

УДК 669:62-03

**Власов Владимир Николаевич**<sup>1</sup>, старший преподаватель кафедр ПТМ и МР, ЭСЭУ, физики

e-mail: vn\_vlasov@mail.ru

**Старцева Анна Александровна**<sup>1</sup>, студентка факультета кораблестроения, гидротехники и защиты окружающей среды

e-mail: starceva.an02@mail.ru

<sup>1</sup>Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия.

### **ПРИМЕНЕНИЕ СТАЛИ 40X В СУДОСТРОЕНИИ И ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ И ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ В НЕЙ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

*Аннотация.* В статье показана актуальность применения стали 40X при отрицательных температурах. Рассмотрена связь между ударной вязкостью и отрицательной температурой.

*Ключевые слова:* применение стали, отрицательные температуры, ударная вязкость, криогенная обработка

Исследование развития и использования транспортной концепции Арктических районов Российской Федерации показывает, что мореходная транспортировка в северных широтах Арктической и Субарктической полос считается в настоящее время почти безальтернативным, кроме того, более результативным методом завоза научно-технического оснащения, энергоносителей, промышленных продуктов и продовольствия, нужных с целью функционирования регионально-производственных комплексов, находящихся в береговой области приполярных морей и жизнеобеспечения.

В виду высокой актуальности импортозамещения, связанного с текущей ситуацией в стране, рассмотрению подлежат детали судовых машин и механизмов, которые раньше поставлялись и обслуживались иностранными производителями. Одним из приказов от 2 августа 2021 г. N 2916 утвержден план мероприятий по импортозамещению в судостроительной отрасли Российской Федерации на период до 2024г [1].

Материалы, которые ранее не использовались в судостроении для данного района плавания, должны быть исследованы на их реакцию и протекание физических процессов в них в условиях отрицательных температур [2].

В данной работе рассмотрена сталь 40X, которая нашла широкое применение в изготовлении деталей судовых дизелей. Из стали 40X изготавливаются шатуны, гайки шатунных болтов, поршневые пальцы [3].

Участие данной стали в постройке корпусов судов могло бы укорениться после проведения ряда исследований.

Физические процессы, происходящие в деталях при отрицательных температурах схожи с процессами, происходящими при криогенной обработке. Поэтому исследование физических процессов, происходящих при криогенной обработке, дает четкое

представление, что будет происходить со сплавом, при работе элементов, произведенных из стали 40X при отрицательных температурах.

Криогенная обработка — это термоупрочнение металла на низкотемпературном уровне (до  $-196^{\circ}\text{C}$ ). Криогенное упрочнение принадлежит к методам сконцентрированного изменения текстуры и качеств материалов. Процедура криогенной обработки содержит 3 поочередно протекающих периода: остывание предмета обрабатывания с установленной скоростью вплоть до отметки минус  $196^{\circ}\text{C}$ ; выдержанность при сверхнизкой температуре обработки; нагрев предмета обработки вплоть до комнатной температуры со скоростью [4,5,6].

Криогенной обработке поддаются стальные изделия с высокой массовой долей углерода, в структуре которых по окончании процесса закалки или термомеханической обработки сохраняется значительное количество остаточного аустенита. Микроструктура же конкретно стали 40X формируется после термообработки.

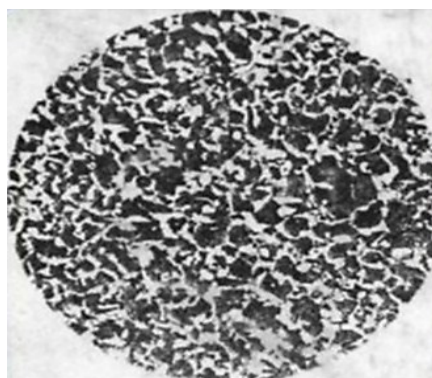


Рисунок 1 – Микроструктура стали 40X в исходном состоянии.

Структурными составляющими являются феррит и перлит. Перлит на рисунке представлен в виде темных кругообразных сгустков. Феррит – светлые зёрна, отделяющие группы сосредоточенного перлита друг от друга.

