

# ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

## METAL FORMING

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)

УДК 669.141.23

DOI: 10.18503/1995-2732-2022-20-1-42-49



## ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДАМАССКОЙ СТАЛИ КОВКОЙ МНОГОСЛОЙНЫХ ПАКЕТОВ

Колчин С.А., Горохов Ю.В., Ковалева А.А., Базан Д.А., Божко Д.Н.

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

**Аннотация.** Дамасская сталь – вид стали с видимыми неоднородностями на поверхности, чаще всего в виде узоров, получаемых различными способами. В статье рассмотрены особенности изготовления дамасской стали методомковки многослойных пакетов. Данный способ может быть использован для изготовления оружия (клинков, сабель, ножей и т.д.), а также для изготовления инструмента для обработки различных материалов (кожи, пластмассы, древесины). Полученные механической обработкой пластины разных марок стали обезжиривают и чередуя собирают в стопку. Стопку сжимают в приспособлении, конструктивные элементы которого имеют разные коэффициенты линейного расширения. Приспособление со стопкой пластин помещают в печь и получают монолитную заготовку путем диффузионной сварки в безокислительной среде с двумя изотермическими выдержками. Проводят свободную ковку полученной монолитной заготовки. Способ позволяет обеспечить качество сварки и получить цельную заготовку дамасской стали независимо от химического состава стали свариваемых пластин. Целью данной работы является исследование влияния толщины и количества слоев никеля на структуру, твердость и износостойкость дамасской стали в зависимости от содержания в ней никеля и повышение качества изделий путем применения операций термомеханической обработки. Экспериментальными данными подтверждается целесообразность добавления в пакет пластин Ni толщиной 0,3 мм, в качестве одного из критериев которых является больше всего содержание  $\alpha$ -твёрдого раствора, что обуславливает их высокие механические свойства. Технический результат, получаемый при осуществлении данного метода изготовления дамасской стали, заключается в надежном обеспечении качества сварки, получении цельной заготовки без внутренних дефектов независимо от химического состава сталей свариваемых пластин. На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что предлагаемое изобретение обладает новизной и изобретательским уровнем.

**Ключевые слова:** дамасская сталь, механические свойства, ковка, экспериментальные данные, стопка, диффузионная сварка, технический результат.

© Колчин С.А., Горохов Ю.В., Ковалева А.А., Базан Д.А., Божко Д.Н., 2022

### Для цитирования

Технология изготовления дамасской стали ковкой многослойных пакетов / Колчин С.А., Горохов Ю.В., Ковалева А.А., Базан Д.А., Божко Д.Н. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2022. Т. 20. №1. С. 42–49. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2022-20-1-42-49>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

## DAMASCUS STEEL MANUFACTURING TECHNOLOGY BY FORGING MULTI-LAYER PACKAGES

Kolchin S.A., Gorokhov Yu.V., Kovaleva A.A., Bazan D.A., Bozhko D.N.

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

**Abstract.** Damascus steel is a type of steel with visible inhomogeneities on the surface, most often in the form of patterns produced in various ways. The paper discusses the features of producing Damascus steel by forging multi-layer packages. This method can be used for manufacturing weapons (blades, sabers, knives, etc.), as well as tools for processing various materials (leather, plastic, wood). The plates from different steel grades produced by machining are de-oiled and alternately collected in a pile. The pile is compressed in a tool, whose structural elements have different coefficients of linear expansion. Such tool with a pile of plates is charged in a furnace to produce a monolithic workpiece by diffusion welding in non-oxidizing environment with two isothermal tempering periods. The produced monolithic workpiece undergoes free forging. The method makes it possible to ensure the quality of welding and to produce a solid workpiece of Damascus steel, regardless of the chemical composition of steel of the welded plates. The objective of this paper is to study the influence of thickness and number of nickel layers on the structure, hardness and wear resistance of Damascus steel, depending on the nickel content, and to improve the quality of products by applying thermomechanical processing operations. Experimental data support feasibility of adding 0.3 mm thick Ni plates to the package, whose one of the criteria is the highest content of  $\alpha$ -solid solution, contributing to their high mechanical properties. The technical result achieved by using this method of producing Damascus steel is to reliably ensure the quality of welding, produce a solid workpiece without internal defects, regardless of the chemical composition of steels of the welded plates. Based on the foregoing, it can be concluded that the present invention has novelty and an inventive step.

