



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-1-31-33>
УДК 621.774

Поступила 11.02.2020
Received 11.02.2020

ВЛИЯНИЕ РАЗНОЗЕРНИСТОСТИ МЕТАЛЛА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕСШОВНЫХ ГОРЯЧЕКАТАНЫХ ТРУБ

*И. А. КОВАЛЕВА, Н. А. ХОДОСОВСКАЯ, М. В. ОБОРОВ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37.
E-mail: mihoborov@gmail.com*

Бесшовные горячекатаные трубы являются востребованной металлопродукцией на мировом рынке. При эксплуатации трубопроводы подвергаются циклическим нагрузкам, связанным с температурными колебаниями, вибрациями вблизи компрессорных станций и перепадами давления трансформируемой среды. Одним из путей обеспечения высоких эксплуатационных свойств является управление качеством трубного металла, в том числе закладываемого в процессе металлургического производства. Все основные физико-механические свойства металлических материалов являются структурно-чувствительными и существенно зависят как от величины зерна, так и от степени однородности зеренной структуры, т. е. от разнородности. Для металлографического исследования были отобраны образцы труб размером 70,0×12,5 мм стали марки S460NH с удовлетворительными (образец № 1) и неудовлетворительными (образец № 2) результатами работы удара. Неоднородная (разнозернистая) микроструктура в образце № 2 послужила причиной получения неудовлетворительных результатов работы удара. Установлено, что одной из важнейших характеристик, которая может гарантировать получение стабильных удовлетворительных результатов механических характеристик, в частности работу удара, является однородная зеренная структура.

Ключевые слова. *Бесшовные горячекатаные трубы, циклические нагрузки, аварийные ситуации, процедура аустенизации, инвертированный металлографический микроскоп, негативное влияние разнородности, механизм дисперсионного твердения.*

Для цитирования. *Ковалева, И. А. Влияние разнородности металла на механические свойства бесшовных горячекатаных труб / И. А. Ковалева, Н. А. Ходосовская, М. В. Оборюв // Литье и металлургия. 2020. № 1. С. 31–33. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-1-31-33>.*

INFLUENCE OF UNEVENED GRAINS OF METAL ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF SEAMLESS HOT – ROLLED PIPES

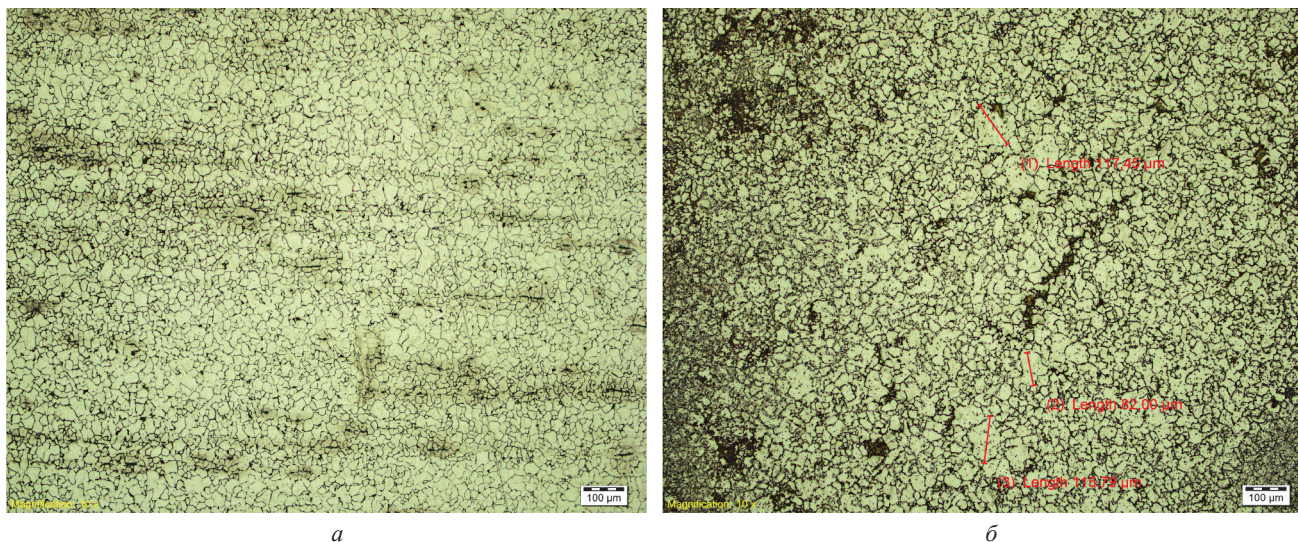
I. A. KOVALEVA, N. A. KHODOSOVSKAYA, M. V. OBOROV, OJSC «BSW – Management Company of the Holding «BMC», Zhlobin, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: mihoborov@gmail.com

