

УДК 656.259.2

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ИЗЛОМОВ ОБРАЗЦОВ ПРИ ИСПЫТАНИИ ПАДАЮЩИМ ГРУЗОМ СТАЛИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОКАТКИ

ВАХРУШЕВА В. С.¹, д. т. н., проф.,
ГРИМАЛОВСКАЯ Е. А.^{2*}, аспирант

¹ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, г. Днепропетровск, Украина, e-mail : v.vahrusheva@mail.ru, ORCID ID : 0000-0002-2663-2714

^{2*} Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, г. Днепропетровск, Украина, тел.+38-066-429-73-17, e-mail : evgenia-grim@yandex.ua, ORCID ID : 0000-0002-3920-4946

Аннотация. *Цель.* Испытание на ударный изгиб падающим грузом (ИПГ) в настоящее время представляет собой наиболее эффективный метод оценки способности конструкционных металлургических материалов к остановке трещины, реализуемый в производственных условиях при сдаточном контроле как показатель качества листового проката и труб. Результаты таких испытаний, выраженные в виде количества вязкой составляющей в изломе и/или поглощенной энергии разрушения полнотолщинных образцов, являются показателем сопротивления разрушению основного металла труб магистральных газопроводов и других высоконагруженных конструкций ответственного назначения. Однако действующие стандарты, в соответствии с которыми и осуществляется оценка этих показателей, неоднозначно трактуют вид изломов современных сталей. Необходимо провести анализ методических разночтений при оценке изломов образцов ИПГ стали термомеханической прокатки, а также определить особенности их строения. *Методика.* В работе с использованием растровой электронной микроскопии и металлографии исследовали вид изломов стали класса прочности Х70 после термомеханической обработки. *Результаты.* Оценка вязкой составляющей высокопрочных и высоковязких трубных сталей с наличием в структуре расщеплений и разрушения в виде «размерной стрелки» в соответствии с современными стандартами неоднозначна и субъективна, так как не учитывает в необходимой мере особенности и разнообразие структуры изломов и требует дальнейшего исследования с установлением количественных и качественных характеристик. Определены характерные особенности строения изломов образцов ИПГ стали термомеханической прокатки, а именно наличие двух видов расщеплений и разрушения в виде «размерной стрелки». Также показано их различие. *Научная новизна.* Дана оценка строения изломов для повышения надежности и объективности определения вязкой составляющей высокопрочной и высоковязкой трубной стали. *Практическая значимость.* Доказана необходимость усовершенствования методики оценки излома образца и количества вязкой составляющей современных высоковязких сталей термомеханической прокатки.

Ключевые слова: испытание падающим грузом; Х70; количество вязкой составляющей; расщепления; «размерная стрелка».

ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНКИ ЗЛАМІВ ЗРАЗКІВ ПІД ЧАС ВИПРОБУВАННЯ ПАДАЮЧИМ ВАНТАЖЕМ СТАЛІ ТЕРМОМЕХАНІЧНОЇ ПРОКАТКИ

ВАХРУШЕВА В. С.¹, д. т. н., проф.,
ГРИМАЛОВСЬКА Є. А.^{2*}, аспірант

¹ Кафедра металознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, м. Дніпропетровськ, Україна, e-mail : v.vahrusheva@mail.ru, ORCID ID : 0000-0002-2663-2714

^{2*} Кафедра металознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, м. Дніпропетровськ, Україна, тел.+38-066-429-73-17, e-mail : evgenia-grim@yandex.ua, ORCID ID : 0000-0002-3920-4946

Анотація. *Мета.* Випробування на ударний злам падаючим вантажем (ВПВ) наразі – це найефективніший метод оцінки здатності конструкційних металургічних матеріалів до зупинки тріщини, який реалізується у виробничих умовах під час здаточного контролю як показник якості листового прокату та труб. Результати таких випробувань, виражені у вигляді кількості в'язкої складової у зламів та/або поглиненої енергії руйнування повнотовщинних зразків, є показником опору руйнуванню основного металу труб магистральних газопроводів та інших високовантажених конструкцій відповідального призначення. Однак діючі стандарти, згідно з якими проводиться оцінка цих показників, неоднозначно трактують вид зламів сучасних сталей. Необхідно провести аналіз методичних різночитань під час оцінювання зламів зразків ВПВ сталі термомеханічної прокатки, а також визначити особливості їх будови. *Методика.* У роботі з використанням растрової микроскопії та металогрії досліджували вид зламів сталі класу міцності Х70 після термомеханічної обробки. *Результати.* Оцінка в'язкої складової високоміцних та високов'язких трубних сталей з наявністю у структурі розщеплень та руйнування у вигляді «розмірної стрілки», згідно із сучасними стандартами неоднозначна та суб'єктивна, тому що не враховує

