



УДК 669
DOI: 10.21122/1683-6065-2019-1-102-107

Поступила 05.10.2018
Received 05.10.2018

О КАЧЕСТВЕ СТАЛЬНОГО ПОЛУФАБРИКАТА

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

В статье рассмотрен вопрос о качестве конструкционной стали, поставляемой металлургическими предприятиями. Показано, что трубы из стали 20, применяемые в нефтегазовой промышленности, содержат в структуре структурно-свободный цементит, зачастую в виде сетки (баллы 4 и 5 по ГОСТ 5640-68). Такая структура является причиной брака: при последующей холодной обработке давлением формируются наплывы на поверхности изделия, а также происходит нарушение сплошности материала вплоть до образования сквозных трещин. Рассматривается также формирование структурно-свободного цементита в стали 40ХН2МА со структурой верхнего бейнита, сформировавшегося при нарушении регламента термической обработки полуфабриката. При азотировании с нагревом до 490 °С и выдержке при этой температуре произошел распад бейнита с образованием третичного цементита по границам зерен. Обсуждаются возможности отбраковки некачественной поставки стали у потребителя. Отмечается, что на многих предприятиях в настоящее время упразднен входной контроль, что имеет самые негативные последствия как в плане качества продукции, так и в плане безопасности, особенно в нефтегазовой отрасли.

Ключевые слова. Углеродистая сталь, структурно-свободный цементит, старение феррита, холодная деформация, входной контроль, термическая обработка.

Для цитирования. Анисович, А. Г. О качестве стального полуфабриката / А. Г. Анисович // Литье и металлургия. 2019. № 1. С. 102–107. DOI: 10.21122/1683-6065-2019-1-102-107.

THE QUALITY OF SEMI-FINISHED STEEL

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

The article deals with the quality of structural steel supplied by metallurgical enterprises. It is shown that the pipes made of steel 20, used in the oil and gas industry, contain structurally free cementite in the structure, often in the form of a grid (points 4 and 5 according to GOST 5640–68). This structure is the cause of faulty production: the subsequent cold treatment pressure formed sags on the surface of the product, and there is a violation of the continuity of the material up to the formation of through cracks. Formation of structurally-free cementite in steel 40KH2MA with structure of the top bainite which was formed at violation of regulations of heat treatment of a semi-finished product is also found. When nitriding with heating to 490 °C and holding at this temperature, there was a decay of bainite with the formation of tertiary cementite along the grain boundaries. Discussed the possibility of culling the poor quality of delivery at the consumer. It is also noted that many enterprises have now abolished entrance control, which has the most negative consequences both in terms of product quality and safety, especially in the oil and gas industry.

Keywords. Carbon steel, structurally free cementite, aging of ferrite, cold deformation, entrance control, heat treatment.

For citation. Anisovich, A. G. The quality of semi-finished steel. Foundry production and metallurgy, 2019, no. 1, pp. 102–107. DOI: 10.21122/1683-6065-2019-1-102-107.

Вопрос о качестве стального полуфабриката, поставляемого металлургическими предприятиями, поднимается нами не впервые. Несколько лет назад автором уже обсуждалось качество металлопродукции [1], закупаемой белорусскими предприятиями. Тогда же было отмечено, что имеются определенные трудности при попытке забраковать поставляемый металл, опираясь на действующие стандарты. Дело в том, что, как правило, поставляемая сталь соответствует стандарту по составу и механическим свойствам. Но структура имеет дефектное строение, которое при определенных операциях обеспечивает нарушение сплошности или же неудовлетворительное качество поверхности изделия.

В нефтегазовой отрасли в качестве материала для труб, а также как исходный материал для получения деталей холодным пластическим деформированием широко используется сталь 20. Поставки стали 20

