



УДК 621.791.762.5

ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ ВСТАВКИ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КРЕСТОВИН С РЕЛЬСОВЫМИ ОКОНЧАНИЯМИ

Академик НАН Украины **С. И. КУЧУК-ЯЦЕНКО**, **Ю. В. ШВЕЦ**, **А. В. КАВУНИЧЕНКО**, инженеры,
В. И. ШВЕЦ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
С. Д. ТАРАНЕНКО, канд. техн. наук, **В. А. ПРОЩЕНКО**, инж. (ОАО «Днепропетровский стрелочный завод»)

Определено влияние ширины вставки из нержавеющей стали 08X18H10T при контактной стыковой сварке пульсирующим оплавлением стали 110Г13Л с М76 на конструктивную прочность и износостойкость соединений. Показано, что изменение ширины вставки в пределах 10...40 мм не оказывает существенного влияния на эксплуатационные свойства железнодорожных крестовин.

Ключевые слова: контактная стыковая сварка, пульсирующее оплавление, высокомарганцевая сталь, рельсовая сталь, аустенитная сталь, ширина вставки

В ИЭС им. Е. О. Патона разработана технология и оборудование для контактной стыковой сварки оплавлением железнодорожных крестовин. В работе [1] изложены основные положения этой технологии и определены параметры режима сварки. В основу технологии положен способ сварки пульсирующим оплавлением [2], позволяющий получать соединения высокомарганцевой стали 110Г13Л (ГОСТ 7432–87) с рельсовой сталью М76 (ГОСТ 8161–75) через вставку из хромоникелевой аустенитной стали (ГОСТ 5632–72).

Разработанные в ИЭС им. Е. О. Патона технология контактной стыковой сварки пульсирующим оплавлением и сварочная машина К924, изготовленная на ОАО «Каховский завод электросварочного оборудования», успешно внедрены на предприятии ОАО «Днепропетровский стрелочный завод».

Опыт эксплуатации сварных крестовин на железных дорогах Украины показал, что для снижения расхода металла необходимо оптимизировать ширину аустенитной вставки. Целью настоящей работы явилось определение влияния ширины вставки на конструкционную прочность (в частности, износостойкость) стыковых соединений и эксплуатационные показатели крестовин.

При выборе оптимальной ширины вставки следует учитывать ее повышенный износ как наиболее мягкого элемента крестовины, влияние повторного нагрева на структурные изменения в металле ЗТВ первого шва при сварке второго и влияние пластичности вставки на свойства соединений.

Для определения влияния ширины вставки на износ исследовали сварные крестовины разных типов, которые отличались количеством пропущенного тоннажа. Крестовины изготовлены на ОАО «Днепропетровский стрелочный завод» и находились под авторским надзором завода.

Уровень износа оценивали по отклонению от линейности на поверхности катания в зоне вставки (впадина), а степень наклепа металла — по значению его твердости. Измерение твердости осуществляли твердомером ТДМ-2 с верхним пределом измерения *НВ* 450. Отпечатки делались на вставке по ее центру, на рельсовом окончании на расстоянии 8, 50 и 550 мм от сварного шва рельс–вставка и на сердечнике — на расстоянии 50 мм от сварного шва сердечник–вставка.

Места отпечатков и усредненные результаты пяти замеров твердости показаны на рис. 1. Из рисунка видно, что твердость зоны А сердечника превышает *НВ* 450.

В таблице представлены результаты замеров износа крестовин в зоне вставки, проведенные на трех крестовинах, заложенных на разных участках Приднепровской железной дороги, а также средние значения твердости по центру вставки. Как видно из таблицы, максимальное отклонение профиля поверхности катания от исходного состояния (износ) составило 0,5...0,8 мм при ширине впадины не более 100 мм. Локальный износ в зоне вставки не наблюдался.

