

УДК.621.791.927

Семенов В. М.

**ЭКСПРЕССНЫЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКЕ**

Качество сварных соединений при электрошлаковой сварке (ЭШС) определяется, главным образом, свариваемостью сталей. Под свариваемостью понимают совокупность различных свойств металла, способных обеспечивать требуемое качество соединения при заданном химическом составе, режимах сварки и конфигурации.

Для оценки свариваемости сталей при ЭШС проводят следующие основные виды испытаний: определение сопротивляемости металла шва образованию горячих (кристаллизационных) трещин; определение сопротивляемости сварных соединений образованию трещин – надрывов; определение сопротивляемости металла околошовной зоны образованию холодных трещин (закалочных и водородного происхождения).

Известные методы оценки качества (сопротивляемости образованию трещин) сварных соединений при электрошлаковой сварке позволяют получать качественную оценку сопротивляемости по наличию трещин, и предусматривают исследование жестких проб, по габаритам и массе (свыше тонны) близких к производственным изделиям. Сварка и исследование таких проб представляет длительный (до 1 года) и очень трудоемкий процесс, требующий значительной загрузки дефицитного станочного оборудования, материальных и энергетических затрат [1, 2]. Наиболее совершенными методами оценки сопротивляемости сварных соединений образованию трещин при ЭШС являются экспрессные методы, позволяющие получать результаты в течение суток [3].

Целью работы является разработка малоотходных экспрессных методик количественной оценки сопротивляемости сварных соединений образованию трещин в условиях электрошлаковой сварки.

1. Метод оценки стойкости металла шва против образования горячих трещин.

На основе экспериментально-производственных исследований напряженно-деформированного состояния крупных сварных конструкций построена физическая модель кинетики образования трещин в зависимости от формы сварочной ванны (рис. 1).

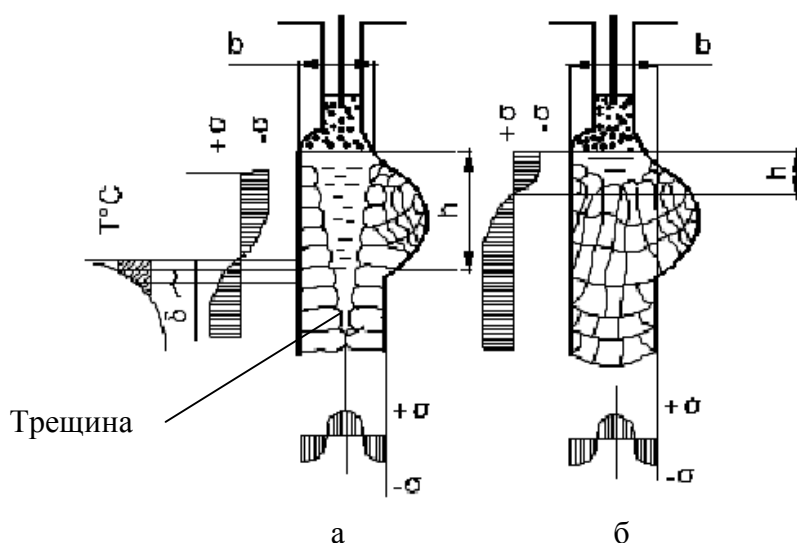


Рис. 1. Модель механизма образования кристаллизационных трещин:

а – глубокая металлическая ванна (трещины по оси шва); б – мелкая ванна (трещин нет)

На основании модели создана экспрессная методика и оборудование для оценки сопротивляемости металла шва образованию кристаллизационных трещин в условиях ЭШС. В качестве образцов для сварки используют пластины размером $20 \times 80 \times 200$ мм. Для испытаний создана специальная установка (рис. 2).