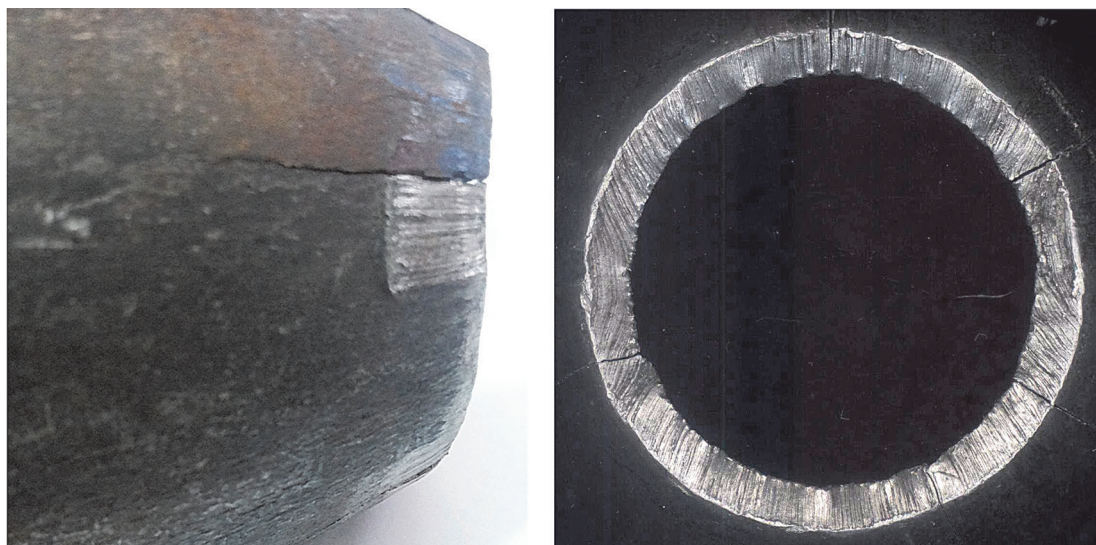


Рис. 1. Трещины в узкой части изделия из холоднодеформированной стали 20. $\times 200$

производятся, в том числе предприятиями Российской Федерации. В последнее время часто встречающимся дефектом структуры поставляемой стали является структурно-свободный цементит.

На рис. 1 представлена деталь «Переход 89 \times 45», выполненная из трубы стали 20 с использованием холодной деформации. При формообразовании в детали образовались трещины, распространяющиеся от узкой части изделия. Структура этой стали представлена на рис. 2, 3. Содержание углерода определено металлографически и составляет 0,22%, что соответствует стали 20. При увеличении 200 (рис. 2) в структуре не заметно каких-либо особенностей, которые могли бы объяснить появление брака.

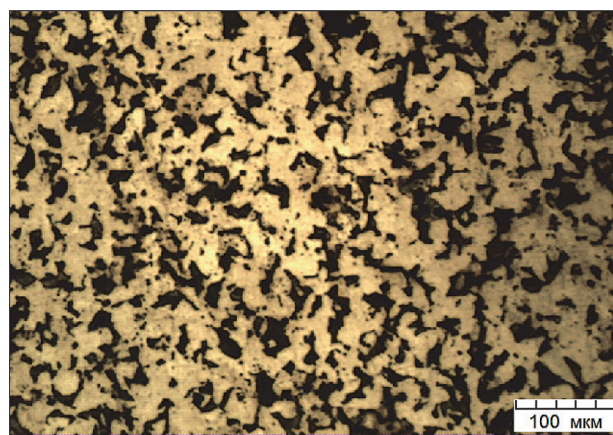


Рис. 2. Структура стали 20. $\times 200$

При $\times 2000$ в структуре стали по границам ферритных и перлитных зерен виден структурно-свободный цементит, так называемый третичный (рис. 3, *a*). В отличие от других видов цементита его обычно трудно наблюдать, поскольку он выделяется в небольших количествах, а при повышении концентрации углерода соединяется с цементитом перлита. Иногда он сам не виден, но декорирует границу зерна и ее лучше видно при металлографическом травлении.

Присутствие третичного цементита значительно и отрицательно сказывается на механических свойствах стали. Третичный цементит является дефектом структуры, снижающим способность стали к холодной деформации [2]. Существует опасность образования трещин (вплоть до сквозных) при попытке