Сравнительный анализ распределения твердости в крестовине показал (рис. 2), что в процессе эксплуатации повышается твердость как марганцевой и рельсовой стали, так и хромоникелевой стали, из которой изготовлена вставка. При этом

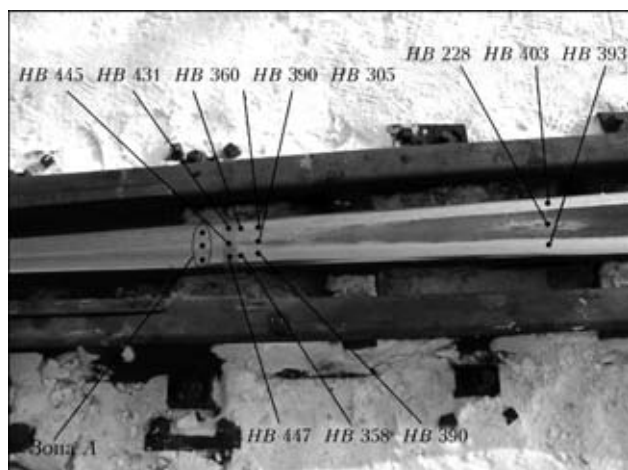


Рис. 1. Внешний вид сварной крестовины, уложенной на ст. Верховцево Приднепровской железной дороги, и результаты замеров твердости на поверхности катания после пропуска 65,2 млн т тоннажа

твердость вставки превышает твердость рельсовой стали.

Полученные результаты согласуются с литературными данными [3]. Хромоникелевая аустенитная сталь склонна к деформационному упрочнению так же, как и марганцевые аустенитные стали, хотя упрочнение последних при одинаковой степени деформации происходит интенсивнее.

Износ крестовины в зоне вставки объясняется различной степенью первоначальной деформации, необходимой для образования наклепа в начале эксплуатации в рельсовой стали М76, хромоникелевой аустенитной стали 08Х18Н10Т и высокомарганцевой стали 110Г13Л.

Исходя из изложенного можно сделать вывод, что с позиции повышенного износа сварной крестовины ширина вставки 10...40 мм не является критичной. Ширина вставки может оказывать влияние на структуру металла ЗТВ первого шва при повторном нагреве, имеющем место при выполнении второго шва.

Для сварки сердечников крестовин с рельсовыми окончаниями с использованием вставки очень важно выбрать наиболее благоприятный порядок сварки швов.

Возможны два варианта: первый — к высокомарганцевому сердечнику приваривается вставка (первый стык), которую обрезают до необходимой длины и приваривают к ней рельсовое

Износ крестовин в зоне вставки

Участок пути Приднепровской железной дороги	Пропущенный тоннаж, млн т	Ширина вставки, мм	Износ крестовины (впадина), мм	Твердость HV по центру вставки
Ст. Верховцево	65,20	18...22	0,75	441
Ст. Варваровка	48,37	40...42	0,80	420
Ст. Самойловка	48,57	18...20	0,50	410

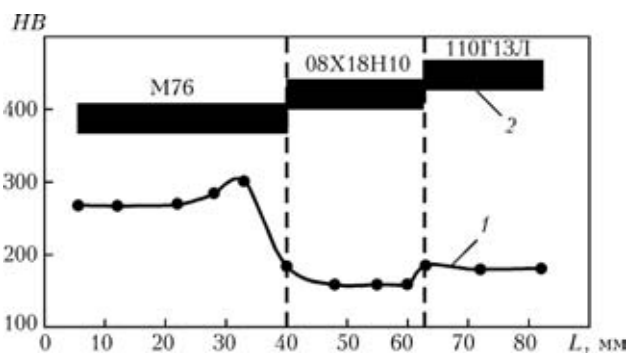


Рис. 2. Распределение твердости в сварной крестовине после сварки (1) и в процессе эксплуатации (2)

окончание (второй стык); второй — к рельсовому окончанию приваривают вставку (первый стык), которую обрезают до необходимой длины и приваривают к ней сердечник (второй стык).

В первом варианте при ширине вставки 10...25 мм металл ЗТВ стыкового соединения стали 110Г13Л подвергается повторному нагреву до 500...700 °С, что приводит к дополнительному карбидообразованию и, как следствие, снижению пластических свойств соединения [4].

Выполнение сварки швов по второму варианту является более благоприятным, поскольку известно, что повторный нагрев рельсовой стали до 700...900 °С не оказывает отрицательного влияния на ее сорбитную структуру.

При механических испытаниях сварных изделий на статический изгиб их разрушение происходит по рельсовой стали на расстоянии 2...3 мм от линии соединения при значениях прочности, превышающих требования нормативных документов [5].

Исследования микроструктуры соединений показали, что в приконтактном слое рельсовой стали, имеющем сорбитную структуру, между блоками зерен формируется структурная составляющая светлого цвета — межблочная структурная составляющая (МСС). Она представляет собой аустенит, в некоторых случаях с включениями мартенсита [6]. Разрушение соединения происходит по МСС.

