

УДК 621.777.22

## ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ДИСКА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛИ 10ХФТБч

ШЕЙКО С. П., *к.т.н., докторант*

Кафедра обработки металлов давлением, Запорожский национальный технический университет, ул. Жуковского, 64, 69063, Запорожье, Украина, тел. +38 (093) 0292223, e-mail: [shevko.s.@mail.ru](mailto:shevko.s.@mail.ru). ORCID ID: 0000-0001-5761-4263

**Аннотация.** *Цель.* Для колесного производства разработана высокопрочная марка низколегированной стали, в основе которой использован углерод, марганец, кремний, титан, фосфор, ванадий, ниобий, хром. Необходимо установить закономерности влияния толщины заготовок и степени легирования на структуру и механические свойства опытной стали 10ХФТБч на верхнем и нижнем пределе содержания легирующих элементов и указать пути дальнейшего повышения показателей прочности и пластичности стали 10ХФТБч. *Методика.* Испытания проводили на листовых заготовках толщиной от 3,0 до 11,0 мм. Термическая обработка заключалась в нагреве до 900 °С, последующей выдержкой 1,5 мин/мм и охлаждения на воздухе. Механические свойства определяли на стандартных разрывных образцах по ГОСТ 1497-84 на разрывной машине МУП-20 при нагрузке 5 т и скорости движения активного захвата 2,5 мм/мин. Исследование структуры стали и соотношение структурных составляющих феррит-перлит образцов определяли с помощью программно-аппаратного комплекса, в состав которого входит световой инвертированный микроскоп «АХИОVERT 200 МАТ» с автоматической системой анализа изображений «Видео-Тест-Металл». Проводилась фотосъемка структуры образцов на растровом электронном микроскопе «SUPRA 40 WDS». *Результаты.* Установлено, что сталь 10ХФТБч имеет ферритную структуру с незначительным количеством перлита и сохраняет достаточно высокую пластичность при разных толщинах. Однако, при содержании легирующих элементов на верхнем пределе ТУ размер зерна и, соответственно, пластичность сохраняются при больших выдержках в процессе рекристаллизационного отжига. В результате исследований микроструктуры установлено, что повышение содержания легирующих элементов в стали способствует измельчению зерна после рекристаллизационного отжига, соответственно, с 4...5 баллов до 6...7 балла. Увеличение толщины листа с 3,0 мм до 5,0 мм сопровождается снижением предела прочности стали 10ХФТБч как в продольном, так и в поперечном направлении. При увеличении толщины листа до 11,0 мм наблюдали монотонное увеличение предела прочности. Пластические же характеристики имеют явный экстремум при толщине 9,0 мм. Изучение фрактограмм поверхностей разрушения продольных и поперечных образцов показало, что образцы толщиной 3,0 мм имели разнотекстурную структуру характерную для незавершенного процесса рекристаллизации. Наряду с мелкозернистой структурой присутствуют большие зерна свидетельствующие о проявлении собирательной рекристаллизации. Более равнозернистую структуру имели образцы стали 10ХФТБч толщиной 5,0 мм. Наиболее равнозернистая структура соответствовала образцам толщиной 7,0 и 9,0 мм. *Научная новизна.* Получены новые научные данные о влиянии толщины заготовок и степени легирования на структуру и механические свойства стали 10ХФТБч. *Практическая значимость.* Установлены параметры рекристаллизационного отжига опытной стали 10ХФТБч для повышения показателей пластичности.

**Ключевые слова:** низколегированная сталь, структура, механические свойства, толщина листа, рекристаллизационный отжиг, излом

## ВПЛИВ ТОВЩИНИ ЗАГОТІВКИ ДЛЯ АВТОМОБІЛЬНОГО ДИСКУ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ 10ХФТБч

ШЕЙКО С. П., *к.т.н., докторант*

Кафедра обробки металів тиском, Запорізький національний технічний університет, вул. Жуковського, 64, 69063, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (093) 0292223, e-mail: [shevko.s.@mail.ru](mailto:shevko.s.@mail.ru). ORCID ID: 0000-0001-5761-4263

