

ПРИМЕНЕНИЕ СВАРКИ ДЛЯ РЕСТАВРАЦИИ ЧУГУННОГО ПЕРИЛЬНОГО ОГРАЖДЕНИЯ МОСТА КОЦЕБУ В ОДЕССЕ

В. Д. ПОЗНЯКОВ, Ю. В. ДЕМЧЕНКО, А. М. ДЕНИСЕНКО, Г. В. ЖУК, В. Б. КОЗЫРЕВ
ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Представлены результаты оценки фактического состояния чугунного перильного ограждения моста Коцебу и возможности применения сварки для его реставрации. Согласно указаний СРП 2007.4.1 по проведению реставрационных работ на объектах культурного наследия, осуществлен экспертный осмотр демонтированных элементов, составлены дефектные ведомости и выполнен комплекс исследований по идентификации и свариваемости чугуна. Установлено, что особенности свариваемости такого чугуна обусловлены его перлитной структурой, содержанием углерода, газонасыщенностью, проникновением продуктов коррозии вглубь основного металла, низкой пластичностью, а также склонностью к образованию в металле ЗТВ цементита, ледебурита и сварочных напряжений. Разработаны принципы минимизации влияния этих факторов на свариваемость. Отработан подход к выбору способа сварки и сварочных материалов. Установлено, что наиболее полно требованиям удовлетворяет механизированный способ сварки самозащитной высоконикелевой проволокой марки ПАНЧ-11. На его основе разработана и реализована в авторском сопровождении технология восстановления целостности всех основных архитектурно-декоративных элементов перильного ограждения (решеток, гербов и карнизов). Библиогр. 7, табл. 2, рис. 7.

Ключевые слова: перильное ограждение, архитектурно-декоративные элементы, перлитный чугун, свариваемость, реставрация, механизированная МАГ сварка, самозащитная высоконикелевая проволока ПАНЧ-11

Мост Коцебу — один из самых известных одесских мостов был сооружен в 1892 г. (архитектор Ландесман С. А.) над Карантинной балкой, ныне Деволановский спуск), соединив два участка улицы Полицейской (ныне Бунина). Его несущие металлические конструкции изготавливались во Франции в мастерских Густава Эйфеля, который на то время уже прославился как создатель в 1889 г. наиболее высокого строения в мире — Эйфелевой башни высотой 324 м. Металлоконструк-

ции моста как и башни изготовлены из одинаковых материалов, в тех же условиях и практически в одно время, что мотивировало одесситов даже назвать его младшим братом башни Эйфеля. Монтаж осуществлялся на месте установки в г. Одесса. Общий вид моста в конце XIX века представлен на рис. 1. Назван в честь последнего Новороссийского генерал-губернатора Коцебу П. Е. Мост украшает литое чугунное перильное ограждение. На специальных решетках в центре панно вмон-



Рис. 1. Общий вид моста в конце XIX века

© В. Д. Позняков, Ю. В. Демченко, А. М. Денисенко, Г. В. Жук, В. Б. Козырев, 2018

тированы литые гербы Одессы — по одному с каждой стороны. За свою оригинальность перильное ограждение моста в 1985 г. удостоено статуса культурного наследия, а в 2008 г. мост внесен в государственный реестр недвижимых памятников архитектуры.

Изменение облика перильного ограждения за 125-летнюю историю удалось отследить на основе анализа фотоснимков из тематических публикаций о мосте Коцебу в городских средствах массовой информации, поскольку технических документов не сохранилось. На рис. 2 видно общее неудовлетворительное состояние ансамбля перильного ограждения. Столбы ограждения от падения спасали заливкой внутренней полости бетоном и установкой растяжек (рис. 2, а), что

препятствовало передвижению тротуаром. Практически было утрачено большинство съемных перил, за исключением нескольких, отлитых заодно с решетками, очевидно при послевоенной реставрации еще в середине XX века. Что касается подгербовых решеток, то они были усилены в это же время швеллерами (рис. 2, б), что явно снижало художественную составляющую восприятия шедевра искусства литья. Гербы утратили свои завитковые украшения — волноту (рис. 2, в).