Seamless hot – rolled pipes are a popular metal product on the world market. During operation, pipelines are subjected to cyclic loads associated with temperature fluctuations, vibrations near compressor stations, and pressure drops in the transformed medium. One of the ways to ensure high performance properties is to manage the quality of pipe metal, including that laid in the process of metallurgical production. All the basic physical and mechanical properties of metal materials are structurally sensitive and significantly depend on both the grain size and the degree of uniformity of the grain structure, that is, on the different grain sizes. For metallographic research, samples of pipes with the size of 70,0×12,5 mm of S460NH steel were selected with satisfactory (#1) and unsatisfactory (#2) results of the impact. It was found that the inhomogeneous (multi – grained) microstructure in sample #2 was the reason for obtaining unsatisfactory results of the impact. As a result, it was found that one of the most important characteristics that can guarantee stable and satisfactory results of mechanical characteristics, in particular the impact performance, is a homogeneous grain structure.

Keywords. *Seamless hot-rolled pipes, cyclic loads, emergency situations, austenitisation procedure, inverted metallographic microscope, negative influence of different grain size, dispersion hardening mechanism.*

For citation. *Kovaleva I. A., Khodosovskaya N. A., Oborov M. V. Influence of unevened grains of metal on the mechanical properties of seamless hot – rolled pipes. Foundry production and metallurgy, 2020, no. 1, pp. 31–33. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-1-31-33>.*

В настоящее время бесшовные горячекатаные трубы являются востребованной металлопродукцией на мировом рынке. Для производства конкурентоспособной продукции необходимо выполнять ряд тре-



Аустенитное зерно в поперечном сечении образцов трубы: *а* – № 1 с удовлетворительными механическими свойствами; *б* – № 2 с неудовлетворительными механическими свойствами

бований, поскольку строительство и эксплуатация новых трубопроводов происходит в гораздо более жестких условиях, чем 10 лет назад: при повышенных давлениях до 22 МПа, низких температурах до минус 60 °С, с морскими переходами, водными преградами, прокладкой в горных районах и заболоченных территориях, через районы с высокой сейсмической активностью. При эксплуатации трубопроводы подвергаются циклическим нагрузкам, связанным с температурными колебаниями, вибрациями вблизи компрессорных станций и перепадами давления трансформируемой среды. Эксплуатация в чрезвычайно сложных условиях с возможными серьезными последствиями в случае возникновения аварийных ситуаций обуславливает отнесение таких трубопроводов к техногенно-опасным системам. В связи с этим к бесшовным горячекатаным трубам должны предъявляться очень высокие требования по обеспечению надежности и безопасности их функционирования.

Один из путей обеспечения высоких эксплуатационных свойств – управление качеством трубного металла, в том числе закладываемого в процессе металлургического производства. Поэтому актуальным является комплексное исследование факторов, оказывающих влияние на механические свойства, выявление способов их повышения и оптимального сочетания в процессе металлургического передела для обеспечения надежности и долговечности эксплуатации магистральных нефтегазопроводов. Практически все основные физико-механические свойства металлических материалов являются структурно-чувствительными и существенно зависят как от величины зерна, так и от степени однородности зерновой структуры, т. е. от разнотерности (присутствие в одном изделии зерен различных размеров).

В исследовательской лаборатории ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» была проведена работа по установлению влияния разнотерности металла на физико-механические свойства стали, в частности работу удара.

Для металлографического исследования были отобраны образцы труб размером 70,0×12,5 мм стали марки S460NH с удовлетворительными (образец № 1) и неудовлетворительными (образец № 2) результатами работы удара (при –20 °С) с целью определения величины аустенитного зерна (наследственной зернистости стали). Границы аустенитного зерна выявляли методом регулируемого окисления Кона в соответствии с ISO 643. Подготовленные полированные образцы помещали в лабораторную печь без использования защитного газа и подвергали термообработке в соответствии с процедурой аустенизации. После нагрева образцы закачивали в воде. Оксид, покрывающий пробу, удаляли путем легкой шлифовки тонким абразивным материалом, принимая меры к тому, чтобы сохранить оксидную сетку, которая образовалась по границам зерна. Далее образцы подвергали травлению (пикриновая кислота – 1 г, соляная кислота – 5 мл, этанол – 100 мл).