Содержание углерода в МСС составляет 0,978...1,193, марганца — 1,125...1,389, никеля — 1,774...2,047, хрома — 2,631...5,277 мас. %. Как известно, стали подобного состава закаляются в масле и даже на воздухе, оставаясь аустенитными [7]. В случае отпуска при температуре 400...600 °С в метастабильном аустените могут выделяться карбиды.

Согласно расчетам по эмпирической формуле, приведенной в работе [7], скорость охлаждения данного изделия на воздухе составляет 0,3, а в масле — 3,0 °С/с.

В соответствии с полученной нами экспериментальной кривой (рис. 3) скорость охлаждения в зоне с МСС в интервале температур

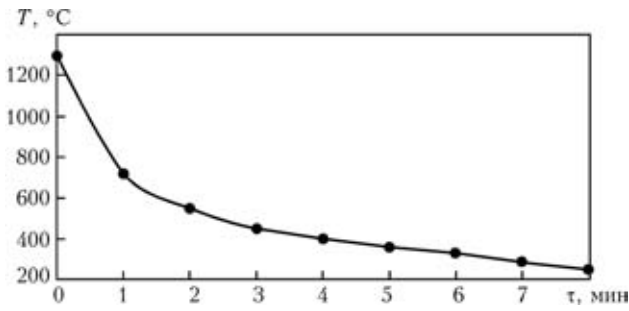


Рис. 3. Экспериментальная температурная кривая охлаждения зоны МСС, полученная после сварки первого шва

1250...550 °С равна приблизительно 6 °С/с. При такой скорости охлаждения должна происходить закалка МСС с образованием метастабильного аустенита [8].

Время пребывания МСС в интервале выделения карбидов составило 2...3 мин. Этого недостаточно для последующего развития процесса образования карбидов, что подтверждено результатами анализа микроструктуры.

Для исследования возможных структурных превращений в МСС при повторном нагреве в ИЭС им. Е. О. Патона методом математического моделирования выполнены расчеты температурных полей, имеющих место при охлаждении сварного соединения после сварки второго стыка (рис. 4) [9]. Установлено, что время пребывания зоны МСС в интервале температур образования карбидов при вставке шириной 10 и 20 мм практически одина-

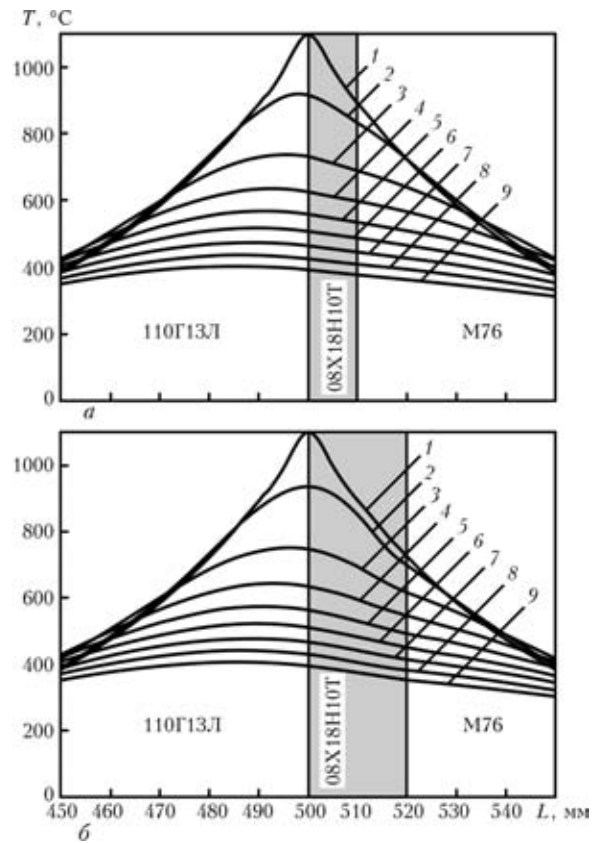


Рис. 4. Расчетные температурные поля, полученные при охлаждении сварного соединения после сварки второго стыка при ширине вставки 10 (а) и 20 мм (б): 1 — $\tau = 0$; 2 — 10; 3 — 50; 4 — 100; 5 — 150; 6 — 200; 7 — 250; 8 — 300; 9 — 350 с

