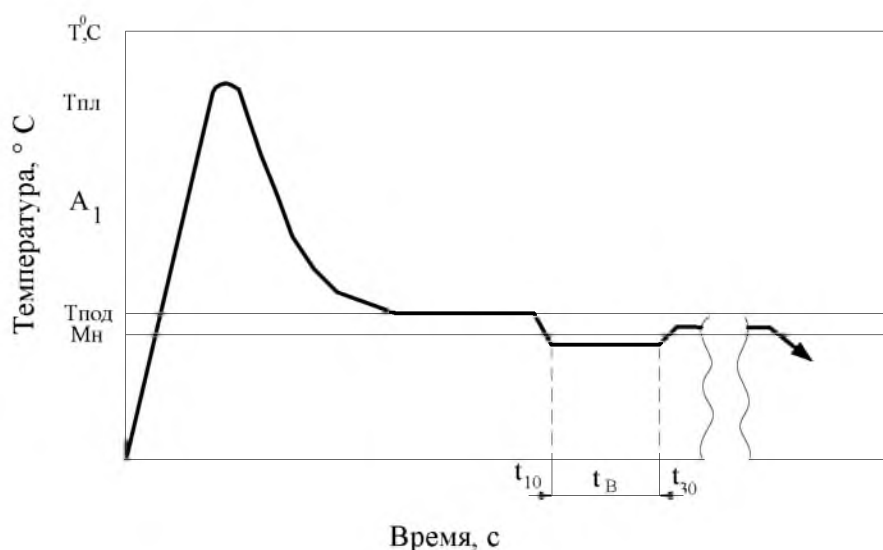


Рисунок 1 – Схема термического цикла при наплавке теплостойкими сталями

В качестве способа выбрана плазменная наплавка нетоковедущей присадочной порошковой проволокой. Для плазменной наплавки нетоковедущей порошковой проволокой использована установка, скомпонованная из серийно выпускаемого оборудования.

Результаты и их обсуждение

Выбор плазменной наплавки как базового способа нанесения износостойких покрытий объясняется рядом преимуществ плазменной наплавки: высокая производительность; широкая возможность легирования наплавленного металла; возможность применения различных наплавочных металлов. Большой диапазон регулирования ввода теплоты в основной и наплавляемый металлы позволяет реализовать предлагаемый термический цикл наплавки. Перечисленные положительные стороны способов плазменной наплавки не только существенно расширяют технологические возможности их применения, но и позволяют получать значительный экономический эффект за счет наплавки слоев с минимальной глубиной проплавления и сохранения первоначальных физико-механических свойств наплавленного металла. Особенностью сжатой дуги как источника тепла является также то, что ее тепловые и газодинамические характеристики могут легко регулироваться в широких пределах. Использование сжатой дуги обратной полярности позволяет устранить трудоемкие, усложняющие технологический процесс наплавки операции по предварительной очистке поверхности изделия. Очистка наплавляемой поверхности от загрязнений происходит в этом случае непосредственно в процессе наплавки за счет эффекта катодного распыления, чем обеспечиваются необходимые условия смачиваемости поверхности изделия наплавляемым металлом и бездефектное формирование наплавленного слоя. При плазменной наплавке на обратной полярности достигается также меньшее разбавление наплавляемого металла основным [2].

Наиболее эффективным для решения ряда технологических задач при наплавке деталей горно-металлургического оборудования типа тел вращения является применение процесса плазменной наплавки на обратной полярности в защитно-легирующей среде азота

