



УДК 669.017 + 621.791.76/79

Поступила 06.09.2021

К ПРОБЛЕМЕ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА СВАРНЫХ ШВОВ

А. Г. АНИСОВИЧ, Государственное научное учреждение «Физико-технический институт НАН Беларуси», г. Минск, Беларусь, ул. Купревича, 10. E-mail: anna-anisovich@yandex.ru

Рассматриваются проблемы применимости государственных стандартов 3449-84, 1523-81, 1677-75 для оценки качества сварных швов. Отмечено, что ни один из данных стандартов не приводит фотографий микроструктур сварных швов ни в качестве эталонов, ни в качестве примера брака. Показано, что для надежного анализа качества сварных соединений требуется детальное исследование микроструктуры сварной зоны, которое возможно произвести только после металлографического травления на микроструктуру с использованием рабочего увеличения микроскопа 500–1000 крат. Для этого требуется переработка существующих стандартов в части анализа качества сварных швов, где были бы прописаны современные требования анализа на микроструктуру.

Ключевые слова. Контактное сплавление, сварной шов, микроструктура, метчики, развертки, зенкера.

TO THE PROBLEM OF ANALYSIS OF THE QUALITY OF WELDED SEAMS

A. G. ANISOVICH, Physical-Technical Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, 10, Kuprevich str. E-mail: anna-anisovich@yandex.ru

Problems of applicability of state standards 3449-84, 1523-81, 1677-75 for assessing the quality of welded joints are considered. It is noted that none of these standards provides photographs of the microstructures of welded joints, either as standards or as an example of rejects. It is shown that for a reliable analysis of the quality of welded joints, a detailed study of the microstructure of the welded zone is required, which can be performed only after metallographic etching on the microstructure using the working magnification of the microscope 500–1000 times. This requires a revision of the existing standards in terms of the analysis of the quality of welds, which would spell out the modern requirements for microstructure analysis.

Keywords. Contact fusion, welded seam, microstructure, taps, reamers, countersinks.

Проблема применимости стандартов для оценки качества металлических изделий и полуфабрикатов продолжает оставаться актуальной. Автором был опубликован ряд статей на эту тему [1–4]. Рассмотрены проблемы применения некоторых стандартов, содержащих эталонные шкалы структур: ГОСТ 1763-68, 1778-70, 5640-68, 9391-80, 10243-75, 13938.13-93, 22838-77, 3443-87 (материалы: кислородная медь, трубные и конструкционные стали, чугун). Показано, что нормативная база стандартов для металлографического анализа морально устарела. Основной проблемой является несоответствие увеличения эталонов реальным структурам современных сплавов.

В отношении анализа качества сварных швов имеются сходные проблемы. Инструмент зачастую изготавливается из дорогих легированных сталей. Поэтому для удешевления изделий такой инструмент, как сверла, развертки, зенкеры, изготавливается сварным с использованием углеродистых сталей. К сварным швам на таком инструменте предъявляется ряд требований. Качество сварных швов должно соответствовать определенным стандартам:

- ГОСТ 3449–84 «Метчики. Технические условия», п. 1.5: «В месте сварки раковины, непровар, поджог и пережог металла, кольцевые трещины и свищи не допускаются».
- ГОСТ 1523–81 «Развертки цилиндрические. Технические условия», п. 1.3: «В зоне сварки не допускаются раковины, непровар, прижог и кольцевые трещины».
- ГОСТ 1677–75 «Зенкеры цельные и со вставными ножами из быстрорежущей стали. Технические условия», п. 1.2: «В месте сварки не допускаются раковины, непровар, поджог и пережог металла, кольцевые трещины и свищи».

Ни один из данных стандартов не приводит фотографий микроструктур сварных швов ни в качестве эталонов, ни в качестве примера брака.

Анализ сварных швов, в том числе в аккредитованных лабораториях, зачастую сводится к исследованию линии сплавления без металлографического травления при увеличении 100 крат.