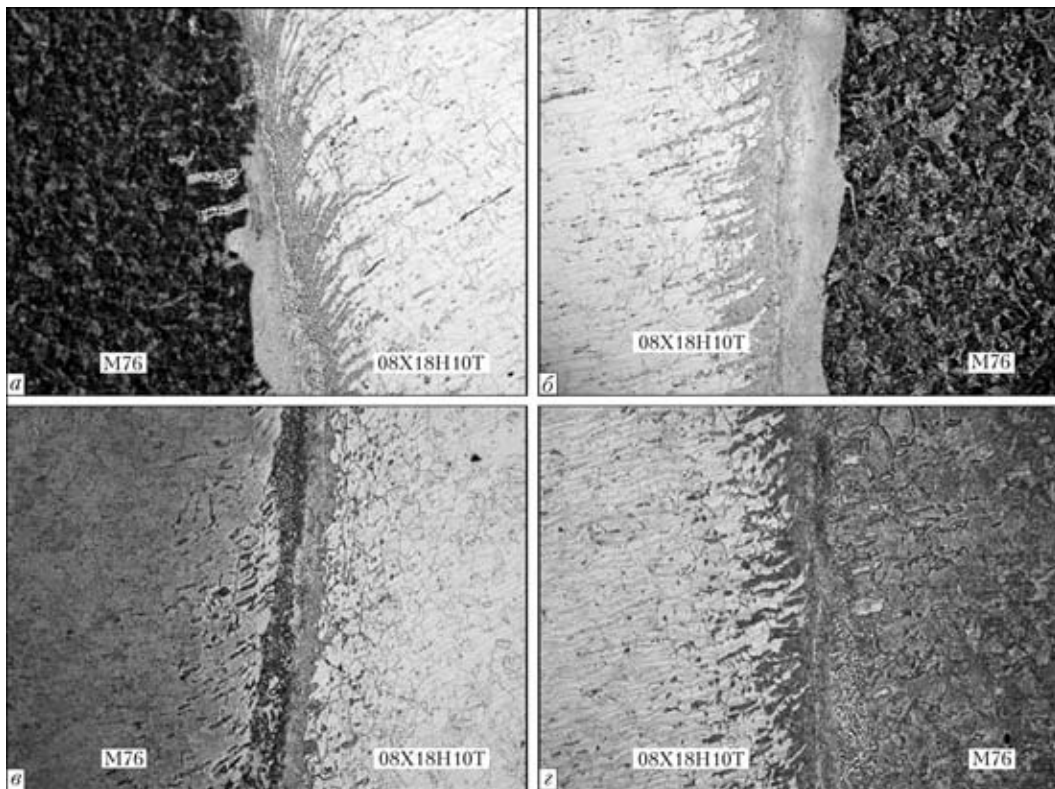


Рис. 5. Микроструктура ($\times 50$) металла переходной зоны первого (а, б) и второго (б, з) стыка соединения М76+08X18H10Т+М76, полученного при ширине вставки 10...12 (а, б) и 20...22 (в, з) мм

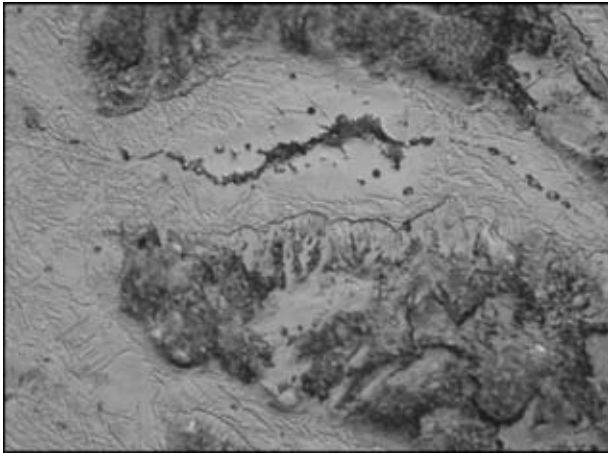


Рис. 6. Карбидные выделения ($\times 1000$) в МСС первого стыка соединений стали М76 после повторного нагрева

ково и составляет $\tau \approx 200$ с. Это дает основания предположить, что повторный нагрев при ширине вставки 10...20 мм не оказывает влияния на структуру металла МСС.