необхідною мірою особливості та різновид структури зламів и потребує подальшого дослідження з установленням кількісних та якісних характеристик. Визначення характерних особливостей будови зламів зразків ВПВ сталі термомеханічної прокатки, а саме наявність двох видів зламів та руйнування у вигляді «розмірної стрілки». Також показано їх відмінність. **Наукова новизна.** Оцінка будови зламів для збільшення надійності та об'єктивності визначення в'язкої складової високоміцних та високов'язких трубних сталей. **Практична значимість.** Доведено необхідність удосконалення методики оцінки зламів зразків і кількості в'язкої складової сучасних високов'язких сталей термомеханічної обробки.

Ключові слова: випробування падаючим вантажем, X70, кількість в'язкої складової, розщеплення, «розмірна стрілка».

FEATURES OF EVALUATION OF THE DROP WEIGHT TEAR TESTING SPECIMEN FRACTURES OF THERMOMECHANICAL ROLLING STEEL

VAHRUSHEVA V. S. ¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
GRIMALOVSKAYA E. A. ^{2*}, *postgraduate st.*

¹ Department of Materials Science and Treatment of Materials, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, e-mail : v.vahrusheva@mail.ru, ORCID ID : 0000-0002-2663-2714

^{2*} Department of Materials Science and Treatment of Materials, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38-066-429-73-17, e-mail : evgenia-grim@yandex.ua, ORCID ID : 0000-0002-3920-4946

Abstract. Purpose. The Drop Weight Tear Testing (DWTT) is the most effective method of evaluation of constructional metallurgical materials ability to stop the crack. The DWTT is realized in production conditions of delivery control as a quality of sheet and pipe products index. Results of such testing that are expressed as amount of ductile constituents and/or absorbed energy of destruction of the full-thickness specimens are the indicator of the breaking strength of the main metal of pipes and other high-loaded constructions of the responsible purpose. However, standards in force that define evaluation of these indicators, interpret the fracture type of modern steels ambiguously. It is necessary to analyze methodical variant reading of DWTT specimen fractures evaluation of thermomechanical rolling steels and determine features of their structure. **Methodology.** In this paper, the steel of the grade X70 after thermomechanical rolling is investigated by focus-beam microscopy and metallography. **Results.** Evaluation of ductile constituents of high-strength and high-ductile pipeline steels with laminations and «arrowhead» destructions by modern standards is subjective and ambiguous. It happens because these standards do not sufficiently take into account all features and variety of fracture structures and it needs further investigations for establishment of their quantity and quality characteristics. Features of DWTT fracture specimen's structure of thermomechanical rolling steel are determined such as two types of laminations and «arrowhead» destruction. In addition, their difference is shown. **Originality.** Evaluation of fracture building for increasing of reliability and objectivity of ductile constituent determination of high-strength and high-ductile pipeline steels. **Practical value.** In this paper necessity of the methodical improvement of specimen fracture and ductile constituent amount evaluation of modern thermomechanical rolling high-ductile steels is proved.

Keywords: drop weight tear testing, X70, ductile constituent amount, laminations, «arrowhead» destruction.

Введение

Испытание падающим грузом (ИПГ) возникло в 60-х годах прошлого столетия как метод оценки сопротивления распространению трещин в металле труб в связи с участвовавшим протяженным хрупким разрушением магистральных газопроводов [1; 2]. Результаты таких испытаний, выраженные в виде количества вязкой составляющей в изломе и/или поглощенной энергии разрушения полнотолщинных образцов, являются важнейшим показателем сопротивления разрушению основного металла труб магистральных газопроводов и других высоконагруженных конструкций ответственного назначения. Структура и вид излома, возникающие в результате разрушения образца при ИПГ, содержат всю необходимую информацию для оценки количества вязкой составляющей [3].

Цель

Целью работы является определение особенностей строения изломов образцов ИПГ высокопрочной стали термомеханической прокатки, а также анализ различий при их оценке.