Вызывает интерес, как ведёт себя сталь 40X при длительной эксплуатации в условиях пониженной температуры. Химический состав стали 40X приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав стали 40X (ГОСТ 4543-2016)

Марка стали	Массовая доля элементов, %				
	C	Si	Mn	Cr	Ni, Mo, Al, Ti, V, B
40X	0,36-0,44	0,17-0,37	0,50-0,80	0,80-1,10	-

- Показатель концентрации углерода в составе находится в пределах от 0,36% до 0,44%.
- Хром является главным легирующим элементом, его в металле содержится 0,8-1,1%. Включение в состав хрома как основного легирующего элемента отвечает за высокую коррозионную стойкость.
- В составе присутствуют компоненты с отрицательным влиянием на качество стали – P(фосфор) и S(сера). Их концентрация регламентирована и должна соблюдаться точно.

- В состав входит Cu(медь), но ее около 0,035%. Именно поэтому концентрация этого элемента не изменяет основные эксплуатационные характеристики [7,8].

Эксплуатационные характеристики стали 40X связаны с механическим свойством-ударной вязкостью.

Ударная вязкость – это способность материала поглощать механическую энергию в процессе разрушения в процессе деформации под действием ударной нагрузки.

Ударная вязкость, в случае со сталью 40X, является важнейшим показателем при эксплуатации в судовых машинах и механизмах, ведь этот сплав представлен в основном в виде шатунов и поршневых пальцев, деталей, работающих в условиях ударной нагрузки. Уменьшение показателя ударной вязкости влечет за собой снижение способности металла поглощать механическую энергию в процессе разрушения под действием ударной нагрузки в процессе деформации.

Связь между ударной вязкостью и температурой показана в таблице 2:

Таблица 2 – Связь температуры испытаний и ударной вязкости стали 40X

Температура, °С			
+20	-25	-40	-70
Ударная вязкость, КСУ, Дж/см <sup>2</sup>			
160	148	107	85

Наблюдается снижение показателя ударной вязкости с понижением температуры. Показатели вод Северного Морского пути зимой достигают отметок -33...-35<sup>0</sup>С. Соответственно значение ударной вязкости будет находится в диапазоне 107-148 Дж/см<sup>2</sup>. Тем не менее, величина ударной вязкости не опустилась ниже 100 Дж/см<sup>2</sup> и всё ещё высокую качественную характеристику для металлов и сплавов, использующихся при отрицательных температурах, что не исключает применение стали 40X в районах Арктической зоны [9].

Последовательность взаимодействия с различными видами термообработки в значительной мере определяет результаты криогенной обработки. В период подготовительной термообработки низкотемпературное воздействие применяется с целью увеличения обрабатываемости ряда металлов, также вместе с отжигом или нормализацией.

Сталь 40X поддается криогенной обработке. Результаты изменения её механических свойств после криогенной обработки приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Механические свойства стали 40X после криогенной обработки

Режим термообработки	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ , МПа	Предел прочности $\sigma_b$ , МПа	Относительное удлинение $\delta$ , %	Относительное сужение $\psi$ , %	Ударная вязкость КСУ, кДж/м <sup>2</sup>
Стандартная термообработка, криогенная обработка (-196)	360	600	23	65	10

°С), отпуск 150-160 °С на					
воздухе					
Стандартная термообработка	290	600	22	64	10

Образцы, криогенно обработанные, имеют условный предел текучести на 20% выше, чем обработанные по стандартной методике.

Предел текучести считается главным признаком механической прочности стали, в соответствии с которым выполняются вычисления на износостойкость и прочность при статическом нагружении. Величина предела текучести определяет допустимые напряжения и характеризует сопротивление малым и умеренным деструкциям. Более высокие границы предела текучести предоставляют право сократить сечение и массу детали [5].

В связи с вышеизложенным, применение стали 40Х целесообразно в судостроении и изготовлении деталей судовых машин и механизмов ввиду того, что при эксплуатации их при отрицательной температуре снижение ударной вязкости компенсируется повышением предела текучести.