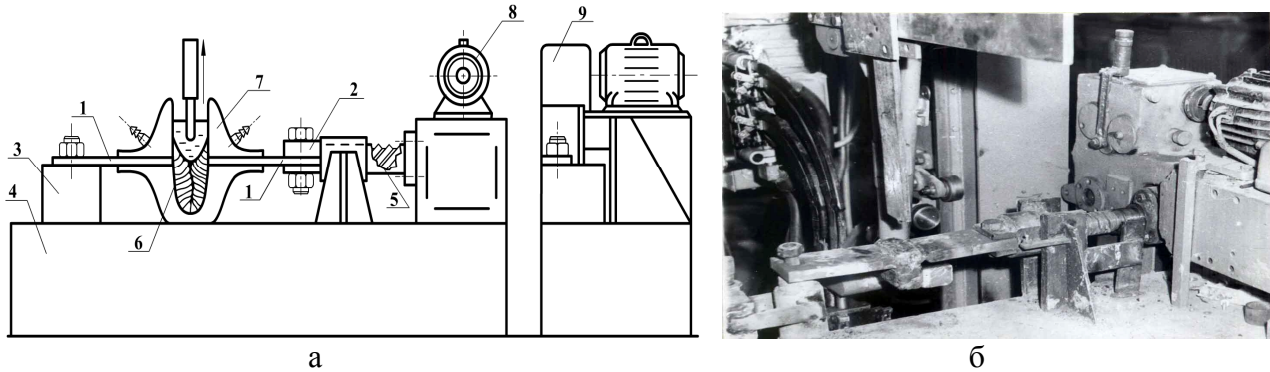
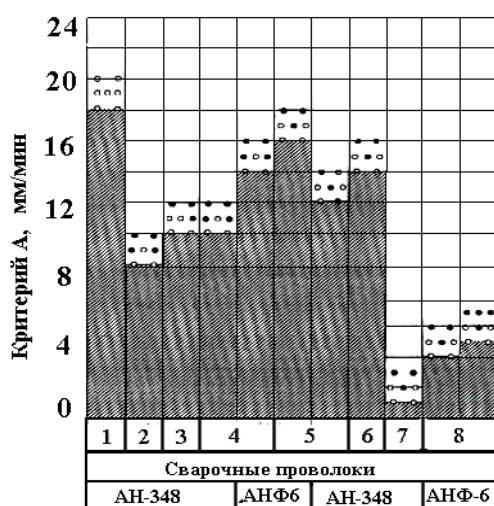


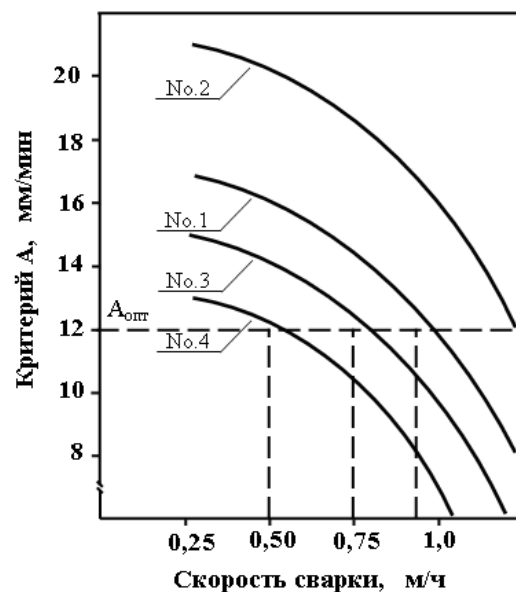
Рис. 2. Схема (а) и общий вид (б) установки для экспрессной оценки стойкости шва против образования горячих трещин

Экспрессная методика позволяет производить количественную оценку сопротивляемости шва образованию горячих трещин и получать результаты испытаний в течение суток. Установка (рис. 2) снабжена подвижным 2 и неподвижным зажимами. Образец 1 крепится в подвижном зажиме. Скорость деформации металла шва изменяют от 1 до 24 мм/мин. Процесс начинают и заканчивают в медных водоохлаждаемых устройствах 6 и 7. Образец нагружают механизмом 5, мотор 8, редуктор 9 и передвижной зажим 2. Когда дно металлической ванны (место наиболее вероятного образования трещин) находится в рабочей зоне образцов, сварочные кромки перемещают с заданной скоростью. За количественный критерий оценки принимают максимальную скорость деформации, при которой в шве еще не появляется трещина. С использованием экспрессной методики определено влияние комплексного легирования (при использовании различных сварочных проволок) на сопротивляемость шва образованию горячих трещин (рис. 2).



Сварочные проволоки: 1. Св-10Г2; 2. 10Х13; 3. Св08Х3Г2СМ; 4. Св.ХГ2СМ; 5. Св.08ХН2М; 6. Св.08; 7. 35ХН3МФ; 8. 25ХН3МФ

а



б

Рис. 3. Влияние комплексного легирования (а) и скорости сварки (б) на сопротивляемость шва образованию горячих трещин

Изучено комплексное влияние содержания хрома и основности флюса на чувствительность к образованию трещин в шве состава 25НЗМФ (рис. 4).