Особенностей строения сварных швов при таком увеличении можно и не обнаружить, учитывая, что иной раз фотографии анализируемой поверхности делаются фотоаппаратом. С данной проблемой связаны также трудности установления брака, так как сторона, допустившая брак, становится на формальные позиции и закрывается действующими стандартами. Для доказательства факта брака приходится оперировать сведениями из публикаций в монографиях и научных журналах. Это создает известные трудности, поскольку производители сварочного оборудования не являются специалистами по металловедению. Кроме того, следует, к сожалению, учитывать и нынешнее общее снижение уровня квалификации специалистов.

В данной статье рассматриваются проблемы установления брака сварных швов заготовок под метчики и зенкера. Детали выполнены контактным сплавлением сталей 45 и Р6М5. Исследовали структуру сварного шва и околошовной зоны. Для анализа выбраны два образца сварных швов. Образец 1 был забракован на основании перечисленных выше ГОСТ, без травления на микроструктуру. Образец 2 не показал дефектов сварной зоны при увеличении 100 в отсутствие травления.

Исследование проведено на металлографическом микроскопе МИ-1. Шлифы изготовлены по общепринятой методике. Травление шлифов на микроструктуру производилось 4%-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте.

Трудность сварки разнородных сталей обусловлена тем, что в зоне их сплавления может происходить изменение структуры с образованием прослоек, существенно отличающихся от структуры сплавляемых металлов [5]. Изменение в структуре может быть настолько сильным, что существенно снижаются их прочностные характеристики. В результате возможно разрушение. Это изменение структуры в зоне сплавления разнородных сталей принято считать образованием в ней структурной неоднородности. Сварные соединения разнородных сталей, в которых структура сплавляемых металлов не изменяется до границы сплавления, являются технологичными и могут надежно работать.

Для получения качественных и надежно работающих в специфических условиях сварных соединений необходимо применять технологию сварки, которая исключает формирование трещин в металле шва, а также изменение в зоне сплавления химического состава и структуры сплавляемых металлов, приводящее к образованию указанной выше структурной неоднородности. Наблюдаемая в зоне сплавления разнородных сталей структурная неоднородность состоит из обезуглероженной прослойки со стороны менее легированной стали и науглероженной прослойки со стороны более легированной стали. Разнородные стали необходимо сваривать так, чтобы ширина переходного слоя была минимальной [5].

В образце 1 на нетравленном шлифе в зоне сварного шва обнаружены несплошности (рис. 1, *а*) как у поверхности, так и в середине детали. Обнаружены также следы пережога (рис. 1, *б*). Пережог [6] – неисправимый дефект металлических изделий, образующийся при высоком нагреве (близком к температуре плавления) в окислительной среде. Пережог в инструментальных сталях вызывает появление оксидов железа по границам зерен [7] и оплавление легкоплавких составляющих (эвтектик) по границам зерен.

В данном случае с установлением брака не возникает проблем. Образец может быть забракован при анализе нетравленной поверхности шлифа.

После травления на микроструктурах видно, что сварной шов состоит из нескольких зон (рис. 2, *а*). Непосредственно к шву со стороны стали 45 прилегает обезуглероженная зона шириной порядка 100 мкм в середине детали и 150–250 мкм у поверхности образца. В зоне сварного шва присутствуют

