



www.volsu.ru

## ИННОВАЦИИ В МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

---

---

DOI: <https://doi.org/10.15688/NBIT.jvolsu.2020.2.5>

УДК 620.184.6:669.018.298.23

ББК 34.204.366

### ФРАКТОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РАЗРУШЕНИЯ НИТРОЦЕМЕНТОВАННОГО СЛОЯ

Юлия Сагидулловна Бахрачева

Кандидат технических наук, доцент кафедры информационной безопасности,  
Волгоградский государственный университет  
bakhacheva@volsu.ru  
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

**Аннотация.** В работе исследовался характер излома ударных образцов сталей 20 и 20Х в нитроцементированном слое и в сердцевине. Объектом исследования были образцы после классической и термоциклической нитроцементации. Как показали полученные результаты, наибольшее увеличение ударной вязкости достигается за пять циклов нитроцементации.

**Ключевые слова:** фRACTOГРАФИЧЕСКОЕ исследование, нитроцементация, термоциклическая обработка, ударная вязкость, механизм разрушения.

При оценке механических свойств важно не только сопротивление металла разрушению, но и характер разрушения [2; 3; 5; 7–14].

Целью данной работы было определить характер излома ударных образцов сталей 20 и 20Х в нитроцементированном слое и в сердцевине. Исследовались образцы после классической и термоциклической нитроцементации.

Поверхность изломов исследовалась в просвечивающем электронном микроскопе типа УЭМВ-100К методом одноступенчатых реплик [1].

Напыление угля на поверхность изломов проводилась в вакуумном посту ЭПП-2 при

давлении  $10^{-4}$  торп путем распыления спектрально чистых угольных электродов из места их контакта во время дугового разряда [4; 6]. Реплики отделялись электролитически в 7 % растворе  $H_2SO_4$  в этиловом спирте. Характер излома исследовался в двух зонах: в упрочненном слое и в сердцевине. Промытые в дистиллированной воде и в спирте реплики просматривались в электронном микроскопе. Фотографирование проводилось при увеличении  $\times 8000$  и  $\times 10000$ .

Внешним осмотром установлено, что изломы стали 20Х с ударной вязкостью 9,0–40 Дж/см<sup>2</sup> как после серийной так и после

предлагаемой технологии имеют хрупкий характер разрушения без заметных следов пластической деформации с мелкокристаллическим строением излома как в слое, так и в сердцевине.

Сталь 20, обработанная по серийной технологии, также при внешнем осмотре не имеет заметных следов пластической деформации, в то время как после обработки по экспериментальным режимам излом имеет заметную деформацию, приведшую к значительному искажению поперечного сечения образца. Характер разрушения в слое хрупкий, мелкокристаллический (рис. 1), сердцевина образца имеет вязкий характер разрушения с заметным волокнистым строением, образовавшегося в результате пластического течения металла при разрушении.

При исследовании изломов с низкой ударной вязкостью при увеличении  $\times 550$  в диффузионном слое наблюдаются участки как хрупкого так и вязкого разрушения, процент хрупкости составляющей достигает 25 %. В сердцевине наряду с хрупким разрушением типа скола имеются участки вязкого разрушения чашечного строения со средним размером «чашки» 0,025 мм. У образцов с высокой ударной вязкостью строение излома диффузионного слоя носит такой же характер как и у образцов с низкой ударной вязкостью, но с более мелким размером фасеток излома.

Сердцевина отличается более мелким размером фасеток вязкого излома, средний размер «чашек» составляет 0,0005 мм. С ро-

стом действительного аустенитного зерна измельчается и дисперсность «чашечного» строения.

Таким образом можно считать, что основным фактором определяющим высокое значение ударной вязкости является величина зерна в сердцевине.

С целью выявления более тонкого строения поверхности изломов было проведено электронномикроскопическое исследование в различных участках при увеличении  $\times 10000$ . Электронномикроскопическое исследование поверхности с низкой ударной вязкостью показало, что поверхность излома упрочненного слоя стали 20X обработанного по стандартному режиму и имеющего ударную вязкость 11 Дж/см<sup>2</sup> характеризуется наличием рельефа, присущего хрупкому разрушению с наличием участков пластической деформации по типу квазискола (квазиотрыва). Наблюдаются ступеньки, ручьи, участки с плавными очертаниями, имеющие извилистую траекторию, мелкие язычки, террасы, гребешки. Наряду с участками хрупкого квазискола встречаются участки вязкого разрушения с мелкоямочным микрорельефом излом в сердцевине образца характеризуется наличием рельефа присущего хрупкому квазисколу чашечного строения, чашки крупные, на дне чашек имеются следы от включений.