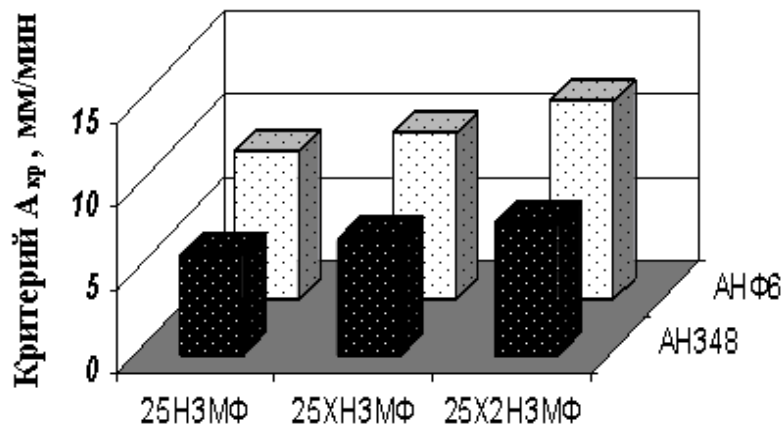


Рис. 4. Влияние хрома и характера флюса на склонность стали 25НЗМФ к образованию горячих трещи (A_{кр})

Показано, что швы, выполненные под флюсом АНФ-6, имеют большую стойкость против образования горячих трещин, а увеличение содержания хрома в шве повышает ее на 20 %.

2. Метод оценки стойкости металла околошовной зоны против образования трещин-надрывов

Для оценки стойкости сварного соединения против образования трещин-надрывов в металле околошовной зоны построена физическая модель напряженно-деформированного состояния сварного соединения в результате деформаций и разворота свариваемых кромок при ЭШС. Неравномерный нагрев свариваемых заготовок по ширине образует продольные деформации, вызывающие разворот кромок Р, что подтверждается увеличением зазора. Разворот кромок вызывает деформацию изгиба, создавая растягивающие напряжения вдоль линии сплавления (рис. 5).

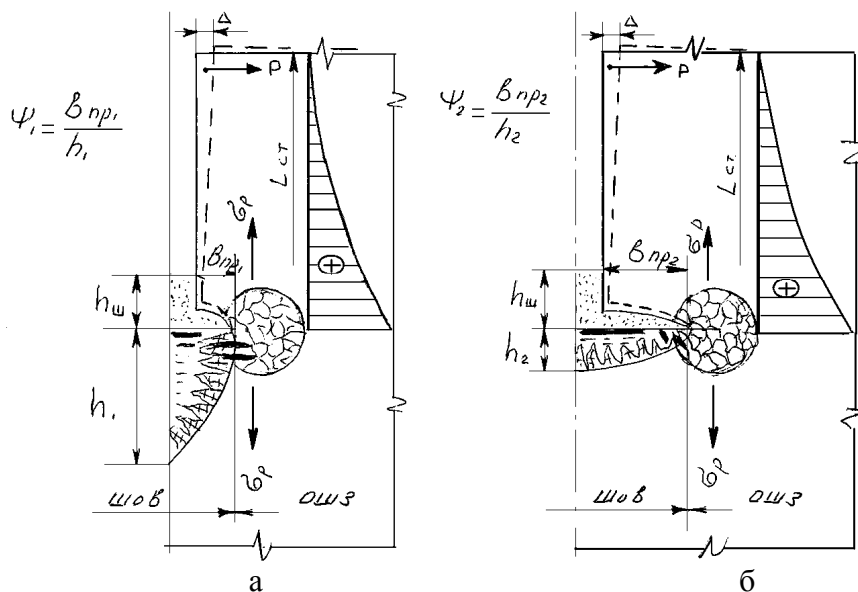


Рис. 5. Модель механизма образования трещин – надрывов: а – малый провар – трещины; б – большой провар – трещин нет

На основе разработанной теоретической модели предложен принципиально новый метод и установка для экспрессной оценки сопротивляемости сварных соединений образованию трещин-надрывов с применением малых образцов.