Были проведены также экспериментальные исследования влияния ширины вставок на структурные превращения при повторном нагреве. Для этого готовили сварные образцы типа М76+08Х18Н10Т+М76 с шириной вставки 10...12 и 20...22 мм. Установлено, что микроструктура металла переходных зон первого и второго стыков соединений сталей М76 и 08Х18Н10Т подобна и не зависит от ширины вставки в установленных пределах (рис. 5). В микроструктуре металла зоны МСС первого стыка, который подвергали повторному нагреву, наблюдалось незначительное выпадение карбидов (рис. 6).

Распределение твердости по Виккерсу в сварном соединении при ширине вставки 10...12 мм показано на рис. 7. Отмечается незначительное

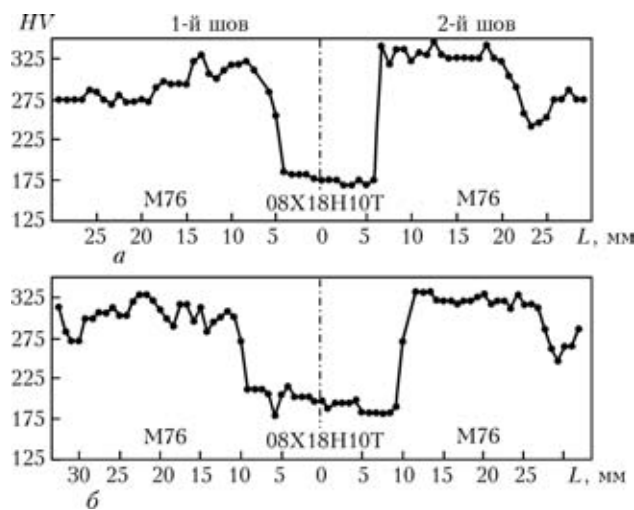


Рис. 7. Распределение твердости в сварном соединении М76+08Х18Н10Т+М76, полученном при ширине вставки 10...12 (а) и 20...22 (б) мм

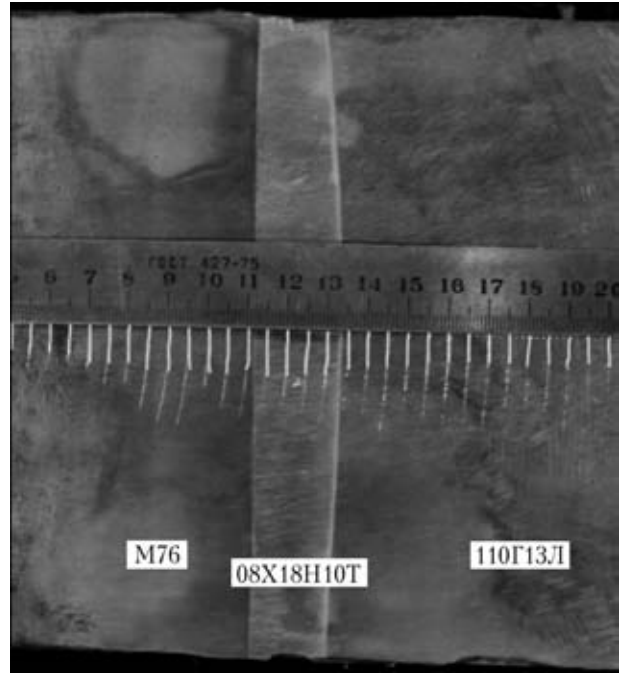


Рис. 8. Вид сварного образца перед испытанием на статический изгиб

повышение твердости вставки (от HV 175 до 185 в первом случае и от HV 185 до 210 — во втором) и некоторая неоднородность распределения твердости в стали М76, имеющая тенденцию к снижению после повторного нагрева.

Таким образом, повторный нагрев соединения М76 + 08Х18Н10Т при сварке второго стыка через вставку шириной 10...22 мм не оказывает существенного влияния на структуру металла соединений.

Для исследования распределения степени пластической деформации в зоне соединения при испытаниях на статический изгиб сварен образец со вставкой шириной 10...13 мм. На его подошву (профиль Р65) перед испытаниями приблизительно через каждые 5 мм нанесены метки (рис. 8).