Методика

В работе с использованием растровой электронной микроскопии и металлографии исследовали вид изломов стали класса прочности X70 после термомеханической обработки.

Количество вязкой составляющей осуществляли в соответствии с ГОСТ 30456-97 [4], а также международными стандартами API RP 5L3 (2003) [5] и EN 10274:1999 [6].

Результаты

Действующий стандарт ГОСТ 30456-97, который был разработан для оценки горячекатаной и нормализованной стали, не учитывает фрактографические особенности изломов современных высокопрочных сталей термомеханической прокатки и не обеспечивает надежность и объективность оценки таких материалов [7]. Стандарты API RP 5L3 (2003) и EN 10274:1999 предусматривают возможность определения количества вязкой составляющей в сталях термомеханической прокатки, для изломов которых характерно наличие расщеплений, представляющих собой вторичные неглубокие трещины различной протяженности, параллельные друг другу и плоскости прокатки листа, нормальные к поверхности излома (рис.1) [5; 6; 8; 9].

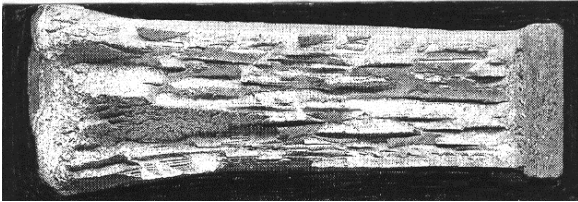


Рис. 1. Расщепления в изломе образца ИППГ стали X70 / Fig. 1. DWTT specimen fracture of steel X70 with laminations [10]

При возникновении большого количества расщеплений металл в пластически деформированной зоне перед фронтом растущей трещины становится подобным многослойному композиционному материалу. Так наличие расщеплений в изломе стали контролируемой прокатки является однозначным признаком ее высокой вязкости при оценке результатов испытаний. Площадь поверхности излома с расщеплениями должна учитываться как вязкая составляющая. Именно таким образом рекомендует учитывать зоны поверхности излома с расщеплениями европейский стандарт EN 10274:1999 [6].

Американский стандарт API RP 5L3 (2003) выделяет два вида расщеплений. Расщепления, представляющие хрупкие трещины, параллельные поверхности листа и не учитываемые при оценке количества вязкой составляющей, т. е. участки поверхности излома с расщеплениями первого типа рассматриваются как вязкая составляющая излома. Такие расщепления обозначаются термином "Separations". Расщепления второго типа, расположенные под углом к поверхности листа, обозначаются термином "Cleavage". Эти расщепления должны учитываться как хрупкая составляющая при оценке изломов [5]. Однако не всегда удается различить и надежно идентифицировать эти расщепления, поскольку различия между ними хорошо видны только на

поперечных шлифах разрушенных образцов (рис. 2). Расщепления первого типа оканчиваются острой трещиной, а у второго типа расщеплений окончание притуплено, но это различие трудно увидеть при осмотре поверхности излома образцов ИППГ в соответствии с рекомендациями стандартов.

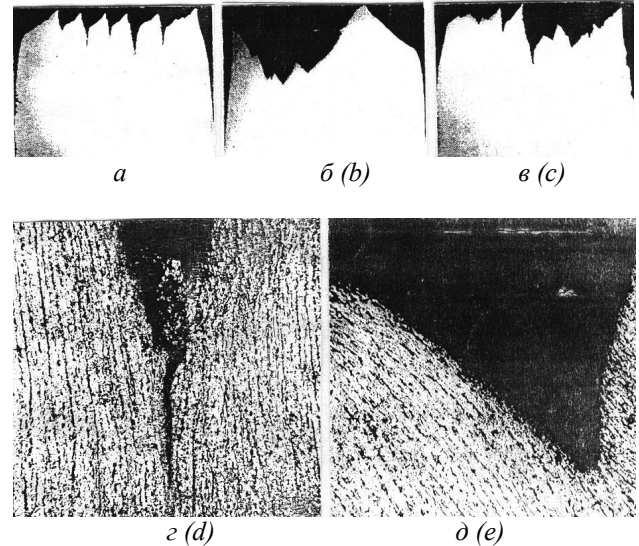


Рис. 2. Поперечные сечения образцов ИППГ с расщеплениями в изломах : а – расщепления первого типа; б – расщепления второго типа; в – расщепления первого и второго типа; г – окончание расщепления первого типа; д – окончание расщепления второго типа / Fig. 2. Cross-section of DWTT specimens with laminations in fractures : a – the first type laminations; b – the second type laminations; c – laminations of the first and the second types; d – ending of the first type lamination; e – ending of the second type lamination