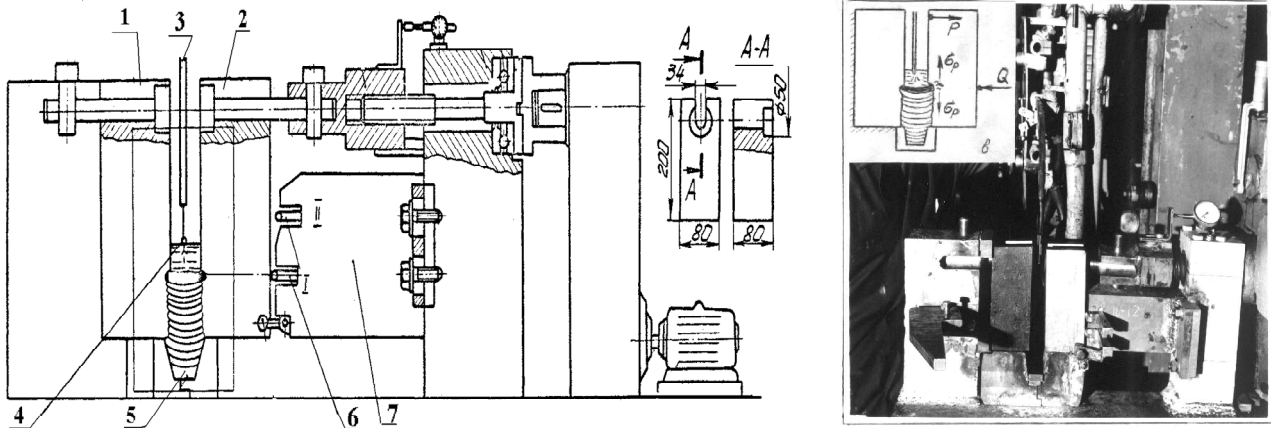


Рис. 6. Схема и общий вид установки для экспрессной оценки сопротивляемости сталей против образования трещин – надрывов

В качестве образцов используют две заготовки размерами $80 \times 80 \times 200$ мм. Одну из них изготавливают из стали Ст 3 и закрепляют неподвижно к штанге 3 тягой 4 и зажимом 5. Вторую заготовку 6 из исследуемой стали устанавливают с зазором 28–32 мм по отношению к неподвижной, соединяют подвижной тягой 7 с гайкой-вилкой 8 и зажимом 9 и закрепляют фиксатором 10. Перемещение верхней кромки заготовки осуществляют движением гайки посредством винта 11, закрепленным в штанге 12 через упорный подшипник 13. Вращение винту передается от электродвигателя через редуктор 15 и полумуфту 16. Испытания проводят на установке, принцип работы которой показан на рис. 6. В процессе сварки к образцу сверху прикладывают растягивающую силу P , а внизу сжимающее усилие Q , которые создают изгибающий момент в зоне сварки.

Таким образом имитируют реальные условия поворота свариваемых кромок при ЭШС крупных изделий. В металле околошовной зоны возникают растягивающие напряжения, вызывающие появление трещин – надрывов. Включение механизма перемещения верхней кромки правой заготовки на заданную величину, контролируруемую индикатором, происходит в момент, когда шлаковая ванна (ее глубина поддерживается постоянной равной 45...50 мм) замыкает датчик, вмонтированный в водоохлаждаемую медную пластину 2. В этот же момент освобождают фиксатор 3, и клином 4 создают сжимающее усилие Q . При подъеме металлической ванны до уровня упора 5 образец нагружают вторично. После отключения второго нагружения образца сварку продолжают еще 2...3 мин для выведения усадочной раковины.

Из сваренного образца изготавливают продольный макрошлиф и определяют наличие трещин – надрывов. Если на макрошлифе обнаружены трещины, следующий образец сваривают при меньшей величине растяжения. При отсутствии трещин величину растяжения повышают. Количественным критерием оценки сопротивляемости стали образованию трещин – надрывов служит максимальная величина перемещения верхней кромки правой половины образца, при которой в металле околошовной зоны еще не появляются трещины – надрывы.