В 2011 г. несущие конструкции проезжей части моста и ансамбль чугунного перильного ограждения признаны аварийными и нуждающимися в капитальном ремонте, в связи с чем мост вывели из эксплуатации и в июне 2016 г. начали его реконструкцию. Проектом реконструкции предусмотрены реставрация и сохранение оригинальной арочной части, без вовлечения ее в работу мостовых конструкций. Транспортную нагрузку на себя теперь возьмут новые пролетные конструкции, удовлетворяющие современным требованиям. Что касается перильного ограждения, то после реставрации оно должно сохранить свое предназначение в прежнем облике.

Генподрядчик реконструкции моста Коцебу ООО «РОСДОРСТРОЙ» поручил Институту электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины выполнить в соответствии с требованием указаний [1] по проведению реставрационных работ на объектах культурного наследия, оценку фактического состояния перильного ограждения и возможности применения сварки для его реставрации с максимально высокой степенью сохранения аутентичности. В сжатые сроки предстояло изучить конструктивное, техническое и художественное состояние сохранности, установить наиболее вероятные факторы, причины и масштабы потери целостности, подготовить дефектные ведомости, выполнить комплекс исследований по идентификации и свариваемости конструкционного чугуна, разработать технические решения и технологию сварки для практических задач реставрации, а также осуществить их реализацию при восстановлении поврежденных архитектурно-декоративных элементов ограждения.

Процесс демонтажа архитектурно-декоративных элементов ограждения выполнялся вручную, что не нанесло им существенного вреда. Демонтированные элементы перильного ограждения были пронумерованы и помещены на хранение в складских условиях генподрядчика.

В сентябре-октябре 2016 г. в условиях генподрядчика специалистами ИЭС выполнен первый этап — экспертное обследование всех архитектурно-декоративных элементов перильного ограждения с по-



Рис. 2. Общий вид состояния перильного ограждения моста Коцебу в 2016 г. (до демонтажа): а — панорамный вид; б — тыльная сторона герба на подгербовой решетке; в — лицевая сторона герба на подгербовой решетке

элементной визуальной оценкой фактического состояния и фотофиксацией (рис. 3).

Для принятия решения о ремонтпригодности условно они поделены на две категории. К первой отнесли элементы, которые не подвергаются нагружению в процессе эксплуатации — это карнизы и угловые элементы декора. Ко второй — ответственные элементы ограждения, воспринимающие нагрузки и определяющие несущую способность перильного ограждения — столбы, решетки и гербы. Применяемые критерии оценки ремонтпригодности сваркой деталей второй категории были более жесткими, чем для деталей первой категории.

Особое внимание при обследовании в обоих случаях обращалось на сохранность конструктивного, технического и художественного состояний. По результатам обследования составлены дефектные ведомости и акты технического состояния, а также заключение о ремонтпригодности. В обобщенном виде результаты обследования представлены в табл. 1 и 2, а примеры состояния некоторых деталей — на рис. 4.

В ходе обследования установлено, что массовое разрушение столбов и утрата несущей способности (рис. 4, а) вызваны комплексной причиной. Она заключается в конструктивных особенностях — наличии проблемных коррозионных зон внутри полых конструкций, низких механических характеристиках чугунного литья, плотной посадке решеток на штатных местах, вибрации от движения транспорта, усиленной собственным весом и весом навесных элементов, жестком действии низких температур и воды во всех ее проявлениях. Наиболее ответственными за разрушение являются усталость металлоконструкций моста в процессе длительного срока эксплуатации и коррозия. Поэтому в связи с низкой степенью сохранности и утратой несущей способности, а также высокой ответственностью данных элементов в составе перильного ограждения рекомендовано все столбы отлить заново.

Анализ показал, что характерные дефекты на решетках (рис. 4, б), гербах (рис. 4, в) и внешней горизонтальной поверхности карнизов (рис. 4, д): трещины, утраченные фрагменты, коррозионные повреждения исключительно последствия монтажных ошибок, действия времени и длительной эксплуатации. Они связаны с отсутствием надлежащего текущего ухода, некорректными реставрационными вмешательствами, неудачными конструктивными решениями при создании элементов, особенно подгербовых решеток и низкой пластичностью конструкционного чугуна.