**Анотація.** *Мета.* Для колісного виробництва розроблена високоміцна марка низколегованої сталі, в основі якої використаний вуглець, марганець, кремній, титан, фосфор, ванадій, ніобій, хром. Необхідно встановити закономірності впливу товщини заготовок і ступеня легування на структуру і механічні властивості дослідної сталі 10ХФТБч на верхньому і нижньому межі змісту легуючих елементів і вказати шляхи подальшого підвищення показників міцності і пластичності сталі 10ХФТБч. *Методика.* Випробування проводили на листових заготовках товщиною від 3,0 до 11,0 мм. Термічна обробка полягала в нагріванні до 900 °С, наступною витримкою 1,5 хв/мм і охолодження на повітрі. Механічні властивості визначали на стандартних розривних зразках за ГОСТ 1497-84 на розривній машині МУП-20 при навантаженні 5 т і швидкості руху активного захоплення 2,5 мм/хв. Дослідження структури сталі і співвідношення структурних складових ферит-перліт зразків визначали за допомогою програмно-апаратного комплексу, до складу якого входить світловий інвертований микроскоп «АХИОVERT 200 МАТ» з автоматичною системою аналізу зображень «Видео-Тест-Металл». Проводилась фотозйомка структури зразків на растровому електронному микроскопі «SUPRA 40 WDS». *Результати.* Встановлено, що сталь 10ХФТБч має феритної структури з незначною кількістю перліту і зберігає досить високу пластичність при різних товщинах. Однак, при вмісті легуючих елементів на верхній межі ТУ розмір зерна і, відповідно, пластичність зберігаються при великих витримках в процесі рекристалізаційного відпалу. В результаті досліджень

мікроструктури встановлено, що підвищення вмісту легуючих елементів в сталі сприяє подрібненню зерна після рекристалізаційного відпалу, відповідно, з 4 ... 5 балів до 6 ... 7 бала. Збільшення товщини листа з 3,0 мм до 5,0 мм супроводжується зниженням межі міцності сталі 10ХФТБч як у поздовжньому, так і в поперечному напрямку. При збільшенні товщини листа до 11,0 мм спостерігали монотонне збільшення межі міцності. Пластичні ж характеристики мають явний екстремум при товщині 9,0 мм. Вивчення фрактограм поверхонь руйнування поздовжніх і поперечних зразків показало, що зразки товщиною 3,0 мм мали різнозернисту структуру характерну для незавершеного процесу рекристалізації. Поряд з дрібнозернистою структурою присутні великі зерна свідчать про прояв збиральної рекристалізації. Більш рівнозернисту структуру мали зразки сталі 10ХФТБч товщиною 5,0 мм. Найбільш рівнозерниста структура відповідала зразкам товщиною 7,0 і 9,0 мм. **Наукова новизна.** Отримані нові наукові дані про вплив товщини заготовок і ступеня легування на структуру і механічні властивості сталі 10ХФТБч. **Практична значимість.** Встановлено параметри рекристалізаційного відпалу дослідної сталі 10ХФТБч для підвищення показників пластичності.

**Ключові слова:** низьколегована сталь, структура, механічні властивості, товщина листа, рекристалізаційний відпал, злам

## THE INFLUENCE OF THICKNESS BLANKS FOR CAR DRIVES ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF STEEL 10ХФТБч

SHEYKO S.P., *Cand. Sc. (Tech.), doctoral student*

Department of metal forming, Zaporizhia National Technical University, st. Zhukovskoho, 64, 69063, Zaporozhe, Ukraine, tel. +38 (093) 0292223, e-mail: [shevko.s.@mail.ru](mailto:shevko.s.@mail.ru). ORCID ID: 0000-0001-5761-4263