с нетоковедущей присадочной порошковой проволокой [4]. Использование азота в качестве защитного газа по сравнению с аргоном позволяет не только снизить затраты на наплавку, но и эффективно легировать наплавленный металл азотом из газовой фазы непосредственно в процессе наплавки, что существенно повышает его твердость и износостойкость. Предотвращение образования пор в наплавленном металле достигается введением в порошковую проволоку элементов, имеющих большее сродство к азоту и связывающих его в стойкие нитриды. Положительно на увеличении твердости наплавленного металла и предотвращении образования пор при плазменной наплавке в азоте сказывается введение в шихту порошковой проволоки алюминия в определенных пределах. В процессе наплавки происходит легирование наплавленного металла азотом непосредственно из газовой фазы, что позволяет дополнительно повысить твердость рабочего слоя изделия. Алюминий вводят в состав шихты порошковой проволоки для устранения пористости. Алюминий связывает избыточный азот в нерастворимые в жидком металле соединения, способные дополнительно упрочнять металл за счет образования мелкодисперсных частиц нитридов. Дополнительно улучшить свойства наплавленного высоколегированного металла, а также обеспечить благоприятное напряженное состояние позволяет применение высокотемпературного отпуска. Так, твердость металла после наплавки порошковыми проволоками ПП-Р2М9ЮН составляет 52 – 57 HRC. Структура наплавленного металла при этом близка по своему составу к структуре быстрорежущей стали Р2М9Ю в закаленном состоянии и состоит из мартенсита (около 70 %), карбидов (до 20 %) и остаточного аустенита (до 10 %). Трех – четырехкратный высокотемпературный отпуск при температуре 580 °С увеличивает твердость наплавленного металла до 62 – 64 HRC. Увеличение твердости объясняется превращением остаточного аустенита в мартенсит и эффектом дисперсионного твердения. Твердость наплавленного металла после отпуска на вторичную твердость достигает 64 – 66 HRC [2].

Типичная структура наплавленного металла после многослойной плазменной наплавки и высокотемпературного отпуска приведена на рисунке 2 (исследование проведено методом растровой электронной микроскопии [5]).

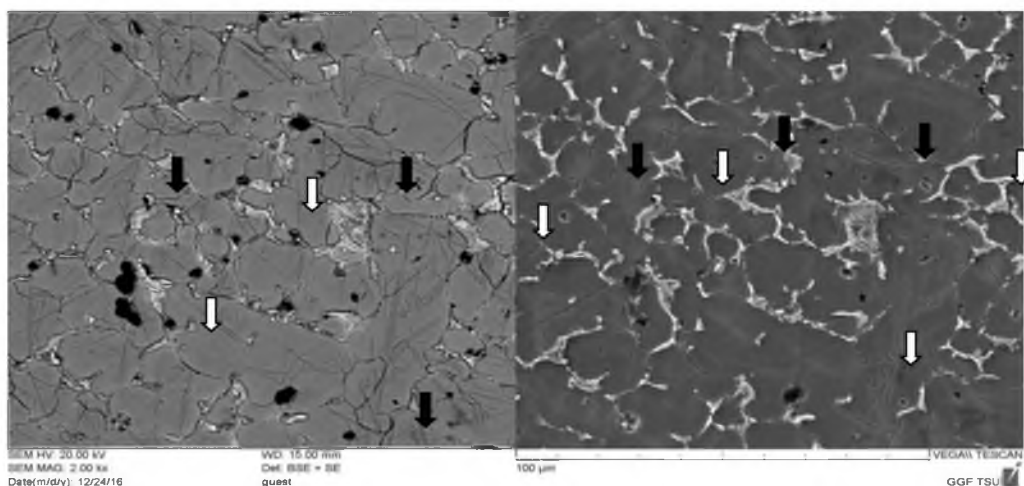


Рисунок 2 – Структура поверхности наплавленного слоя после наплавки и высокотемпературного отпуска (цементит указан светлыми стрелками, зерна перлита – черными)

Повышение износостойкости наплавленных валков объясняется наличием в структуре мелкодисперсных карбидов и карбонитридов. Наличие в поверхностном слое наплавленных деталей сжимающих напряжений и отсутствие резкого перехода сжимающих

напряжений в растягивающие напряжения является, также, одним из факторов, способствующих повышению износостойкости.

Основными причинами выхода из строя наплавленных деталей являются естественный износ, отслоения и отколы. Отслоение связано с образованием очагов усталостного разрушения в глубине детали. Очаги усталостного разрушения располагаются в зоне сплавления основного металла с наплавленным. Для дальнейшего повышения работоспособности наплавленных деталей применены дополнительные технологии упрочнения.