С использованием разработанной методики были выполнены исследования по определению места зарождения трещин – надрывов. Опыты проводили с образцами из стали 34Х2Н2МФ и для сравнения из Ст. 3. Образцы сваривали аппаратом А-535А, используя

проволоку Св10Г2 на следующем режиме: $V_{п.пр.} = 200$ м/ч, $U = 55$ В, флюс АН-348. Время испытания одного образца, включая изготовление, сварку и просмотр макрошлифа, составило 5...6 ч. Результаты исследований показали, что в образцах из стали 34Х2Н2МФ трещины – надрывы образуются при перемещении кромок на 3,84 мм, а на стали Ст. 3 на 8 мм. Исследование макрошлифов с трещинами – надрывами показало, что они пересекают линию сплавления. При этом одна часть трещины располагается в околошовной зоне, а другая пересекает границу сплавления, переходя в шов. Как правило, трещины ориентированы поперек границы сплавления, что указывает на то, что причиной их образования являются возникающие в сварном соединении продольные растягивающие напряжения (рис. 7).

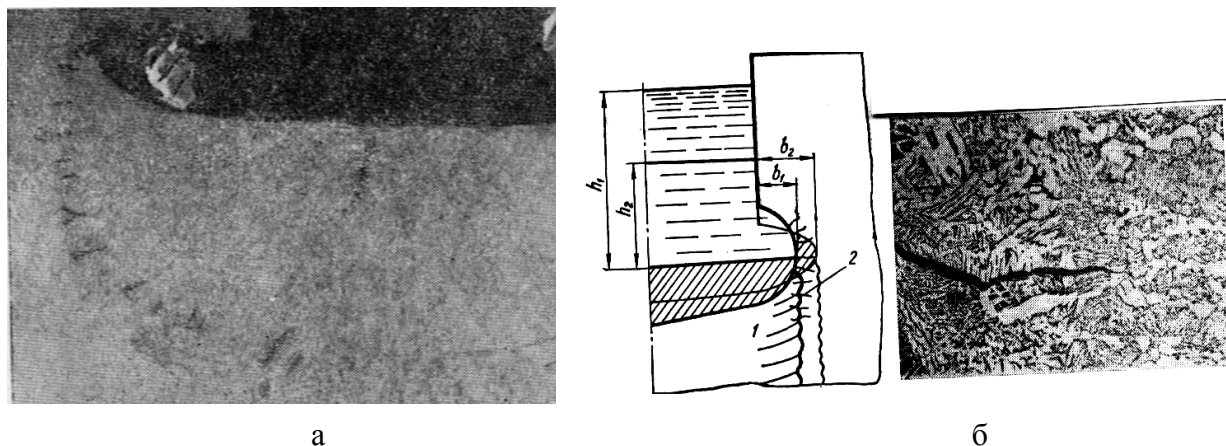


Рис. 7. Продольный макрошлиф с трещинами – надрывами (а) схема образования трещин – надрывов (1 – шов; 2 – трещины – надрывы) и микроструктура зоны шва с трещиной (б)

Величина раскрытия той части трещины, которая расположена в околошовной зоне значительно больше величины участка ее, уходящего в металл шва. Аналогичный вид трещин, пересекающих границу сплавления, наблюдается не только в сварных соединениях стали Ст. 3, но и при изучении в макрошлифах стали 34Х2Н2МФ и других сталей. Это позволяет утверждать, что трещины – надрывы образуются в околошовной зоне и под действием растягивающих напряжений, возникающих в результате термомодеформационных процессов, распространяются в металл шва.

3. Метод оценки стойкости металла околошовной зоны против образования холодных трещин.

Как было сказано ранее, существующие методы оценки сопротивляемости сталей образованию холодных трещин в условиях ЭШС, не в полной мере отвечают современным требованиям по повышению эффективности производства и качества крупных сварных конструкций тяжелого машиностроения. В связи с этим были выполнены дополнительные исследования по разработке более совершенной, мобильной методики, основанной на гипотезе замедленного разрушения закаленной стали. Известно также, что склонность закаленной стали к замедленному разрушению возрастает, если в процессе охлаждения или сразу после его окончания действуют внешние напряжения.

Для создания внешнего нагружения и проведения испытаний используют выше упомянутую установку для оценки стойкости металла шва против образования горячих трещин. В качестве образцов применяют пластины $180 \times 80 \times \delta$ мм. Толщину образца выбирают в зависимости от величины растягивающей нагрузки, которую обеспечивает испытательная установка.