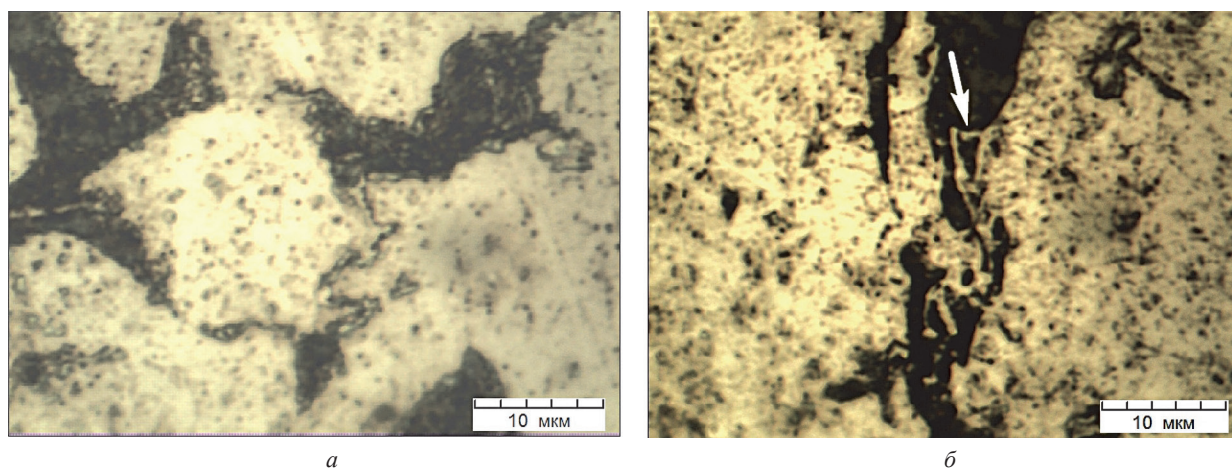


Рис. 3. Третичный цементит в границах зерен (*a*) и во внутреннем пространстве трещины (*б*). $\times 2000$

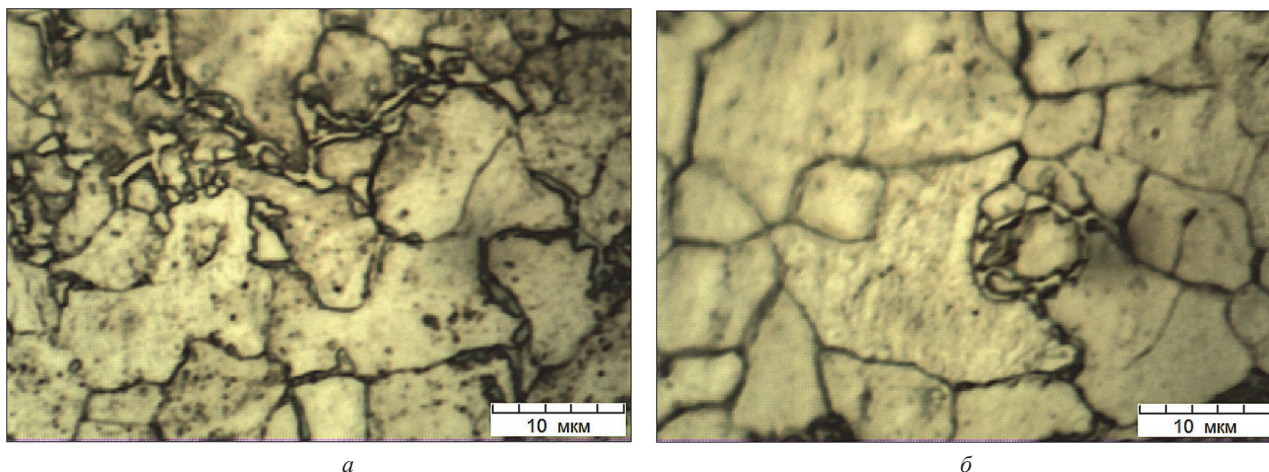


Рис. 4. Третичный цементит в структуре трубы с покрытием полиэтилена

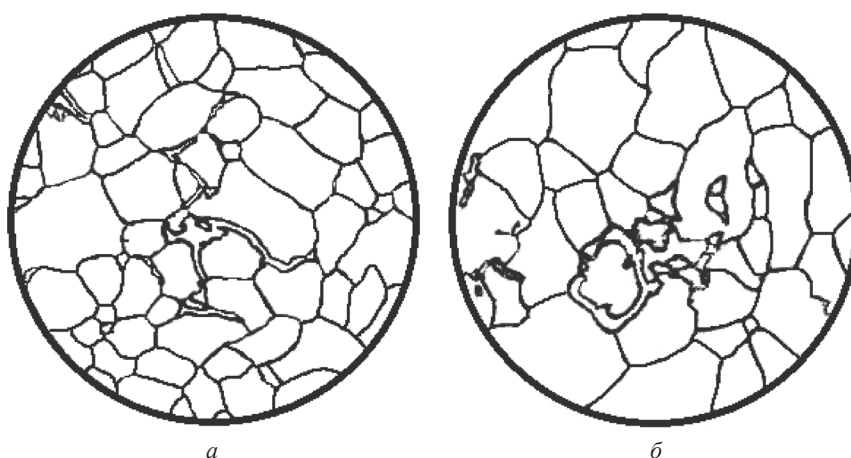


Рис. 5. Эталоны структурно-свободного цементита по ГОСТ 5640-68: *а, б* – баллы 4 и 5 соответственно

изменить конфигурацию изделия механической обработкой. При приложении давления разрушение материала происходит в наиболее слабых местах по границам зерен, содержащих свободный цементит (рис. 3, *б*, цементит указан стрелкой). Для данного образца следует отметить также и характер травления стали на микроструктуру. После травления по телу зерна феррита наблюдаются пятна, связанные, вероятно, с неоднородностью состава и присутствием большого количества примесей.