**Abstract. Purpose.** For the wheeled production the high-strength brand of low-alloy steel is worked out, a carbon, manganese, silicon, titan, phosphorus, vanadium, niobium, chrome, is used in basis of that. It is necessary to set conformities to law of influence of thickness of purveyances and alloying degree on a structure and mechanical properties of an experience steel of 10ХФТБч on the top and lower limit of maintenance of alloying elements and to specify 10ХФТБч became to the way of further increase of indexes of durability and plasticity. **Methodology.** Tests conducted on sheet purveyances in from 3,0 to 11,0 mm. thick Heat treatment consisted in heating to 900 °C, by subsequent self-control 1,5 mines/of mm and cooling on air. Mechanical properties determined on standard break standards for ГОСТ 1497-84 on the break machine of МУП- 20 at loading of 5 ton and rates of movement of active capture a 2,5 mm/min Research of structure became and correlation of structural constituents the ferrite-pearlite of standards was determined by means of complex in the complement of that the light inverted microscope of "AXIOVERT 200 enters MAT" with the automatic system of analysis of images "Video-test-metal". Photography of structure of standards was conducted on SEM of "SUPRA 40 WDS". **Findings.** It is set that steel of 10ХФТБч has a ferritic structure with the negligible quantity of pearlite and saves high enough plasticity at different thicknesses. However, at maintenance of alloying elements on a top limit that the size of grain and, accordingly, plasticity are saved at large self-controls in the process of the recrystallization annealing. As a result of researches microstructures are set that the increase of maintenance of alloying elements in steel assists growing of grain shallow after the recrystallization annealing, accordingly, from 4...5 points a to 6...7 point. Increase of thickness of sheet with a 3,0 mm a to 5,0 mm is accompanied by the decline of tensile strength 10ХФТБч became both in longitudinal and in transversal direction. At the increase of thickness of sheet a to 11,0 mm looked after the monotonous increase of tensile strength. Plastic descriptions have an obvious extremum at a thickness 9,0 mm. The study of fractograph surfaces of destruction longitudinal and transversal standards showed that standards in a 3,0 mm thick had had a different structure characteristic for the uncompleted process of recrystallization. Along with a fine-grained structure large grains are present testifying to the display of collective recrystallization. More equiaxed structure was had standards became a 10ХФТБч thickness 5,0 mm. The most equiaxed structure corresponded to the standards in 7,0 thick and a 9,0 mm. **Originality.** New scientific data are got about influence of thickness of purveyances and alloying degree 10ХФТБч became on a structure and mechanical properties. **Practical value.** The parameters of the recrystallization annealing of an experience steel of 10ХФТБч are set for the increase of indexes of plasticity.

**Keywords:** low-alloy steel, structure, mechanical properties, thickness of sheet, recrystallization annealing, fracture

### Введение

Основы легирования и технологии металлургического передела малоперлитных углеродистых сталей достаточно полно сформулированы в выполненных ранее работах: Голованенко С.А., Фонштейн Н.М., Поживанова М.А., Мазура В.Л., Рипаса Д.Е., Ригсберга И.М., Такеши Н. и др [1-6]. Однако, в связи с отсутствием обоснованных комплексов легирования оценку воздействия выбранных компонентов на свойства стали они производили, в основном, только по изменению фазового состава. Поэтому часто стали перелегировали система Mn-Si-Cr-Mo и даже

снижение содержания углерода не обеспечивало требуемые механические свойства.

Главной причиной пониженной пластичности низкоуглеродистых сталей открытой выплавки является наличие двухфазной феррито-мартенситной структуры. Вместе с тем дисперсные частицы карбонитридов хрома, ванадия и титана, сдерживая рост зерен феррита и аустенита при термической обработке, способны значительно повысить прочность путем дисперсионного упрочнения.

Попытки многих ученых на горячекатаных полосах из менее легированной Mn-Si-Cr стали, путем смотки при более низких температурах (500-550°C) получить высокие механические свойства не

увенчались успехом из-за нестабильности их показателей. Это вынуждало исследователей усложнить технологический процесс, проводить его в три стадии и резко сказывалось на увеличении себестоимости стали [7].

Исследования последних лет, проводившиеся в Украине и за рубежом, показали, что одновременное повышение прочности и сопротивления хрупкому разрушению низколегированных и рядовых малоуглеродистых сталей возможно путем микролегирования – введения микродобавок (до 0,15%) элементов преимущественно IV и V групп Периодической системы. Наиболее распространенные микролегирующие элементы – это ниобий, ванадий и титан [8-10].

Для колесного производства разработана высокопрочная марка низколегированной стали, в основе которой использован углерод, марганец, кремний, титан, фосфор, ванадий, ниобий, хром [11].