На основе всестороннего анализа степени поврежденности карнизов, гербов и решеток ограж-



Рис. 3. Рабочий момент совместного экспертного обследования архитектурно-декоративных элементов перильного ограждения моста Коцебу с представителями департамента охраны культурного наследия ОГА

дения, с учетом высокой степени сохранности конструктивного и художественного состояний пришли к выводу о потенциальной возможности восстановления их пригодности для дальнейшей эксплуатации в проектном режиме и в прежнем облике с использованием сварки. Для устранения конструктивных недостатков подгербовых решеток с учетом их нагруженности предложено восстановить их в виде комбинированной сварно-литой конструкции. Принятию решения также способствовал научный опыт сварки серых и высокопрочных чугунов и участие в реставрации чугунных колонн Киевской филармонии (XIX век), пилястров здания Кабинета министров (первая половина XX века), а также несущих деталей технологического оборудования (XX век) [2].

На практике специалисты по структуре излома определяют марку чугуна и оценивают его свариваемость. В нашем случае свежие изломы имели мелкозернистую структуру светло-серого цвета, что предварительно положительно характеризовало «французский» чугун с точки зрения свариваемости.

Исследование проб металла, отобранных для его идентификации, выполнялось в аналитической лаборатории Института (аттестат аккредитации НАА Украины № 2Н362 от 14.01.2014 г.). Состав чугуна определяли на рентгеновском спектрометре «Спектровак-1000» модель DV-4 (фирма Baird, США), металлографические исследования микроструктуры выполняли на оптическом микроскопе «NEOFOT 32» [3], твердость измеряли на приборе Виккерса [4]. Установлено, что детали ограждения отлиты из чугуна следующего химического состава, мас. %: 3,10...3,35 С; 0,37...0,40 Mn; 1,40...1,58 Si; S < 0,2; P < 0,15. Микроструктура чугуна такой композиции являет-

Таблица 1. Перечень архитектурно-декоративных элементов демонтированного перильного ограждения, представленных для экспертного осмотра

Но- мер	Название архитек- турно-декоратив- ного элемента	Количество, шт. (учетный номер №)					
		По про- екту	В на- личии	Не требует ремонта	Ремонтоприго- ден сваркой	Неремонтоприго- ден сваркой	Изготовить литьем или др.
1	Столб перильного ограждения	44	44	3 (1,11,44)	--	41 (2-10, 12-43)	44
2	Решетка ограждения (длинная)	40	40	29 (2-5, 7, 8, 16-19, 21-23, 25-34, 37-41, 44)	11 (1, 6, 9-15, 20, 42)	-	-
3	Решетка ограждения (короткая)	4	3	1 (43)	2 (35, 36)	-	1
4	Решетка ограждения (подгербовая)	2	2	-	-	2 (24, 45)	2**
5	Перило	42	12	6 (1,2,3,4,5,6)	-	6 (7, 8, 9, 10, 11, 12)	36
6	Угловой элемент декора	43	43	40	3	--	--
7	Карниз (длинный)	42	42	35 (1-4, 6-8, 10-18, 21-26, 28-30, 32-39, 41, 45)	7 (5, 9, 19, 20, 27, 31, 40)	--	--
8	Карниз (короткий)	3	3	2 (42, 43)	1 (44)	-	-
9	Герб	2	2	-	2	-	2*

Примечание. * —изготовить литьем недостающий фрагмент; ** — изготовить полностью.

Таблица 2. Классификация дефектов и содержание ремонта архитектурно-декоративных элементов подперильного ограждения

Но- мер	Название архитек- турно-декоративного элемента	Характерные дефекты	Содержание ремонта, технические решения.
1	Столбы перильного ограждения	Коррозионное и механическое повреждение, утрата элементов	Отлить заново из серого чугуна СЧ20 ГОСТ 1412 в проектном количестве 44 шт.
2	Решетки ограждения (длинные)	Утрата элементов подперильного или опорного пояса. Трещины в поясах	Взамен утраченных элементов в поясах использовать замещающий материал. Трещины заварить
3	Решетки ограждения (короткие)	Утрата элементов подперильного и опорного пояса. Трещины	->-
4	Решетка ограждения (подгербовая)	Общее разрушение, утрата элементов	Изготовить новую решетку в соответствии с чертежом комбинированной конструкции с сохранением оригинальных элементов декора. Недостающие элементы декора отлить
5	Перила	Общее разрушение или утрата	Отлить заново из серого чугуна СЧ20 ГОСТ 1412 в количестве 36 шт.
6	Угловые элементы декора	Повреждения, трещины	Трещины заварить
7	Карнизы (длинные)	Утрата фрагментов в зоне монтажных вырезов. Трещины на внешней горизонтальной поверхности.	Взамен утраченных фрагментов использовать стальные вставки. Трещины заварить
8	Карнизы (короткие)	Утрата фрагментов в зоне монтажных вырезов. Трещины на внешней горизонтальной поверхности.	Взамен утраченных фрагментов использовать стальные вставки. Трещины заварить.
9	Гербы	Утрачены элементы завиткового украшения – волюты.	Отлить из серого чугуна СЧ20 ГОСТ 1412 утраченные элементы по чертежу и приварить