Для создания пластической деформации толщина образца в местах закрепления, в захватах должна составлять 20 мм на длине 40 мм. Образцы испытывают по схеме: ЭШС – охлаждение – приложение внешней растягивающей нагрузки – выдержка. Электрошлаковую сварку образцов данной марки стали выполняют на одинаковом режиме: скорость подачи проволоки – 120 м/ч; напряжение – 48–50 В; количество электродных проволок – 1; скорость поперечных колебаний – 40 м/ч; глубина шлаковой ванны – 45–50 мм; расход воды в водоохлаждаемых устройствах – 10 л/мин. Охлаждение образцов непосредственно после сварки осуществляют в воде при их температуре 1300–1350 °С со скоростью 10 град/с, что соответствует критической скорости охлаждения, при которой в большинстве конструкционных сталей образуются холодные трещины. На рис. 8 показана схема установки для экспрессной оценки сопротивляемости металла околошовной зоны образованию холодных трещин.

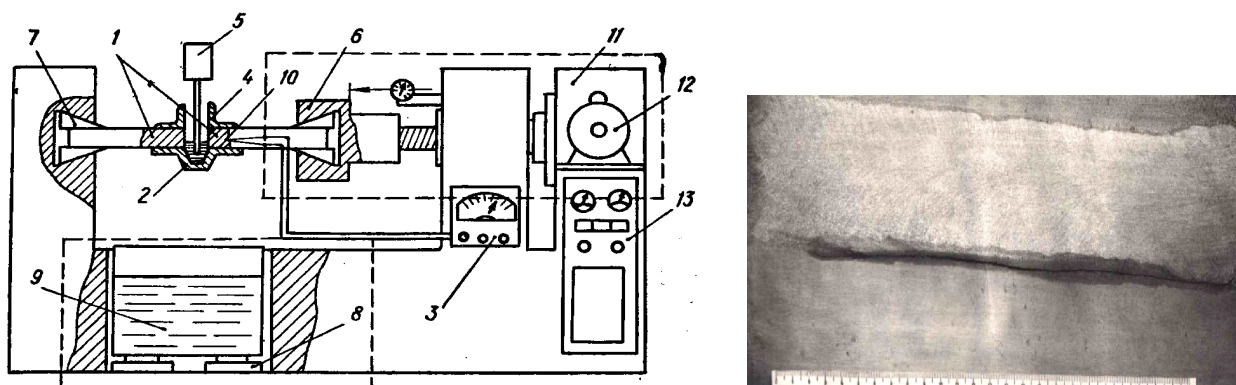


Рис. 8. Схема установки для экспресс-испытаний на чувствительность к образованию холодных трещин (а) и трещин в металле ОШЗ стали 34ХМ (б):

1 – свариваемые образцы; 2 – медный разъемный карман; 3 – потенциометр; 4 – медные выводные планки; 5 – электрод; 6 – подвижной захват; 7 – неподвижный захват; 8 – подставка; 9 – бак с водой; 10 – термопара; 11 – редуктор; 12 – электродвигатель; 13 – пульт управления

ВЫВОДЫ

1. Разработаны малоотходные экспрессные методики количественной оценки сопротивляемости сварных соединений образованию трещин в условиях электрошлаковой сварки.
2. Применение для оценки свариваемости металла образцов массой до 10 кг, размером 80 × 80 × 200 мм сокращает время таких исследований с 8–12 месяцев до суток, при этом расход легированных сталей на изготовление одного образца снижается с 1000 до 10 кг.
3. С использованием экспрессных методик оптимизированы составы сварочных материалов и режимов электрошлаковой сварки легированных сталей.
4. Установлен дискретный характер образования трещин – надрывов, которые первоначально зарождаются в металле околошовной зоны, а затем под действием растягивающих напряжений распространяются в шов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электрошлаковая сварка. Перспективы развития / Б. Е. Патон, Д. А. Дудко, И. И. Лыко, И. И. Сушук-Слюсаренк. – Киев : Автоматическая сварка. – 1999. – № 9. – С. 4–6.
2. Аношин В. А. О механизме образования кристаллизационных трещин / В. А. Аношин. – Киев : Автоматическая сварка. – 2003. – № 11. – С. 5–6.
3. Семенов В. М. Электрошлаковая сварка крупных поковок толщиной до 1300 мм из стали 20ХНМФ / В. М. Семенов, С. В. Подлесный // Харьков Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2005. – № 3 (15). – С. 45–51.