В упрочненном слое стали 20, обработанной при девяти циклах имеющей ударную вязкость 86 Дж/см<sup>2</sup>, наблюдается значительная доля участков вязкого разрушения, выяв-

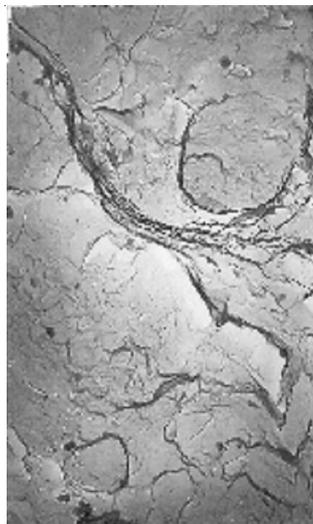


Рис. 1. Характер излома в диффузионном слое стали 20, обработанная по серийной технологии.  $\times 10000$

лены округлые ямки в основном небольшого размера, имеются участки хрупкого разрушения (рис. 2). Излом в сердцевине представляет собой чашечное строение, чашки крупные, на дне чашек имеются следы от включений.

Поверхность диффузионного слоя стали 20 обработанной при пяти циклах и имеющей ударную вязкость 158 Дж/см<sup>2</sup> характеризуется в основном, вязким разрушением с мелко-ямочным микрорельефом (рис. 3). Ямки округлые небольших размеров, на дне ямок имеются следы от включений, но встречаются и участки характерные для хрупкого квазисколла. Излом в сердцевине характеризуется ямочным строением, ямки крупные следами от включений на дне. Поверхность излома диффузионного слоя стали 20, характеризует-

ся наличием микрорельефа, присущего хрупкому разрушению с наличием участков пластической деформации. Первая зона – вязкая. Чашки крупные со следами от включений на дне. Вторая зона характеризуется наличием рельефа, характерного для хрупкого разрушения, но встречаются и участки вязкого разрушения. Различное строение излома в сердцевине в зависимости от зоны его разрушения свидетельствует о влиянии на строение излома не только исходной структуры, но и характера разрушения.

Разрушение упрочненного слоя и сердцевины стали после изотермического процесса носит квазискольный характер. Наблюдаются различного рода ступеньки, ручьистые участки, мелкие язычки, террасы.

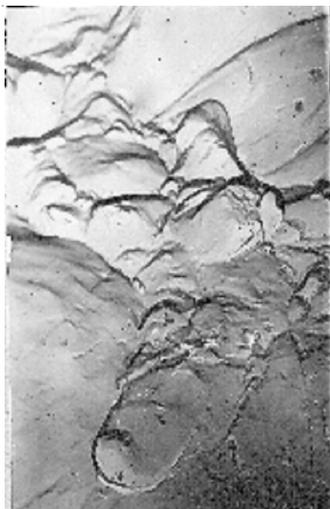


Рис. 2. Характер излома в диффузионном слое стали 20, после девяти циклов. x10000

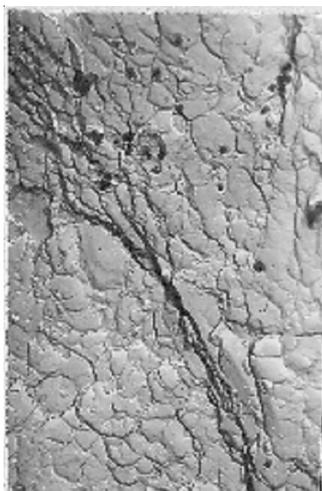


Рис. 3. Характер излома в диффузионном слое стали 20, после пяти циклов. x10000

Наличие в изломе диффузионного слоя, обработанного по режимам ХТЦО, участков вязкого разрушения и квазискола свидетельствует о большей энергоемкости процесса разрушения по сравнению с изотермическим процессом, при котором в изломе присутствуют участки межзеренного излома, а элементы вязкого разрушения отсутствуют.

Таким образом, фрактографическое исследование позволило выявить некоторые особенности механизма разрушения стали после ХТЦО по сравнению с изотермическим процессом. При термоциклировании сталей в изломе наблюдается большое количество вязкой составляющей.