С помощью инвертированного металлографического микроскопа отраженного света «OLYMPUS» с цифровой системой изображений в микрошлифах оценивали балл зерна согласно шкале международного стандарта ISO 643.

Аустенитное зерно в поперечном сечении исследуемых образцов показано на рисунке.

При визуальном сравнении видимых под микроскопом зерен с эталонами шкал, приведенными в ISO 643, получены следующие результаты: в образце № 1 зерно соответствует № 9, 8; в образце № 2 – № 8, 7, 9 и отдельные зерна – № 5, 6. Таким образом, неоднородная (разнозернистая) микроструктура в образце № 2 послужила причиной получения неудовлетворительных результатов работы удара.

Негативное влияние разнозернистости обусловлено тем, что в локальных объемах одного изделия создается градиент напряжений в связи с присутствием зерен с различными механическими и физическими свойствами, что может привести к негативным последствиям.

По величине и положению в изделии участков со структурой, состоящей из резко отличающихся по размерам зерен, выделяются три основных типа [1]:

- зональная – область крупных зерен расположена в определенном макроучастке изделия и имеет размеры, значительно превышающие размеры одного зерна во всех трех измерениях, что характерно для горячедеформированного металла;

- строчечная – область крупных зерен расположена лишь в одном направлении;

- островная – отдельные очень крупные зерна или группы зерен очень крупных или очень мелких, беспорядочно разбросанных по всему объему изделия.

Следует отметить, что в образце № 2 расположение зерен в соответствии с приведенной выше классификацией можно отнести к островному типу. Такая разнозернистая структура не обладает стабильными и высокими свойствами. Укрупнение зерна аустенита в стали почти не отражается на статических характеристиках механических свойств (твердость, сопротивление разрыву, предел текучести, относительное удлинение), но сильно снижает работу удара. Это явление сказывается из-за повышения порога хладноломкости с укрупнением зерна. Установлено, что даже разные плавки стали одной и той же марки обладают разной способностью к росту зерна, т. е. имеют разную наследственную зернистость [2].

Анализ литературных источников по данной тематике показал, что для одновременного повышения прочности и хладостойкости стали широко применяют микролегирование сильными карбонитридообразующими элементами. С этой целью используют металлы IV и V групп периодической системы Д. И. Менделеева: ванадий, ниобий, титан и цирконий. Карбонитриды обуславливают дисперсионное упрочнение, измельчение зерна аустенита. Наиболее эффективное действие карбонитридов на свойства стали достигается при таком содержании легирующих элементов и температуры аустенизации, при которых в раствор переходит упрочняющая фаза в количестве, достаточном для последующего дисперсионного упрочнения, а нерастворенной остается такое ее количество, которое необходимо для создания эффективных «барьеров», тормозящих рост зерен при нагреве. Для сохранения «барьеров» при микролегировании целесообразно использование комбинаций элементов. Так, при совместном использовании ванадия и алюминия ванадий обеспечивает зернограничное упрочнение по механизму дисперсионного твердения. Алюминий, нитрид которого растворяется в аустените при более высоких температурах, способствует измельчению аустенитного зерна и препятствует его росту при нагреве. Дополнительное введение титана дает положительный эффект за счет смещения начала образования нитридов алюминия в более низкотемпературную область и предотвращения выделения пленочных нитридов алюминия.

Кроме того, использование таких технологических приемов, как понижение температуры конца прокатки также способствует измельчению зерна и, следовательно, повышению хладостойкости. При низкой температуре конца прокатки в процессе рекристаллизации формируется более мелкое аустенитное зерно, что является благоприятным условием для термической обработки и улучшает вязкость стали в нормализованном состоянии.

Таким образом, в результате исследований образцов бесшовных горячедеформированных труб установлено, что одной из важнейших характеристик, которая может гарантировать получение стабильных удовлетворительных результатов механических характеристик, в частности работы удара, является однородная зеренная структура.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горелик С. С. Рекристаллизация металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1978. 567 с.
2. Гуляев А. П. Металловедение. М.: Металлургия, 1986. 542 с.

REFERENCES

1. Gorelik S. S. *Rekristalizacija metallov i splavov* [Recrystallization of metals and alloys]. Moscow, Metallurgija Publ., 1978, 567 p.
2. Guljaev A. P. *Metallovedenie* [Metal science]. Moscow, Metallurgija Publ., 1986, 542 p.