В изломах образцов ИППГ мелкозернистой стали термомеханической прокатки общепринятые признаки хрупкого разрушения (блестящая кристаллическая поверхность, ориентация по отношению к поверхности листа) далеко не всегда достаточно выражены для однозначной идентификации характера разрушения [11–13]. Поверхности разрушения таких образцов нередко содержат характерные зоны, в пределах которых внешний вид излома имеет определенное сходство с разрушением в виде "размерной стрелки" по классификации евростандарта EN 10274:1999 (рис. 3), который относят к хрупкому разрушению. В то же время стандарты ГОСТ 30456-97 и API RP 5L3 (2003) вообще не содержат рекомендаций относительно оценки таких изломов.

Так, определение количества вязкой составляющей в изломах образцов, показанных на рисунке 3, дало бы по этим стандартам 100-процентный результат. Если расчет выполнить в соответствии со стандартом EN10274, то количество вязкой составляющей будет 75 и 55 % соответственно в изломах, показанных на рисунках 3 а и 3 б.

Присутствие расщеплений в изломе образцов ИПГ является однозначным признаком в целом вязкого разрушения материала. Поэтому механизм локального разрушения вида «размерной стрелки» следует считать разновидностью вязкого излома стали со структурой феррит-бейнит и соответственно не включать в площадь хрупкого излома участки с разрушением такого вида при оценке количества вязкой составляющей в изломе образцов ИПГ.

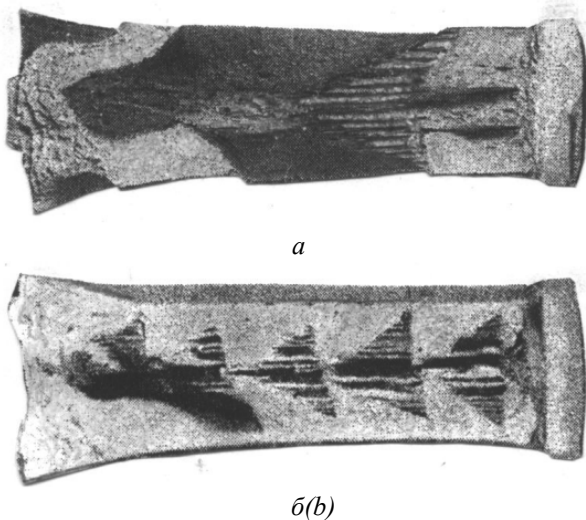


Рис. 3. Зоны в виде «размерной стрелки» в изломе стали X70 контролируемой прокатки : а – единственный участок; б – чередующиеся участки / Fig. 3. The zone of «arrowhead» destruction in the DWTT specimen fracture of steel X70 : a – the single area; b – alternate areas

Научная новизна и практическая значимость

Новые способы получения высокопрочных конструкционных материалов приводят к формированию новых типов структуры в металлах, а также изменяют характер разрушения при испытании. Анализ особенностей строения и совершенствование методики оценки излома образцов ИПГ, а также количества вязкой составляющей современных высоковязких сталей термомеханической прокатки позволит повысить надежность и объективность оценки результатов испытания падающим грузом.

Выводы

Оценка вязкой составляющей высокопрочных и высоковязких трубных сталей с наличием в структуре расщеплений и разрушения в виде «размерной стрелки» по действующим стандартам неоднозначна и субъективна, т. к. не учитывает в необходимой мере особенности и разнообразие структуры изломов.