Аналогичная проблема была обнаружена при анализе материала трубы стальной изолированной, изготовленной из стали 20, с покрытием из экструдированного полиэтилена (рис. 4) для труб газового хозяйства. Структурно-свободный цементит присутствует как в виде протяженных включений (рис. 4, *а*), так и в виде сетки по границам зерен (рис. 4, *б*). Эталонные структуры по ГОСТ 5640-68, соответствующие рассматриваемому случаю, приведены на рис. 5.

Образование третичного цементита является вопросом, давно изученным и описанным в классической литературе [2, 3]. Структура, показанная на рис. 3, 4, формируется в результате неправильной термической обработки. Выделение третичного цементита – это результат старения феррита при его охлаждении в области ниже линии *PQ* на диаграмме состояния железо-углерод. Если сталь нагреть выше этой линии, а затем закалить, то в результате закалки сформируется твердый раствор углерода в α -железе. И при комнатной температуре, и при повышенной он будет стареть. Упрочняющей фазой, образующейся при таком старении, и является третичный цементит.

Ниже приведен пример для стали 40ХН2МА. В результате ускоренного охлаждения в стали сформировались множественные участки структуры верхнего бейнита и игольчатого феррита (рис. 6). Такая структура нежелательна для последующей обработки давлением. Также она может трансформироваться при термической обработке.

При нагреве до температуры азотирования 490°C и выдержке при этой температуре произошел распад бейнита. В результате образовались участки феррита с выделениями третичного цементита по границам зерен (рис. 7, *а*). Округлые включения цементита обнаружены также на границах перлитных зе-

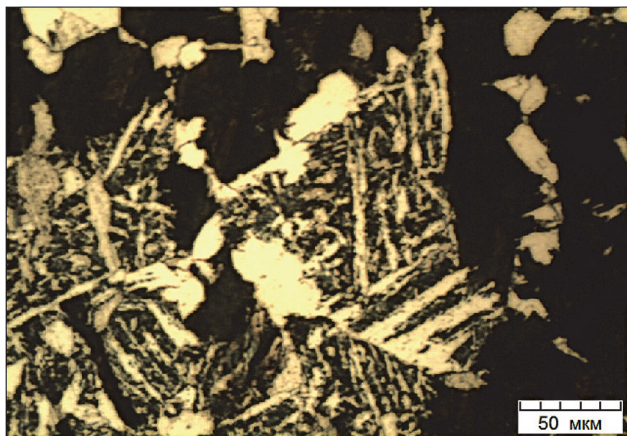


Рис. 6. Структура бейнитной полосы; сталь 40XH2МА

рен. Образец с такой структурой разрушился при незначительном усилии. На рис. 7, б показана зона излома. Из рисунка видно, что разрушение образца произошло по границам зерен. Кроме того, показана трещина, по краям которой располагаются включения свободного цементита.

Изменение твердости феррита при различных режимах нагрева и охлаждения показано на рис. 8, 9 [3]. Если после нагрева до температур α - или γ -области было проведено медленное охлаждение, то свойства феррита не изменяются при старении. После быстрого охлаждения при старении происходит упрочнение с приростом твердости на 15–20 НВ. Закалка из α -области с последующим старением ведет к повышению твердости примерно в 1,5 раза по сравнению с исходным состоянием. Одновременно с повышением твердости наблюдается снижение других свойств, например, существенное снижение ударной вязкости [4].

Сталь со свободным цементитом необходимо подвергать нормализации при 900–930 °С или браковать [3]. Как неудовлетворительная такая структура рассматривается и в [5] (рис. 10).