Как показали полученные результаты, наибольшее увеличение ударной вязкости достигается за пять циклов. В стали 20Х ударная вязкость возрастает в 2 раза, а в стали 20 в 2,6 раз. Увеличение числа циклов до 9 приводит к значительному снижению ударной вязкости. Так в стали 20Х после ХТЦО значения ударной вязкости становятся меньше, чем после серийной обработки. Дальнейшее увеличение количества циклов приводит к еще большему снижению значений ударной вязкости.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. 954503 СССР, МПК 3 С 23 С 9/00; F 27 В 9/04. Способ нитроцементации стальных изделий / Шапочкин В. И., Семенова Л. М., Пожарский В. А. [и др.]. – 1982.
2. Базалева, К. О. Механизмы влияния азота на структуру и свойства сталей / К. О. Базалева // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2005. – № 10. – С. 17–24.
3. Влияние содержания азота на структуру и свойства нитроцементованной стали / В. И. Шапочкин, Л. М. Семенова, Ю. С. Бахрачева, Е. Л. Гюлиханданов, С. В. Семенов // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2010. – № 9. – С. 12–18.
4. Гаврилюк, В. Г. Высокопрочная аустенитная нержавеющая сталь / В. Г. Гаврилюк, Г. Бернс // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2007. – № 12. – С. 17–19.
5. Гаврилюк, В. Г. Распределение азота в аустените Fe – N / В. Г. Гаврилюк, В. М. Надутов, О. В. Гладун // *Физика металлов и металловедение*. – 1990. – № 3. – С. 128–134.

6. Горелик, С. С. Рентгенографический и электронно-оптический анализ / С. С. Горелик, Л. Н. Расторгуев, Ю. А. Скаков. – М. : *Металлургия*, 1970. – 366 с.

7. Иванова, В. С. От наноматериалов к интеллектуальным нанотехнологиям / В. С. Иванова, Г. Э. Фолманис // *Металлургия машиностроения*. – 2007. – № 1. – С. 2–10.

8. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия / Я. С. Уманский, Ю. А. Скаков [и др.]. – М. : *Металлургия*, 1982. – 632 с.

9. Панин, В. Е. Структурные уровни деформации твердых тел / В. Е. Панин, В. А. Лихачев, Ю. В. Гринев. – Новосибирск : *Наука*. Сиб. отд-ние, 1985. – 255 с.

10. Семенова, Л. М. Аустенитная наследственность в конструкционных сталях / Л. М. Семенова, В. В. Заболеев-Зотов, С. В. Семенов. – Волгоград : *Политехник*, 2004. – 131 с.

11. Смирнов, Б. М. Кластеры и фазовые переходы / Б. М. Смирнов // *Успехи физических наук*. – 2007. – Т. 177, № 4. – С. 369–373.

12. Шапочкин, В. И. Нитроцементация в условиях периодического изменения состава атмосферы / В. И. Шапочкин, Л. М. Семенова, Ю. С. Бахрачева // *Материаловедение*. – 2010. – № 8. – С. 52–58.

13. Шмыков, А. А. Термодинамика и кинетика процессов взаимодействия контролируемых атмосфер с поверхностью стали / А. А. Шмыков, В. Г. Хорошайлов, Е. Л. Гюлиханданов. – М. : *Металлургия*, 1990. – 159 с.

14. Effect of nitrogen content on the structure and properties of nitrocarburized steel / V. I. Shapochkin, L. M. Semenova, Yu. S. Bakhracheva, E. L. Gyulikhandanov, S. V. Semenov // *Metal Science and Heat Treatment*. – 2011. – Vol. 52, iss. 910. – P. 413–419.

#### REFERENCES

1. Shapochkin V.I., Semenova L.M., Pozharskiy V.A., et al. *Avtorskoe svidetelstvo № 954503 SSSR MPK 3 C 23 C9/00; F 27 B 9/04. Sposob nitrotsementatsii stalnykh izdeliy* [Authors' Certificate no. 954503 USSR IPC 3 C 23 C 9/00; F 27 V 9/04. A Method of Nitrocarburizing Steel Products], 1982.
2. Bazaleeva K.O. *Mekhanizmy vliyaniya azota na strukturu i svoystva staley* [Mechanisms of Nitrogen Influence on the Structure and Properties of Steels]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*, 2005, no. 10, pp. 17–24.
3. Shapochkin V.I., Semenova L.M., Bakhracheva Yu.S., Gyulikhandanov E.L., Semenov S.V. *Vliyanie soderzhaniya azota na strukturu i svoystva nitrotsementovannoy stali* [The Influence of Nitrogen Content on the Structure and Properties of

Nitrocarburized Steel]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*, 2010, no. 9, pp. 12-18.

4. Gavrilyuk V.G., Berns G. Vysokoprochnaya austenitnaya nerzhavayushchaya stal [High-Strength Austenitic Stainless Steel]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*, 2007, no. 12, pp. 17-19.