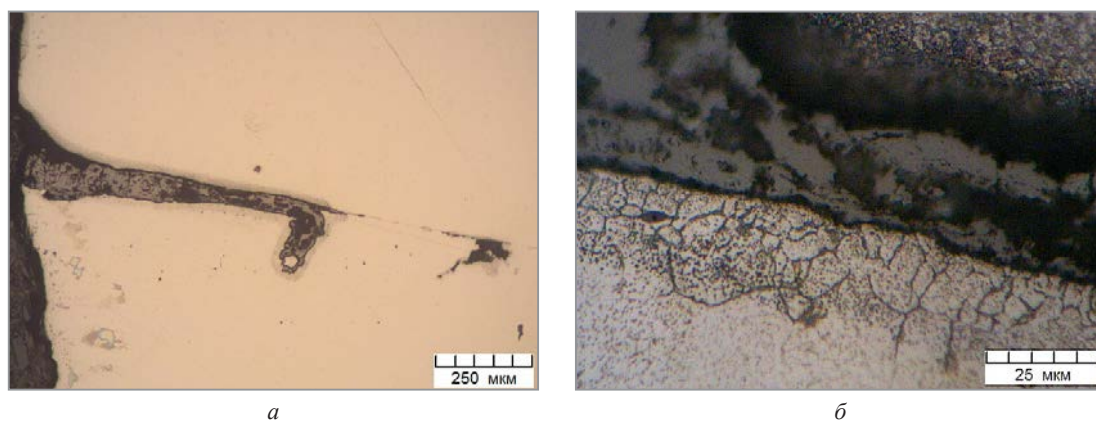


Рис. 1. Дефекты сварного шва; образец 1; *а* – несплошность; *б* – пережог.

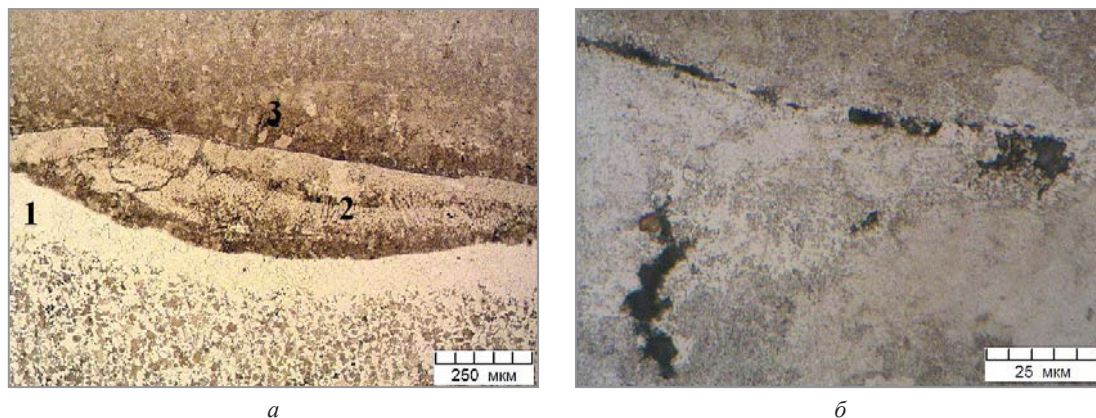


Рис. 2. Микроструктура сварного шва; образец 1:
a – структурная неоднородность; 1 – зона обезуглероживания (феррит, сталь 45); 2 – зона дендритной структуры;
 3 – зона со структурой ледобурита (эвтектика) и сорбитообразного перлита;
б – несплошности, шлаки и эвтектика