В настоящее время забраковать сталь по признаку наличия структурно-свободного цементита достаточно сложно. В соответствии со стандартами предприятие-поставщик принимает претензии по составу и/или свойствам стали. Те, кто не являются специалистами в области металловедения, неохотно принимают претензии к структуре, не считая данный вопрос важным. Или же укрываются за формальными требованиями ГОСТ. Металлографический метод оценки структурно-свободного цементита устанавливается ГОСТ 5640-68 «Сталь. Металлографический способ оценки микроструктуры листов и ленты». Но данный стандарт не оговаривает возможность или невозможность использования стали с таким дефектом, он просто классифицирует структуру по баллам. В вопросах, касающихся отрицательного влияния структурно-свободного цементита на свойства стали, металловеды используют результаты исследований, не оформленные стандартами, в частности монографии [2, 3, 5].

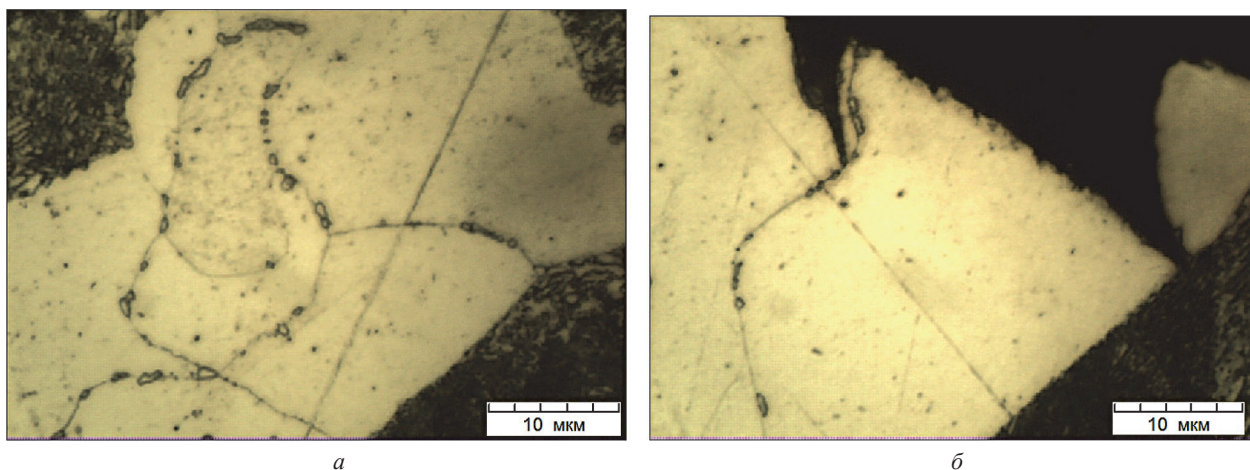


Рис. 7. Трещинный цементит в границах зерен феррита после азотирования (а); зона излома (б)

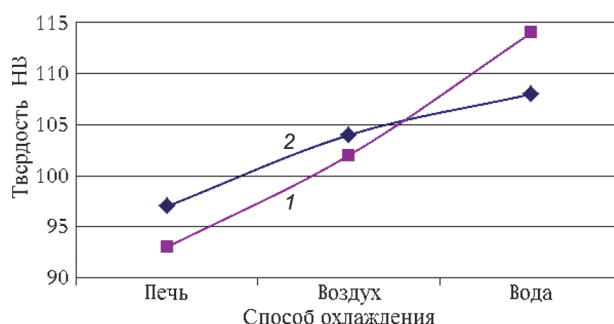


Рис. 8. Влияние способа охлаждения на твердость феррита после его нагрева в γ -области (975 °С) (1) и α -области (650 °С) (2)

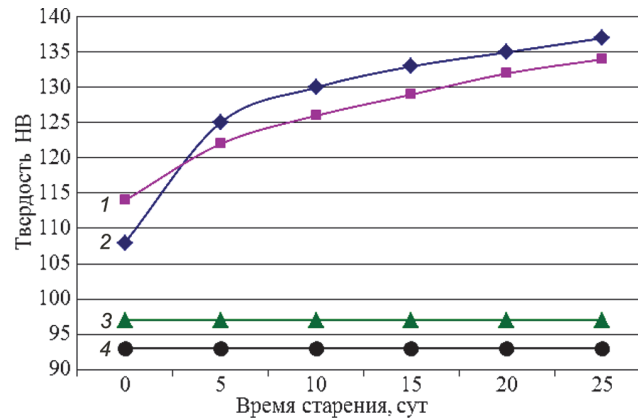


Рис. 9. Влияние времени старения на твердость феррита после его нагрева в γ -области (975 °С) и α -области (650 °С) и охлаждения в воде или с печью: 1 – 975 °С, вода; 2 – 650 °С, вода; 3 – 650 °С, печь; 4 – 975 °С, печь