### Цель

Целью данной работы установление закономерностей влияния толщины заготовок и степени легирования на структуру и механические свойства опытной стали 10ХФТБч на верхнем и нижнем пределе содержания легирующих элементов в стали.

### Методика

Испытания проводили на листовых заготовках толщиной от 3,0 до 11,0 мм. Термическая обработка заключалась в нагреве до 900 °С, последующей выдержкой 1,5 мин/мм и охлаждения на воздухе.

Механические свойства определяли на стандартных разрывных образцах по ГОСТ 1497-84 на разрывной машине МУП-20 при нагрузке 5 т и скорости движения активного захвата 2,5 мм/мин. Во время испытания образца снимали диаграмму растяжения, фиксирующую зависимость между действующей на образец силой  $P$ , и вызванной ею деформацией  $\Delta l$ . При испытании на растяжение определяли:  $\sigma_b$  – границу прочности, МПа,  $\sigma_t$  – границу текучести, МПа,  $\delta$  – относительное удлинение, %.

Исследование структуры стали и соотношение структурных составляющих феррит-перлит образцов определяли с помощью программно-аппаратного комплекса, в состав которого входит световой инвертированный микроскоп «AXIOVERT 200 MAT» с автоматической системой анализа изображений «Видео-Тест-Металл». Проводилась фотосъемка структуры образцов на растровом электронном микроскопе «SUPRA 40 WDS».

### Результаты

В процессе исследования было изучено влияние толщины заготовок и степени легирования на структуру и механические свойства опытной стали на

верхнем и нижнем пределе содержания легирующих элементов.

В результате исследований микроструктуры установлено, что повышение содержания легирующих элементов в стали способствует измельчению зерна после рекристаллизационного отжига, соответственно, с 4...5 баллов до 6...7 балла. Увеличение толщины листа с 3,0 мм до 5,0 мм сопровождается снижением предела прочности стали 10ХФТБч как в продольном, так и в поперечном направлении (рис. 1).

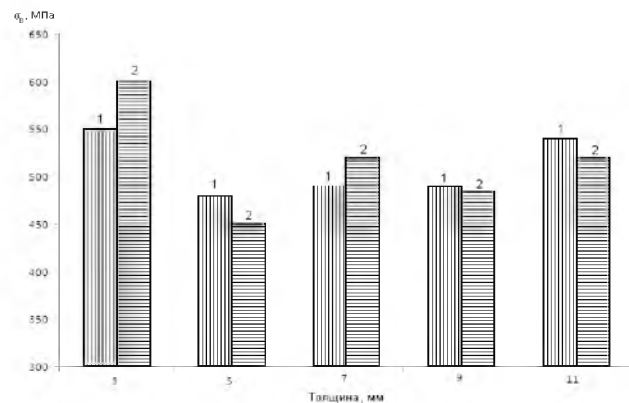


Рис. 1. Изменение прочностных характеристик стали 10ХФТБч в зависимости от окончательной толщины листа: 1 – продольная, 2 – поперечная / Change of durability descriptions 10ХФТБч became depending on the final thickness of sheet:

1 - longitudinal, 2 - transversal

При увеличении толщины листа до 11,0 мм наблюдали монотонное увеличение предела прочности. Пластические же характеристики имеют явный экстремум при толщине 9,0 мм. Это касается лишь относительного сужения  $\Psi$ , показатели относительного удлинения изменяются неоднозначно (рис. 2).

При толщине листа 9,0 мм наблюдается достаточное резкое различие в показателях относительного удлинения в продольном и поперечном направлениях. Это указывает на проявление анизотропии деформации. А повышение пластических свойств в области толщины листа от 5,0 мм до 9,0 мм можно объяснить оптимальной степенью деформации, которая в листовых ферритных и малоперлитных сталях проявляется при  $\epsilon = 45...60\%$  [12].