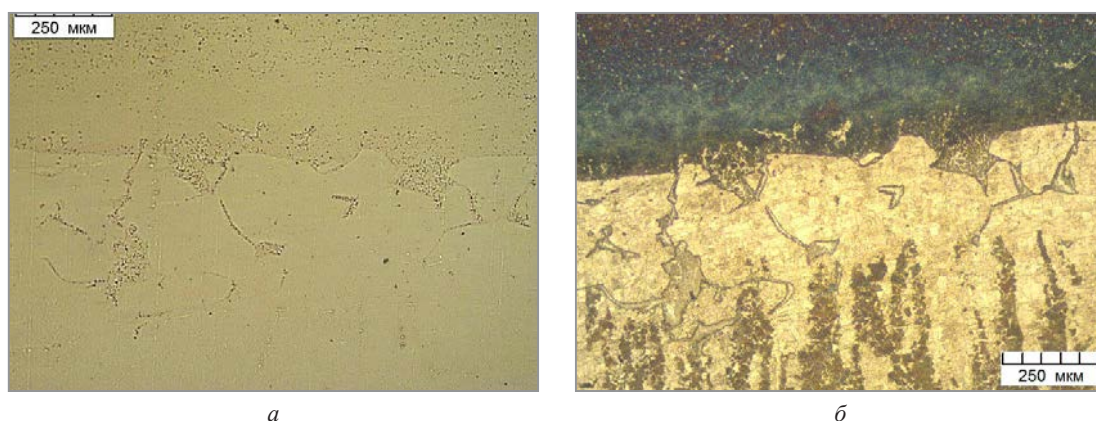


Рис. 3. Структура сварного шва; образец 2: *a* – без травления, *б* – травление

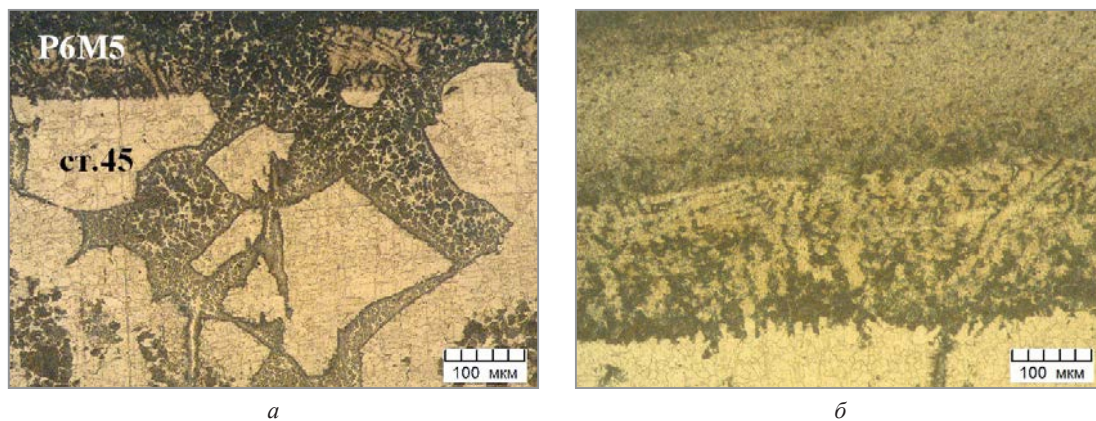


Рис. 4. Эвтектика в обезуглероженной зоне (*a*) и дендриты в зоне сварного шва (*б*); образец 2

дендриты, а также сорбитообразный перлит с прослойками эвтектического происхождения. В участках эвтектической структуры образуются несплошности и включения шлаков (рис. 2, *б*).

В образце 2 нарушений сплошности шва не обнаружено. На нетравленном шлифе заметны особенности строения зоны сплавления только при использовании апертурной диафрагмы (рис. 3, *a*). После травления в сварном шве выявляются различные структурные зоны (рис. 3, *б*). Непосредственно на линии сплавления обнаружены обезуглероженная зона и участки эвтектического происхождения. В обезуглероженной зоне стали 45 эвтектика закристаллизовалась из расплава, разлившегося в горячие трещины в феррите (рис. 4, *a*). Аналогичное явление было отмечено в [5]. Трещины возникают за счет разницы коэффициентов термического расширения свариваемых сталей. Практически на всем протяжении сварного шва имеет место дендритная структура, формирующаяся при кристаллизации расплава (рис. 4, *б*).

Объяснение формирования ледебурита при быстром нагреве стали, содержащей крупные карбиды (Р6М5, в частности), дано в [8]. При быстром нагреве такой стали до эвтектической температуры исходные частицы карбида служат базой, на которой при быстром нагреве образуются капли жидкости эвтектического состава, переходящие при охлаждении в тонкий ледебурит. Процесс плавления завершается уничтожением карбидной фазы; в структуре формируется ледебуритная эвтектика по границам зерен. Структура образца 2 на границе двух зон представлена на рис. 5. На участке 1 и выше быстрорежущая сталь имеет свою обычную структуру с крупными карбидами. На участке 2 в стали сформировалась эвтектика.