5. Gavrilyuk V.G., Nadutov V.M., Gladun O.V. Raspredelenie azota v austenite Fe – N [Distribution of Nitrogen in Austenite Fe – N]. *Fizika metallov i metallovedenie*, 1990, no. 3, pp. 128-134.

6. Gorelik S.S., Rastorguev L.N., Skakov Yu.A. *Rentgenograficheskiy i elektronno-opticheskiy analiz* [X-Ray and Electro-Optical Analysis]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1970. 366 p.

7. Ivanova V.S., Folmanis G.E. Ot nanomaterialov k intellektualnym materialam [From Nanomaterials to Smart Materials]. *Metallurgiya mashinostroeniya*, 2007, no. 1, pp. 2-10.

8. Umanskiy Ya.S., Skakov Yu.A., et al. *Kristallografiya, rentgenografiya i elektronnaya mikroskopiya* [Crystallography, Roentgenography and Electron Microscopy]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1982. 632 p.

9. Panin V.E., Likhachev V.A., Grinev Yu.V. *Strukturnye urovni deformatsii tverdykh tel* [Structural Levels of Deformation of Solids]. Novosibirsk, Nauka. Sib. otd-nie Publ., 1985. 255 p.

10. Semenova L.M., Zaboluev-Zotov V.V., Semenov S.V. *Austenitnaya nasledstvennost v konstruktivnykh stalyakh* [Austenitic Structural Heredity in Steels]. Volgograd, Politehnik Publ., 2004. 131 p.

11. Smirnov B.M. Klasteriy i fazovye perekhody [Clusters and Phase Transitions]. *Uspekhi fizicheskikh nauk*, 2007, vol. 177, no. 4, pp. 369-373.

12. Shapochkin V.I., Semenova L.M., Bakhracheva Yu.S. Nitrotsementatsiya v usloviyakh periodicheskogo izmeneniya sostava atmosfery [Nitrocarburizing in the Conditions of Periodic Changes of Composition of the Atmosphere]. *Materialovedenie*, 2010, no. 8, pp. 52-58.

13. Shmykov A.A., Khoroshaylov V.G., Gyulikhandanov E.L. *Termodinamika i kinetika protsessov vzaimodeystviya kontroliruemyykh atmosfer s poverkhnostyu stali* [Thermodynamics and Kinetics of Processes of Interaction of Controlled Atmospheres with the Steel Surface]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1990. 159 p.

14. Shapochkin V.I., Semenova L.M., Bakhracheva Yu.S., Gyulikhandanov E.L., Semenov S.V. Effect of Nitrogen Content on the Structure and Properties of Nitrocarburized Steel. *Metal Science and Heat Treatment*, 2011, vol. 52, no. 9-10, pp. 413-419.

## FRACTOGRAPHIC STUDY OF THE MECHANISM OF DESTRUCTION OF THE NITROCARBURIZED LAYER

Yulia S. Bakhracheva

Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor,  
Information Security Department,  
Volgograd State University  
bakhracheva@volsu.ru  
Prosp. Universitetskiy, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

**Abstract.** In this paper we investigate the nature of the impact fracture of steels 20 and 20Cr specimens in the nitrocarburized layer and in the core. The object of the study were the samples after thermocycling and isothermal nitrocarburizing. As the results showed, the greatest increase in impact ductility is achieved in five cycles of nitrocarburizing. It is shown that the destruction of the hardened layer and the steel core after the isothermal process is quasi-rectangular in nature. The presence of the diffusion layer treated by modes of thermocycling nitrocarburizing, areas of ductile fracture and quasi-cleavage in the fracture indicates greater intensity of the process of destruction in comparison with the isothermal process, in which areas of intergranular fracture are present and ductile fracture elements are not present in the fracture. Thus, the fractographic study revealed some features of the mechanism of steel destruction after chemical-thermal nitrocarburizing in comparison with the isothermal process. During thermal cycling of steels, a large amount of the ductile component is observed in the

fracture. As the results showed, the greatest increase in impact ductility is achieved in five cycles. In steel 20Cr, the impact ductility increases by 2 times, and in steel 20 by 2.6 times. Increasing the number of cycles to 9 leads to a significant reduction in impact ductility. So in steel 20Cr after chemical-thermal nitrocarburizing, the impact ductility values become less than after classical processing. A further increase in the number of cycles leads to an even greater decrease in the impact ductility values.

**Key words:** fractographic study, nitrocarburizing, thermocyclic treatment, impact ductility, fracture mechanism.