Изучение фрактограмм поверхностей разрушения продольных и поперечных образцов показало, что образцы толщиной 3,0 мм имели разнотекстурную структуру характерную для незавершенного процесса рекристаллизации. Наряду с мелкозернистой структурой присутствуют большие зерна свидетельствующие о проявлении собирательной рекристаллизации (рис. 3 а). Более равнозернистую структуру имели образцы стали 10ХФТБч толщиной 5,0 мм (рис. 3 б). Наиболее равнозернистая структура соответствовала образцам толщиной 7,0 и 9,0 мм. В

рекристаллизованных благоприятной сферообразной формы зернах видны полосы скольжения, расположены преимущественно по углом 45° к направлению приложенной нагрузки, что является признаком высокой пластичности (рис. 3 в, з).

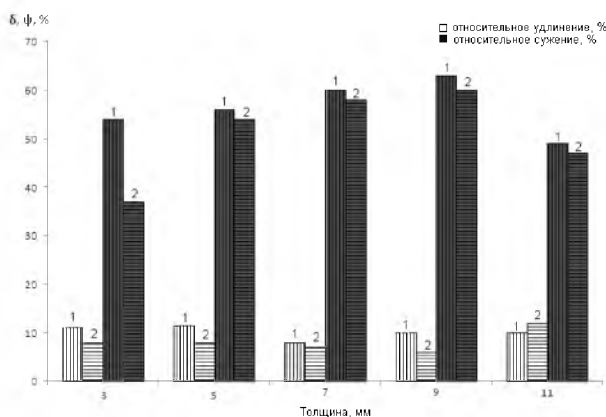


Рис. 2. Изменение пластических характеристик стали 10ХФТБч в зависимости от относительной толщины листа: 1 – продольная, 2 – поперечная / Change of plastic descriptions 10ХФТБч became depending on the relative thickness of sheet: 1 - longitudinal, 2 - transversal

Фрактограммы поверхности поперечных и продольных образцов толщиной 11,0 мм указывают на начало собирательной рекристаллизации о чем свидетельствуют крупные зерна. Такое структурное состояние характеризуется понижением пластичности (рис. 3 д, е, рис. 2). Увеличение выдержки при температуре рекристаллизации образцов толщиной 11,0 мм способствует частичному растворению карбонитридной фазы и сопровождается увеличением зерен. Причиной пониженной пластичности образцов толщина 3,0 мм может быть карбонитридная фаза, которая не успела коагулировать. Свою долю внесли и неметаллические включения (оксисульфиды РЗМ глобулярной и овальной формы), принимающие участия в процессах разрушения металла по ямочному типу (рис. 3 а).

Основной причиной, доминирующей в процессах разрушения, постоянно становятся микропоры и трещины, зарождающиеся на границах зерен, а затем и межфазных границах (см. рис. 3 д). При этом вязкий излом на продольных образцах сменяются квазисколом на поперечных образцах (см. рис. 3 е) [13].

В результате исследований установлено, что сталь 10ХФТБч имеет ферритную структуру с незначительным количеством перлита и сохраняет достаточно высокую пластичность при разных толщинах. Однако, при содержании легирующих элементов на верхнем пределе ТУ размер зерна и, соответственно, пластичность сохраняются при больших выдержках в процессе рекристаллизационного отжига. Кроме этого, на показатели прочности и пластичности стали 10ХФТБч оказывают влияния степень деформации и,

возможно, энергосиловые параметры горячей прокатки. Поэтому необходимо исследовать влияния режимов деформационно-термической обработки стали на механические свойства и оптимизировать режимы горячей прокатки.