Скорее всего, такой механизм будет распространен не только на сталь 40Х, но и на другие виды стали, которые могут подвергаться криогенной обработке.

Направлением же дальнейших исследований будут являться физические процессы, происходящие в стали 40Х при эксплуатации при знакопеременных температурах.

#### Список литературы:

1. Бондарь Д. Ударная вязкость // Образовательный портал «Справочник». — Дата последнего обновления статьи: 24.04.2022. — URL [https://spravochnick.ru/materialovedenie/udarnaya\\_vyazkost/](https://spravochnick.ru/materialovedenie/udarnaya_vyazkost/) (дата обращения: 07.05.2022).
2. Гогин А.Ф., Кивалкин Е.Ф., Богданов А.А. Судовые дизели: основы теории, устройство и эксплуатация: Учебник для речных училищ и техникумов водного транспорта: 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1988. – 439 с.
3. Краткий справочник материалов, воспринимающих криогенное воздействие [Электронный ресурс] / Кокорин Н.А.; Ижевск: ООО «НПЦ «КриоТехРесурс», 2015. – 30с. – URL <https://cryotech.ru/upload/> (дата обращения: 07.05.2022).
4. Кокорин Н.А. Стабилизация размеров и формы деталей криогенным воздействием // Сайт Научно-производственного центра «Криогенная технология повышения ресурса», 2020. – URL - <https://cryotech.ru/files/stabilizaciya%20razmerov%20i%20form/> (дата обращения: 07.05.2022).
5. Леонтьев Л. Б., Токликишвили А. Г., Шапкин Н. П., Макаров В. Н. Выбор органических материалов для упрочнения шеек коленчатых валов судовых среднеоборотных дизелей // Вестник ИШ ДВФУ. 2020. №1 (42). URL - <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-organo-neorganicheskikh-materialov-dlya-uprochneniya-sheek-kolenchatyh-valov-sudovyh-sredneoborotnyh-dizeley> (дата обращения: 07.05.2022).
6. Марочник сталей и сплавов [Текст] / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин и др ; Под общ. ред. В.Г.Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
7. Норина В.Н. Северный морской путь и его значение для России // Образовательный портал «Справочник». — Дата последнего обновления статьи: 01.07.2021. — URL [https://spravochnick.ru/geografiya/severnuy\\_morskoy\\_put\\_i\\_ego\\_znachenie\\_dlya\\_rossii/](https://spravochnick.ru/geografiya/severnuy_morskoy_put_i_ego_znachenie_dlya_rossii/) (дата обращения: 07.05.2022).

8. Приказ об утверждении плана мероприятий по импортозамещению в судостроительной отрасли российской федерации на период до 2024 г. и о признании утратившим силу приказа Минпромторга России [Электронный ресурс]. – утв. приказом Минпромторга России от 2 августа 2021 г. N 2916. – URL <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minpromtorga-Rossii-ot-02.08.2021-N-2916/>

9. Справочник металлиста [Электронный ресурс]: Конструкционная легированная сталь 40X. Дата последнего обновления статьи: 27.02.2019. — URL – <https://enginiger.ru/materials/legirovannaya/konstruksionnaya-legirovannaya-stal-40h/>

10. ГОСТ 4543-2016.Metalлопродукция из конструкционной легированной стали. Технические условия [Электронный ресурс]. – Введ. 2017-10-01. - М.: Стандартинформ, 2019.

## **USING OF STEEL 40X IN SHIPBUILDING AND THE MANUFACTURE OF PARTS OF SHIP MACHINERY AND MECHANISMS AND THE PHYSICAL PROCESSES OCCURRING IN IT AT NEGATIVE TEMPERATURES**

Vladimir N. Vlasov, Anna A. Starceva

*Annotation.* The article shows the relevance of using 40X steel at negative temperatures. The relation between impact strength and negative temperature is considered.

*Keywords:* steel application, negative temperatures, impact strength, cryogenic treatment