ся главным фактором, определяющим свойства, как правило должна быть ферритно-перлитной или перлитной. По результатам металлографических исследований установлено, что это типичная перлитная структура, в которой присутствует фосфидная эвтектика, отличающаяся повышенной твердостью и хрупкостью. Интегральная твердость составляет не более $HV\ 300$. Поскольку было принято решение все столбы отлить заново, а также изготовить литьем перила и фрагменты

украшения гербов взамен утраченных, то предстояло подобрать соответствующую марку отечественного чугуна. Необходимым требованиям отвечает наиболее близкий к оригиналу — серый чугун марки СЧ 20 [5].

Свойства чугуна как сложного поликомпонентного конструкционного материала могут быть резко изменены сварочным процессом. Поэтому технологический процесс сварки должен учитывать факторы, влияющие на свариваемость. Все основ-



Рис. 4. Примеры состояния характерных деталей перильного ограждения: установленного при экспертном осмотре: *a* — столбы №№ 25, 26, 27; *б* — решетка №11; *в* — подгербовая решетка № 24; *г* — герб № 1; *д* — карниз № 8; *е* — угловые элементы декора № 1, 2, 3

ные элементы технологического процесса — погонная энергия, степень нагрева, скорость охлаждения, порядок выполнения швов определялись с учетом особенностей «французского» чугуна и его структурных превращений в рамках требований [6].

Комплекс исследований, проведенный в ИЭС, показал, что особенности свариваемости «французского» чугуна обусловлены не только его структурой в изломе, но и перлитной микроструктурой, содержанием углерода, газонасыщенностью, проникновением продуктов коррозии в основной металл, низкой пластичностью, а также склонностью к образованию в металле ЗТВ структур цементита, ледебурита и сварочных напряжений. Для практических задач реставрации деталей разработаны принципы минимизации влияния этих факторов на свариваемость. Они состоят в том, что сварку необходимо выполнять многослойными швами небольшой протяженности с существенным ограничением тепловложения и использованием сварочных материалов, затрудняющих диффузию углерода из основного металла в шов, как правило, высоконикелевых. Сварка должна осуществляться в узкую разделку с соблюдением определенной последовательности ее заполнения, без поперечных колебаний электро-

да и сопровождаться послышной проковкой швов. Отработан подход к выбору рациональных способа сварки и сварочных материалов. Проверено несколько вариантов, необходимых для сварки серого чугуна современных сварочных проволок и электродов отечественного и зарубежного производства. Установлено, что для сварки «французского» чугуна наиболее полно требованиям отвечает только механизированный способ сварки самозащитной высоконикелевой проволокой марки ПАНЧ-11 [7] диаметром 1,2 мм (ТУ48-21-593-85, и только производства 1987 г.). Сварные соединения, выполненные ПАНЧ-11, отличаются повышенной стойкостью против околошовных трещин по сравнению с соединениями, полученными аналогами этой проволоки и электродами для ручной сварки при идентичном химическом составе металла шва. Состав проволоки позволяет выполнять сварку без подогрева. При этом обеспечивается получение пластичного аустенитного шва с твердостью не более *HV* 200. Свойства сварного соединения в целом определяются свойствами основного металла. В зоне сплавления не наблюдается заметного количества ледебурита и структурно-свободного цементита. В металле ЗТВ имеются продукты неравновесного распада аустенита (троостит, мартенсит), что несколько по-



Рис. 5. Фрагменты реставрационных работ: *а* — реставрация сваркой подгербовой решетки; *б* — финишная зачистка сварных швов; *в* — вид ремонтного стыка на коротком карнизе; *г* — вид ремонтного стыка на решетке № 13; *д* — вид гербов до реставрации (на переднем плане вновь отлитые фрагменты утраченных украшений — волути); *е* — вид герба № 1 после реставрации

вышает твердость до $HV\ 350$. Поскольку ширина ЗТВ не превышает $150\ \mu\text{м}$, ее влияние на свойства соединений малозначимо. Состав проволоки ПАНЧ-11 обеспечивает также высокую стойкость швов против образования горячих трещин в результате нейтрализации вредных примесей и придания неметаллическим включениям глобулярной формы.