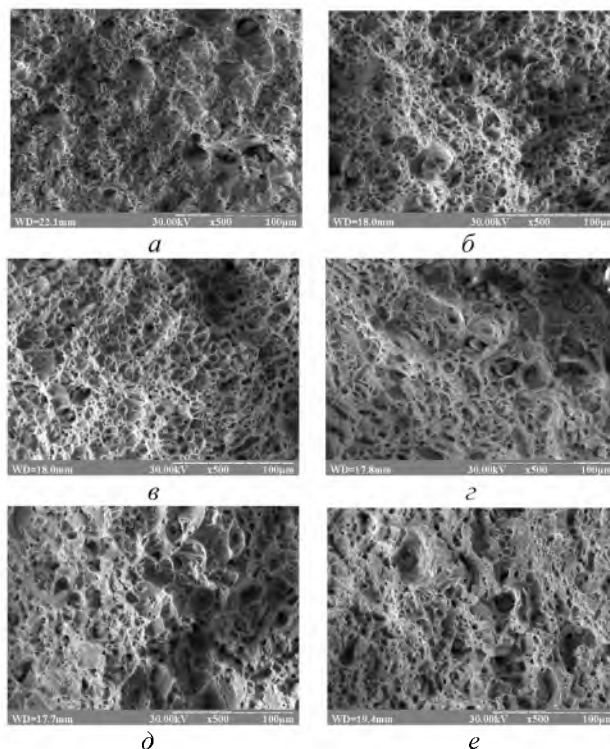


Рис. 3. Фрактограммы поверхности разрушения образцов, вырезанных вдоль пластины толщиной 3 мм (а), 5 мм (б), 7 мм (в), 9 мм (г), 11 (д) и поперек пластины толщиной 11 мм (е), после испытаний на растяжение / Fractographs of surface of destruction of standards intagliated along a plate in a 3 mm (a) thick, 5 mm (б), 7 mm (в), 9 mm (г), 11 (д) and across a plate in a 11 mm (е) thick, after tests on tension

#### Научная новизна и практическая значимость

Получены новые научные данные о влиянии толщины заготовок и степени легирования на структуру и механические свойства стали 10ХФТБч.

Установлены параметры рекристаллизационного отжига опытной стали 10ХФТБч для повышения показателей пластичности.

#### Выводы

1. Установлено, что сталь 10ХФТБч имеет ферритную структуру с незначительным количеством перлита и сохраняет достаточно высокую пластичность при разных толщинах. Наиболее равнозернистая структура соответствовала образцам толщиной 7,0 и 9,0 мм.

2. При содержании легирующих элементов на верхнем пределе ТУ размер зерна и, соответственно, пластичность сохраняются при больших выдержках в процессе рекристаллизационного отжига.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ  
/ REFERENCES

1. Голованенко, С.А. Двухфазные низколегированные стали / С. А. Голованенко, Н. М. Фонштейн. - М.: Металлургия, 1986. - 206 с.  
Golovanenko, S.A. Dvukhfaznye nizkolegirovannye stali / S. A. Golovanenko, N. M. Fonshteyn. - M.: Metallurgiya, 1986. - 206 p.
2. Поживанов, М.А. Выплавка стали для автолиста / М. А. Поживанов, Е. Х. Шахпазов, А. Г. Свяжин. - М.: Интерконтакт наука, 2006. - 165 с.  
Pozhivanov, M.A. Vyplavka stali dlya avtolista / M. A. Pozhivanov, E. Kh. Shakhpazov, A. G. Svyazhin. - M.: Interkontakt nauka, 2006. - 165 p.
3. Мазур, В.Л. Сопротивление деформации и разупрочнение низколегированных сталей / В. Л. Мазур, Д. Д. Хижняк // Академия наук СССР. Известия. Сер. Металлы. - 1991. - № 5. - С. 148-154.  
Mazur, V.L. Soprotivlenie deformatsii i razuprochnenie nizkolegirovannykh staley / V. L. Mazur, D. D. Khizhnyak // Akademiya nauk SSSR. Izvestiya. Ser. Metally. - 1991. - № 5. - S. 148-154.
4. Такеши, Н. Результаты исследований листовой IF-стали / Н. Такеши // Современные достижения в металлургии и технологии производства сталей для автомобильной промышленности = Modern developments in metallurgy and technologies of steels for automotive industry : Междунар. семинар, 17-18 февр. 2004г., Москва: Докл. / О. Н. Чевская. - М.: Металлургиздат, 2004. - С. 46-56.  
Takeshi, N. Rezul'taty issledovaniy listovoy IF-stali / N. Takeshi // Sovremennye dostizheniya v metallurgii i tekhnologii proizvodstva staley dlya avtomobil'noy promyshlennosti = Modern developments in metallurgy and technologies of steels for automotive industry: Mezhdunar. seminar, 17-18 fevr. 2004 g., Moskva: Dokl. / O. N. Chevskaya. - M.: Metallurgizdat, 2004. - P. 46-56.
5. Матросов, Ю.И. Сталь для магистральных газопроводов / Ю.И. Матросов, Д.А. Литвиненко, С.А. Голованенко. - М.: Металлургия, 1989. - 288 с.  
Matrosov, Yu.I. Stal' dlya magistral'nykh gazoprovodov / Yu.I. Matrosov, D.A. Litvinenko, S.A. Golovanenko. - M.: Metallurgiya, 1989. - 288 p.
6. Металловедение качественных сталей и сплавов: темат. отрасл. сб. / ред. С. А. Голованенко. - М.: Металлургия, 1982. - 113 с.  
Metallovedenie kachestvennykh staley i splavov: temat. otrasl. sb. / red. S. A. Golovanenko. - M.: Metallurgiya, 1982. - 113 p.
7. Ланская, К.А. Микролегирующие и примесные элементы в низколегированной хромо-