При применении дополнительно после наплавки ультразвуковой поверхностной упрочняющей обработки можно повысить твердость до 64 – 66 HRC. Применять дополнительно азотирование наплавленного теплостойкого металла не следует, так как эффект упрочнения не значителен. Резервы повышения качества наплавленных деталей заложены в процессе их эксплуатации путем применения рекристаллизационного отжига. Использование отжига в процессе эксплуатации наплавленных деталей приводит пластически деформированный металл в более устойчивое структурное состояние, причем за счет явления рекристаллизации полностью снимается наклеп зоны сплавления основного металла с наплавленным металлом, восстанавливается его усталостная прочность до первоначальных значений. Устранение зоны наклепа предотвращает зарождение очагов усталостного разрушения и существенно снижает вероятность образования отслоений, за счет чего стойкость возрастает.

Схема предлагаемого технологического обеспечения высокого качества и работоспособности наплавленных деталей состоит из следующих этапов. Предлагается активный рабочий слой валка наносить, используя плазменную наплавку теплостойкими сплавами высокой твердости. Улучшить свойства наплавленного высоколегированного металла, а также обеспечить благоприятное напряженное состояние позволяет применение дополнительно после наплавки высокотемпературного отпуска и ультразвуковой поверхностной упрочняющей обработки. В случае выхода наплавленной детали из строя возможна его восстановительная наплавка.

Выводы

Установлено, что технология плазменной наплавки на обратной полярности в защитно-легирующей среде азота с нетоковедущей присадочной порошковой проволокой типа ПП-Р2М9Ю по разработанным способам и применяемый наплавочный материал позволяют получить качественный наплавленный сплав без трещин, пор, шлаковых включений и дефектов макро- и микроструктуры и это является физической основой упрочнения поверхностного слоя наплавленных деталей. Основной дополнительный вклад в упрочнение вносит высокотемпературный отпуск и ультразвуковая поверхностная упрочняющая обработка.

Список литературы

1. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. акад. Б.Е. Патона. М.: Машиностроение, 1974. 768 с.
2. Малушин Н.Н., Валуев Д.В. Обеспечение качества деталей металлургического оборудования на всех этапах их жизненного цикла путем применения плазменной наплавки теплостойкими сталями. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. 358 с.
3. Пат. РФ № 2699488. Способ многослойной наплавки теплостойкими сталями высокой твердости в азотсодержащей среде / Н.Н. Малушин, Д.А. Романов, В.Л. Осетковский, А.П. Ковалев, Е.А. Будовских, Д.В. Валуев. Заявл. 20.02.2019; опубл. 05.09.2019. Бюл. № 25.

4. Пат. РФ № 2681049 Шихта порошковой проволоки для наплавки в азотсодержащей среде / Н.Н. Малушин., Е.А. Будовских, В.Л. Осетковский, А.П. Ковалев, И.В. Осетковский, Р.А. Гизатулин. Заявл. 21.11.2017; опубл. 01.03.2019. Бюл. № 7.

5. Малушин Н.Н., Романов Д.А., Ковалев А.П., Осетковский В.Л., Бащенко Л.П. Структурно-фазовое состояние теплостойкого сплава высокой твердости, сформированного плазменной наплавкой в среде азота и высокотемпературным отпускком // Известия вузов. Физика. 2019. Т. 62. № 10 (742). С. 106–111.

Научное издание

ИННОВАЦИИ В ТОПЛИВНО-
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ
И МАШИНОСТРОЕНИИ
(ТЭК-2022)

INNOVATIONS IN FUEL AND
ENERGY COMPLEX AND
MECHANICAL ENGINEERING
(FEC-2022)

III Международная научно–
практическая
конференция

III International
scientific and practical
conference

Сборник трудов

Materials

19-21 апреля / April 2022 г.
Кемерово, Россия / Kemerovo, Russia

Труды конференции отпечатаны по оригиналам,
представленными авторами

Ответственный редактор Смирнов А.Н.
Технический редактор Останин О.А.
Компьютерная верстка Бородин Д.А.

Подписано в печать 18.04.2021
Бумага белая писчая
Уч.-изд. л. 29,375
Заказ

Формат 60x84/8
Отпечатано на МФУ
Тираж 100 экз.

КузГТУ
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28