Устойчивый процесс сварки проволокой ПАНЧ-11 легко осуществляется на прямой полярности и при режиме: $I_{\text{св}} = 110...140\ \text{А}$, $U_{\text{д}} = 16...18\ \text{В}$, необходимом в целях малого тепловложения в основной металл. Глубина проплавления основного металла составляет $1,5...2,0\ \text{мм}$. Сварка может выполняться во всех пространственных положениях, однако приоритетными являются нижнее и наклонное. Металл шва характеризуется такими показателями механических свойств: $\sigma_{\text{T}} = 350\ \text{МПа}$, $\sigma_{\text{в}} = 450\ \text{МПа}$, $\delta = 15\ \%$. Образцы на статическое растяжение разрушаются за пределами металла шва. Существенным преимуществом является возможность выполнения сварки в узкую разделку кромок в виде щели, что в значительной мере облегчает получение соединений без продольных и поперечных трещин, а также комбинированных соединений со сталью.

По результатам исследований разработана оптимальная ремонтная технология сварки, при-

меняемая для всех архитектурно-декоративных элементов перильного ограждения, требующих восстановления, и детальный план их реставрации с учетом фактического состояния. Особенности технологии отражены в инструкциях для каждого ремонтного случая (WPS) согласно требований к технологическому процессу сварки чугуна ГОСТ 30430-96. Результаты выполнения реставрационных работ представлены на рис. 5, 6. В августе 2017 г. после окрашивания грунтом отреставрированное перильное ограждение было установлено ко дню города, который отмечается в сентябре, на реконструированном мосту Коцебу, а впоследствии в ноябре, после завершения всего комплекса отделочных работ на прилегающей территории и установки фонарей, все металлоконструкции были повторно отпескоструены и окрашены в предусмотренный проектом цвет (рис. 7).

В итоге необходимо отметить, что при проведении подготовительных и реставрационных работ всего комплекта архитектурно-декоративных элементов перильного ограждения моста Коцебу устранены ряд упущений и ошибок, допущенных как при создании, так и при реставрации в прошлые годы и сделать их весьма надежными элементами перильного ограждения, применив соответствующие конструкторско-технические решения, современные сварочные технологии и ма-



Рис. 6. Общий вид ансамбля перильного ограждения (август–сентябрь 2017 г.): *а* — вид обновленного панно решеток ограждения; *б* — подгербовая решетка с гербом (вид со стороны тротуара); *в* — вид с внешней стороны моста



Рис. 7. Общий вид реконструированного моста с реставрированными архитектурно-декоративными элементами перильного ограждения (ноябрь 2017 г.)

териалы. Основной принцип, которого придерживались специалисты — максимальное сохранение аутентичности и несущей способности реставрируемых элементов. Желаемый результат достигнут благодаря деловому и конструктивному сотрудничеству организатора и участников проекта,

а также консультативной поддержке департамента охраны культурного наследия Одесской ГА.

Список литературы

1. (2011) СРП-2007.4.1. Часть 4.1. *Рекомендации по ведению реставрационных работ на объектах культурно-*

го наследия – памятниках монументальной скульптуры (4-я ред.)

2. Демченко Ю. В., Денисенко А. М. (2011) Восстановление работоспособности уникальных толстостенных деталей из чугуна оборудования метрополитена. *Сварщик*, 3, 6–9.
3. (2005) ГОСТ344-87. *Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры.*
4. (1993) ГОСТ 2999-75. *Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу.*
5. (1987) ГОСТ 1412-85. *Чугун с пластинчатым графитом для отливок. Марки.*
6. (1996) ГОСТ 30430-96. *Дуговая сварка конструкционных чугунов. Требования к технологическому процессу.*
7. (1987) ТУ 48-21-593-85. *Проволока сварочная из сплава ПАНЧ-11. Технические условия.*