либденованадиевой стали / К.А. Ланская, Л.В. Куликова, В.В. Яровой. - М.: Металлургия, 1989. - 176 с.

Lanskaya, K.A. Mikrolegiruyushchie i primesnye elementy v nizkolegirovannoy khromolibdenovanadiyevoy stali / K.A. Lanskaya, L.V. Kulikova, V.V. Yarovoy. - M.: Metallurgiya, 1989. - 176 p.

8. Шейко, С.П. Комплексная оптимизация химического состава низколегированной стали / С.П. Шейко // Вестник двигателестроения. - № 1. - 2014. - С. 127-130.

Sheyko, S.P. Kompleksnaya optimizatsiya khimicheskogo sostava nizkolegirovannoy stali / S.P. Sheyko // Vestnik dvigatelestroeniya. - № 1. - 2014. - P. 127-130.

9. Гольдштейн, Я.Е. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали / Я.Е. Гольдштейн, В.Г. Мизин. - М.: Металлургия, 1986. - 272 с.

Gol'dshteyn, Ya.E. Modifitsirovanie i mikrolegirovanie chuguna i stali / Ya.E. Gol'dshteyn, V.G. Mizin. - M.: Metallurgiya, 1986. - 272 p.

10. Казачков, И.П. Легирование стали / И.П. Казачков. - Киев: Техника. 1982. - 120 с.

Kazachkov, I.P. Legirovanie stali / I.P. Kazachkov. - Kiev: Tekhnika. 1982. - 120 p.

11. Шейко, С.П. Разработка состава низколегированной стали / С.П. Шейко // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 148/2014. Серія: Механіка, енергетика, екологія. - Севастополь, 2014. - С. 186-188.

Sheyko, S.P. Razrabotka sostava nizkolegirovannoy stali / S.P. Sheyko // Visnik SevNTU: zb. nauk. pr. Vip. 148/2014. Seriya: Mekhanika, energetika, ekologiya. - Sevastopol', 2014. - S. 186-188.

12. Ващенко, И.П. Структура и свойства малоуглеродистых низколегированных сталей / И.П. Ващенко // Вестник МГТУ. - Т. 10. - №4. - 2007. - С. 558-560.

Vashchenko, I.P. Struktura i svoystva malouglerodistykh nizkolegirovannykh staley / I.P. Vashchenko // Vestnik MGTU. - T. 10. - №4. - 2007. - P. 558-560.

[http://vestnik.mstu.edu.ru/v10\\_4\\_n29/articles/07\\_vash.pdf](http://vestnik.mstu.edu.ru/v10_4_n29/articles/07_vash.pdf)

13. Махарова, С.Н. Влияние интенсивной пластической деформации на механизм разрушения малоуглеродистой низколегированной стали / С.Н. Махарова, М.З. Борисова // Электронный научный журнал «Исследовано в России». 2006. - С. 742.

Makharova, S.N. Vliyanie intensivnoy plasticheskoy deformatsii na mekhanizm razrusheniya malouglerodistoy nizkolegirovannoy stali / S.N. Makharova, M.Z. Borisova // Elektronnyy nauchnyy zhurnal «Issledovano v Rossii». 2006. - S. 742.

*Статья рекомендована к публикации д-ром.техн.наук, проф. В. В. Чигиринским (Украина); д-ром.техн.наук, проф. В. Г. Мищенко (Украина)*

Поступила в редколлегию 21.01.2015

Принята к печати 24.03.2015