Разрушение в виде «размерной» стрелки необходимо считать вязким и не включать его в площадь хрупкого излома при подсчете количества вязкой составляющей. Это требует изменения существующей нормативной документации и создания эталонных шкал для оценки поверхности изломов современных высоковязких и высокопрочных трубных сталей термомеханической прокатки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Осборн Н. Испытание падающим грузом / Ник Осборн // *Advanced Materials and Processes*. – Т. 167, 2-е изд. – С. 26–27.
Nick Osborne. Instrumented drop weight tear testing. *Advanced Materials and Processes*, Vol. 167, Issue 2, February 2009, pp. 26–27.
<http://www.imatek.co.uk/news-item.php?id=12>
2. Гуляев А. П. *Металловедение* / А. П. Гуляев. – Москва : *Металлургия*, 1986. – 544 с.
Gulyaev A. P. *Physical Metallurgy*. Textbook for institute of higher education, Issue 6. – Moscow : *Metallurgy Publ.*, 1986. – P. 544.
3. Andrew Cosham, David G. Jones, Robert Eiber, Phil. Hopkins. Don't drop the drop-weight tear test. *Journal of Pipeline Engineering*, Vol. 9, No. 2, 2010, pp. 69–84.
4. ГОСТ 30456-97. *Металлопродукция. Прокат листовой и трубы стальные. Методы испытания на ударный изгиб*.
GOST 30456-97. *Metal production. Sheet rolled metal and steel pipes. Methods of impact bending test*.
<http://gostexpert.ru/gost/gost-3456-97>
5. Американский стандарт API RP 5L3 (2003). *Трубы магистральные. Рекомендуемый метод выполнения испытаний на ударный разрыв падающим грузом*.
American standard API RP 5L3 (2003) Recommended practice for conducting drop-weight tear test on line pipe.
6. Европейский стандарт BS EN 10274:1999. *Материалы с металлическими свойствами. Испытание падающим грузом*.
European standard BS EN 10274:1999. *Metallic materials. Drop weight tear test*.
7. Шабалов И. П. *Стали для труб и строительных конструкций с повышенными эксплуатационными свойствами* / И. П. Шабалов, Ю. Д. Морозов, Л. И. Эфрон. – Москва : ЗАО «Металлургиздат», 2003. – 520 с.
Shabalov I. P., Morozov Y. D., Efron L. I. *Steels for pipelines and building structures with increased performance attributes*. – Moscow : ЗАО «Metallurgizdat», 2003. – 520 p.
8. *Конструкционные и функциональные материалы на металлической основе : учеб. пособие* / В. М. Фарбер [и др.]; под общ. ред. А. А. Попова. – Екатеринбург : изд-во Урал. ун-та, 2014. – 252 с.
Constructional and functional materials on the metal base: schoolbook / V. M. Farber [and others]; editor A. A. Popova. – Yekaterinburg: publishers Ural university, 2014. – P. 252.
9. www.metal.citic.com/iwcm/UserFiles/img/cd/.../HS_LA-006.pdf
10. Пемов И. Ф. *Взаимосвязь микроструктуры и параметров разрушения при испытаниях падающим грузом толстолистового проката из низкоуглеродистой*

микролегированной стали / И. Ф. Пемов, Е. А. Голи-Оглу, А. Д. Лючков, Е. А. Грималовская, Э. Н. Шебаниц, Д. И. Зерницкий // *Металл и литье Украины*. – 2012. – № 2/3. – С. 69–74.

Pemov I., Goli-Oglu E., Lyuchkov A., Grimalovskaya E., Shebanits E., Zernitskiy D. The relationship between microstructure and fracture paramets when the drop weight tear test of hot rolling low carbon microalloyed linerpipe steel / *Metal and casting of Ukraine*. – 2012. – № 2/3. – Pp. 69–74.

11. Фридман Я. Б. Механические свойства металлов. Часть первая. Деформация и разрушение. – Москва : Машиностроение, 1974. – 472 с.

Fridman Y. B. Mechanical properties of metals. Issue 3. The first part. Deformation and destruction. – Moscow : «Mashinostroenie», 1974. – P. 472.

Статья рекомендована к публикации д-ром техн. наук, проф. Д. В. Лаухиным (Украина); д-ром техн. наук, проф. Г. Д. Сухомлиным (Украина)

Статья поступила в редколлегию 15.09.2015

12. Боровушкин И. В. Определение механических свойств металлов и сплавов / И. В. Боровушкин, Л. М. Киселев. – Сыктывкар, 2012. –107 с.

Borovushkin I. V., Kiselev L. M. Determination of mechanical properties of metals and alloys. Issue 2. Syktyvkar, 2012. P. 107.

13. Петрова Л. Г. Механические свойства металлов. Пластическая деформация и рекристаллизация : метод. пособие / Л. Г. Петрова, О. В. Чудина, А. В. Остроух / МАДИ (ГТУ). – Москва, 2007. – 47 с.

Petrova L. G., Chudina O. V., Ostrouh A. V. Mechanical properties of metals. Plastic deformation and recrystallization: methodical textbook / MADI (GTU). – Moscow, 2007. – P. 47.