References

1. SRP-2007.4.1. Pt 4.1: *Recommendations for performance of restoration works on objects of cultural heritage – monuments of monumental sculpture.* 4th ed. [in Russian].
2. Demchenko, Yu.V., Denisenko, A.M. (2011) Recovery of serviceability of versatile thick-wall parts from cast iron in metro equipment. *Svarshchik*, 3, 6-9 [in Russian].
3. (2005) GOST 344-87: *Foundry goods with different shape of graphite. Methods of determination of structure* [in Russian].
4. (1993) GOST 2999-75: *Metals and alloys. Method of Vickers hardness measurement* [in Russian].
5. (1987) GOST 1412-85: *Spheroidal graphite iron for castings. Grades* [in Russian].
6. (1996) GOST 30430-96: *Arc welding of structural cast irons. Requirements to technological process* [in Russian].
7. (1987) TU 48-21-593-85: *Welding wire from PANCh-11 alloy. Specifications* [in Russian].

В. Д. Позняков, Ю. В. Демченко,
А. М. Денисенко, Г. В. Жук, В. Б. Козирев

ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України.
03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11.
E-mail: office@paton.kiev.ua

ЗАСТОСУВАННЯ ЗВАРЮВАННЯ ДЛЯ РЕСТАВРАЦІЇ ЧАВУННОГО ПОРУЧНЕВОГО ОГОРОДЖЕННЯ МОСТУ КОЦЕБУ В ОДЕСІ

Представлені результати оцінки фактичного стану чавунної перильної огорожі мосту Коцебу і можливості застосування зварювання для її реставрації. Згідно вказівок СРП 2007.4.1 з проведення реставраційних робіт на об'єктах культурної спадщини, здійснений експертний огляд демонтованих елементів, складені дефектні відомості та виконано комплекс досліджень по ідентифікації і зварюваності чавуну. Встановлено, що особливості зварюваності такого чавуну обумовлені його перлітною структурою, вмістом вуглецю, газонасиченістю, проникненням продуктів корозії в основний метал,

низькою пластичністю, а також схильністю до утворення в металі ЗТВ цементиту, ледебуріту і зварювальних напружень. Розроблено принципи мінімізації впливу цих факторів на зварюваність. Відпрацьовано підхід до вибору способу зварювання і зварювальних матеріалів. Встановлено, що найбільш повно вимоги задовольняє механізований спосіб зварювання самозахисним високонікелевим дротом марки ПАНЧ-11. На його основі розроблена і реалізована в авторському супроводі технологія відновлення цілісності всіх основних архітектурно-декоративних елементів перильної огорожі (решіток, гербів і карнизів). Бібліогр. 7, табл. 2, рис. 7.

Ключові слова: перильна огорожа, архітектурно-декоративні елементи, перлітний чавун, зварюваність, реставрація, механізоване МАГ зварювання, самозахисний високонікелевий дріт ПАНЧ-11

V.D. Poznyakov, Yu.V. Demchenko, A.M. Denisenko,
G.V. Zhuk, V.B. Koznyrev

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.
11 Kazimir Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine.
E-mail: office@paton.kiev.ua

APPLICATION OF WELDING FOR RESTORATION OF CAST IRON RAILING OF THE KOTZEBUE BRIDGE IN ODESSA

The results of evaluation of real condition of cast iron railing of the Kotzebue Bridge and the opportunity of welding application for its restoration are presented. According to the instructions SRP 2007.4.1 on carrying out restoration works on the cultural heritage objects, an expert examination of the disassembled elements was carried out, the lists of defects were compiled and the complex of investigations on identification and weldability of cast iron was carried out. It was established that the peculiarities of weldability of such cast iron are predetermined by its pearlite structure, carbon content, gas saturation, penetration of corrosion products deep into base metal, low ductility, as well as tendency to formation of cementite, ledeburite and welding stresses in HAZ metal. The principles of minimizing the influence of these factors on weldability were developed. The approach to selection of welding method and welding consumables was mastered. It was established that the mechanized method of welding using self-shielding high-nickel wire of grade PANCH-11 meets mostly the specified requirements. On its basis, the technology for restoring integrity of all the main architectural and decorative elements of railing (grates, emblems and cornices) was developed and implemented in the author's accompaniment. 7 Ref., 2 Tab., 7 Fig.

Keywords: railing, architectural and decorative elements, pearlitic cast iron, weldability, restoration, mechanized MAG welding, self-shielding high-nickel wire

Поступила в редакцію 24.01.2018

**XI Международная научно-техническая конференция
«ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ – 2018»**

4–8 июня 2018, Киев, КПИ