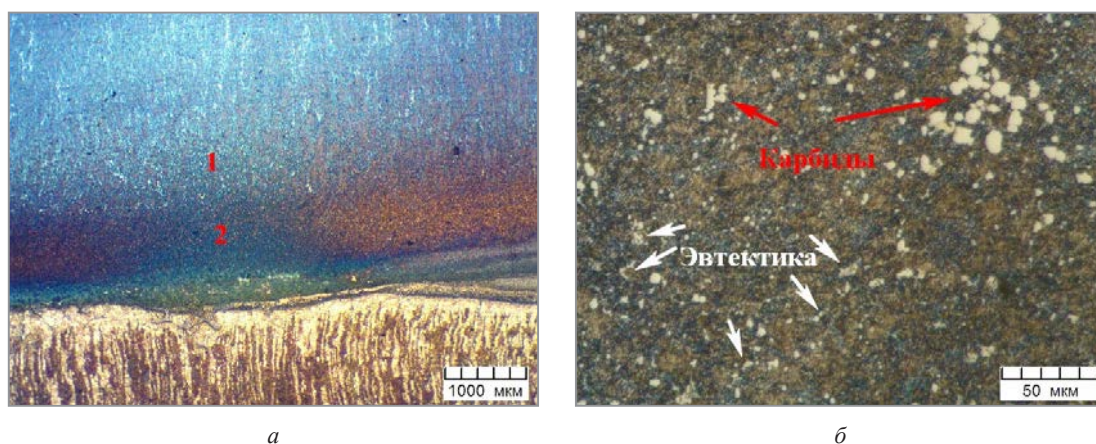


Рис. 5. Структура на границе двух зон в стали Р6М5:
а – 1 – неизменная структура стали Р6М5; 2 – зона, содержащая эвтектику (ледебурит);
б – изменение карбидной фазы

По результатам исследования структуры образцов можно отметить следующее.

При анализе структуры сварного шва на соответствие ГОСТ 1677-75, 1523-81, 3449-84 для установления наличия трещин, непровара, раковин достаточно исследования металлографического шлифа без травления при увеличении 100 крат (например, рис. 1, *а*, образец 1). При анализе образца 2 без видимых дефектов (в частности, рис. 3, *а*) требуется достаточное внимание, поскольку наблюдаемые на рис. 3, *а* эффекты получены при снижении действующего отверстия оптической системы микроскопа (апертурной диафрагмы) до минимального значения «1» с целью увеличения глубины резкости. Дефекты структуры, такие, как пережог, структурная неоднородность, видны после травления. Они влияют на механические свойства и проявляются при механических испытаниях или в процессе эксплуатации.

Для адекватного анализа сварных соединений необходим детальный анализ структуры сварной зоны, который возможно произвести только после металлографического травления на микроструктуру при использовании рабочего увеличения микроскопа 500–1000 крат. Поэтому требуется переработка существующих стандартов в части анализа качества сварных швов, где были бы прописаны современные требования анализа на микроструктуру.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Анисович А. Г., Андрушевич А. А., Доготарь Л. В.** К проблеме определения структурной полосчатости стали // Тр. 28-й Междунар. науч.-техн. конф. «Литейное производство и металлургия 2020. Беларусь». Минск, 25–27 ноября 2020. С. 140–144.
2. **Анисович, А. Г.** О качестве стального полуфабриката / А. Г. Анисович // *Литье и металлургия*. 2019. № 1. С. 102–107.
3. **Анисович, А. Г.** О необходимости разработки современных методов оценки пористости материалов / А. Г. Анисович, А. С. Буйницкая // *Литье и металлургия*. 2015. № 1(78). С. 129–133.
4. **Анисович, А. Г.** Проблемы применения стандартов при оценке микроструктуры металлов и сплавов / А. Г. Анисович // *Весті НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук*. 2021. № 1(66). С. 12–19.
5. *Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением* / Под ред. Б. Е. Патона. М.: Машиностроение, 1974. 768 с.
6. *Словарь-справочник по литейному производству*. М.: Машиностроение, 1990. 384 с.
7. **Тутов И. Е.** *Металловедение*. М.: Машгиз, 1954. 320 с.
8. **Бунин К. П.** *Железоуглеродистые сплавы*. М.: Машгиз, 1949. 168 с.