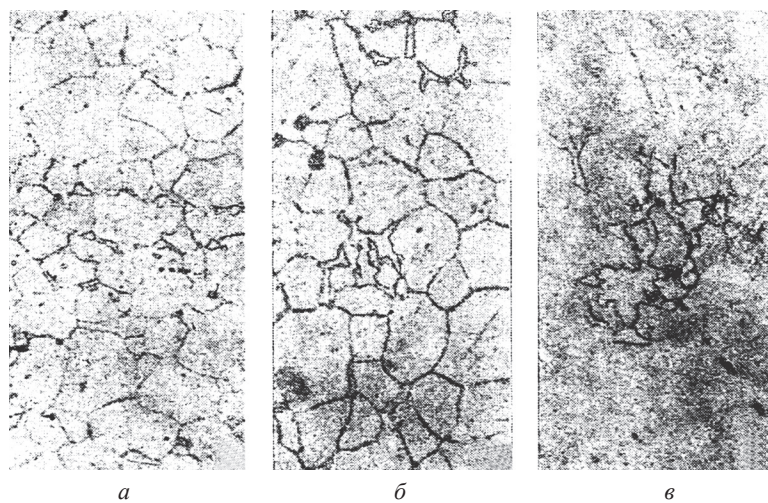


Рис. 10. Микроструктура литой горячекатаной стали 08кп по данным лаборатории завода «Запорожсталь»: а – удовлетворительная с мелкими включениями зернистого цементита; б, в – брак, сетка и скопления цементита соответственно [5, стр. 352]

Потребители могли бы оговаривать качество металлопродукции (в том числе и по структуре) в договорах на поставку, но на многих предприятиях в настоящее время упразднен входной контроль, что имеет самые негативные последствия как в плане качества продукции, так и в плане безопасности, особенно в нефтегазовой отрасли [6]. Также заводские лаборатории в настоящее время весьма плохо укомплектованы специалистами по металловедению. Зачастую там работают люди, не имеющие специального образования. Также заводские лаборатории не укомплектованы оборудованием. Очень часто единственное металлографическое оборудование в ЦЗЛ – микроскопы марок МИМ, не позволяющие провести металлографический анализ на должном уровне. Вероятно, сходная ситуация имеет место и на металлургических заводах, где из-за отсутствия квалифицированных специалистов и оборудования нарушают технологический регламент изготовления стального полуфабриката.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анисович А. Г., Румянцева И. Н. Антипродукция: проблема качества металла // *Литье и металлургия*. 2009. № 3(52). С. 127–131.
2. Тутов И. Е. *Металловедение*. М.: Машиностроение, 1954. 320 с.
3. Гуляев А. П. *Термическая обработка стали*. М.: Металлургия, 1953. 384 с.
4. Анисович А. Г., Красневский С. М., Степанкова М. К. Использование темнопольного изображения для идентификации фазовых составляющих трубных сталей // *Литье и металлургия*. 2012. № 1(64). С. 99–103.
5. Болховитинов Н. Ф. *Металловедение и термическая обработка*. Л.: Машгиз, 1952, 427 с.
6. Отсутствие входного контроля – залог будущей аварии [Электронный ресурс]. 2018. Режим доступа: <http://glavteh.ru/входной-контроль-нкт/>. Дата доступа: 22.07.2018.

REFERENCES

1. Anisovich A.G., Rumjantseva I. N. Antiproduktsiya: problema kachestva metalla [Antiproduction: problem of metal quality]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2009, no. 3(52), pp. 127–131.

2. **Tutov I. E.** *Metallovedenie* [Metalscience]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1954. 320 p.
3. **Gulyaev A. P.** *Termicheskaya obrabotka stali* [Heat treatment of steel]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1953. 427 p.
4. **Anisovich A.G., Krasnevskij S. M., Stepankova M. K.** Ispolzovanie temnopol'nogo izobrazheniya dlya identifikatsii fazovykh sostavlyayuschikh trunyx staley [Usage of dark-field image for identification of phase components of pipe steels]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*. 2012, no. 1(64), pp. 99–103.
5. **Bolchovitinov N. F.** *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka* [Metal science and heat treatment]. Leningrad, Mashgiz Publ., 1952. 427 p.
6. **Otsutstvie** vkhodnogo kontrolya – zalog budushey avarii [Lack of input control – the key to a future accident]. <http://glavteh.ru/input-control-nkt/>. Data dostupa: 22.07.2018.