Испытания проводили в соответствии с требованиями, изложенными в [5], при нагружении на головку образца. Образец доводили до разрушения и по снимкам, сделанным с помощью ин-

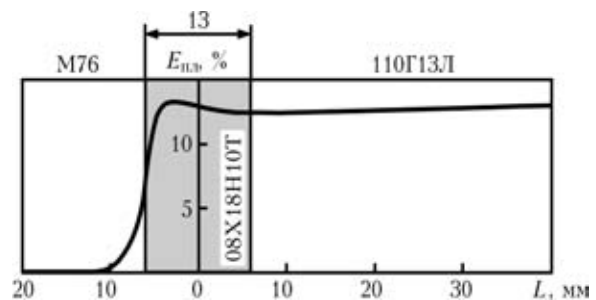


Рис. 9. Распределение относительной пластической деформации $E_{пл}$ по длине образца после его разрушения при нагружении по центру вставки шириной 10...13 мм



струментального измерительного микроскопа, измеряли расстояние между метками до и после разрушения. Степень пластической деформации определяли как отношение разницы к исходному расстоянию между метками.

На рис. 9 показано распределение пластической деформации по длине образца после его разрушения при нагружении по центру вставки при усилии разрушения 1180 кН и стреле прогиба 26 мм.

При испытаниях образцов на статический изгиб установлено, что стрела прогиба за счет упругих деформаций составляет не менее 11 мм при усилии разрушения 900 кН (профиль Р65), более высокие значения стрелы прогиба реализуются за счет пластической деформации, протекающей в основном в высокомарганцевой стали, ширина вставки не оказывает существенного влияния на пластичность сварных соединений.

Выводы

1. Проведенные исследования показали, что в процессе эксплуатации сварных железнодорожных крестовин происходит наклеп на вставку стали 08X18N10T, сердечник из стали 110Г13Л и рельсовое окончание из стали М76, причем металл сердечника и вставки имеет более высокую твердость, чем металл рельсового окончания.

2. При статических испытаниях на изгиб изменение ширины вставки в пределах 10...40 мм существенного влияния на эксплуатационные свойства изделия и пластичность сварных соединений не оказывает.

3. Износ изделия в зоне вставки возникает на первоначальном этапе эксплуатации, в дальнейшем он практически не увеличивается.

Determined is the effect of width of an insert of stainless steel 08Kh18N10T in pulsed flash butt welding of steel 110G13L to M76 on structural strength and wear resistance of joints. It is shown that variations in width of the insert over 10-40 mm hardly have any effect on performance of railway frogs.

4. Уменьшение ширины вставки до 10 мм позволит сократить расход проката стали 08X18N10T на 30 % и тем самым снизить себестоимость изделия.

5. Применение вставки шириной менее 10 мм не допустимо. Это связано с тем, что при сварке ширина вставки по периметру рельса изменяется из-за неравномерного оплавления на различных участках и ее реальная ширина колеблется в пределах ± 3 мм от расчетной.

1. *Контактная стыковая сварка железнодорожных крестовин с рельсовыми окончаниями через промежуточную вставку* / С. И. Кучук-Яценко, Ю. В. Швец, Е. А. Думчев и др. // Автомат. сварка. — 2005. — № 1. — С. 6–9.
2. *Пат. 46820 Украина. Спосіб контактного стикового зварювання* / С. І. Кучук-Яценко, О. В. Дідковський, М. В. Богорський та ін. — Опубл. 17.06.2002.
3. *Богачев И. Н., Рожкова С. Б.* Упрочнение аустенитных сталей при холодной пластической деформации // Изв. вузов. Черн. металлургия. — 1963. — № 7. — С. 162–168.
4. *Давыдов Н. Г.* Высокомарганцевая сталь. — М.: Металлургия, 1979. — 176 с.
5. *ТУ У 27.3-26524137-1342:2006.* Хрестовини та сердечники з привареними рейковими закінченнями типів Р65, Р50 УС60/УкрДНТЦ «Енергосталь». — Чинний з 12.05.2006.
6. *Особенности формирования структуры соединений рельсовой стали М76 со сталью 110Г13Л, выполненных контактной стыковой сваркой оплавлением* / С. И. Кучук-Яценко, В. И. Швец, Г. Н. Гордань и др. // Автомат. сварка. — 2006. — № 1. — С. 3–9.
7. *Блантер М. Е.* Теория термической обработки. — М.: Металлургия, 1984. — 327 с.
8. *Гудремон Э.* Специальные стали. — М.: Гос. науч.-техн. изд-во по черной и цветной металлургии, 1969. — 1638 с.
9. *Махненко В. И.* Расчетные методы исследования кинетики сварочных напряжений и деформаций. — Киев: Наук. думка, 1976. — 320 с.

Поступила в редакцию 13.07.2006