**Keywords:** Damascus steel, mechanical properties, forging, experimental data, pile, diffusion welding, technical result.

### For citation

Kolchin S.A., Gorokhov Yu.V., Kovaleva A.A., Bazan D.A., Bozhko D.N. Damascus Steel Manufacturing Technology by Forging Multi-Layer Packages. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2022, vol. 20, no. 1, pp. 42–49. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2022-20-1-42-49>

### Введение

Дамасская сталь – композиционный материал с чередованием слоёв твёрдого высокоуглеродистого и мягкого малоуглеродистого железа. Традиционно её применяют для изготовления режущего инструмента или холодного оружия типа ножей, клинков и т.д. Использование слоистых металлических композиций позволяет не только повысить надёжность и долговечность большой номенклатуры деталей и оборудования, но и существенно сократить расход высоколегированных сталей, дефицитных и дорогостоящих цветных металлов (никель, хром, медь, молибден и др.), снизить энергоёмкость и металлоёмкость, расходы на техническое обслуживание, производство запчастей и ремонт оборудования [1]. Сваривая пакеты стальных пластин с разным содержанием углерода проковкой, кузнецы научились контролировать свойства получаемых изделий [2–6]. Большинство рецептов изготовления кованых изделий из дамасской стали является секретами мастеров, и количе-

ство публикаций по результатам исследований этого древнего процесса металлообработки весьма ограничены, в частности по вопросу влияния на структуру и свойства режущей кромки инструмента слоёв из цветных металлов между стальными пластинами в пакете, подготовленном под ковку.

Целью данной работы является исследование закономерностей пластической деформации при получении дамасской стали в зависимости от содержания в ней никеля и повышения качества изделий путем применения операций термомеханической обработки.

Для достижения цели решены следующие задачи:

- изготовлены ковкой (кузнечной сваркой) образцы из пакетов с различным количеством стальных пластин, со слоями никеля и без него, исследованы структура и свойства;
- проведена сравнительная оценка уровня механических свойств образцов в зависимости от количества слоёв, их состава и степени деформации пакетов.

### Методика проведения исследований

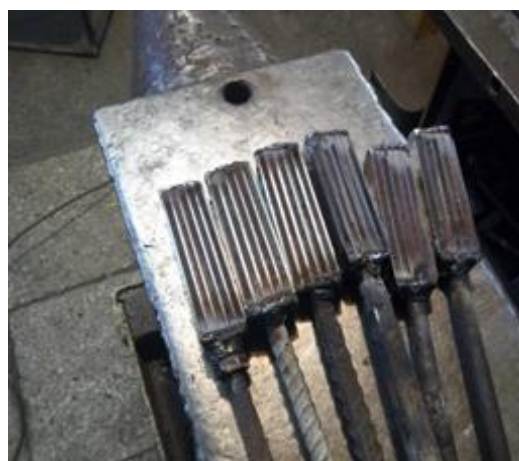
Объекты для исследования в данной работе собирают в виде пакетов из пластин сталей марок Ст3, У7 и никеля толщиной 1,4, 3,4 и 0,3 мм, соответственно (**рис. 1**). Добавление никеля обуславливается тем, что он повышает крепость стали и ее относительную вязкость. Никель задерживает рост зерен стали при нагревании и способствует образованию мелкокристаллической структуры. За счет добавления никеля повышается коррозионная стойкость, также сопротивление действию кислот растет с увеличением содержания никеля, на свариваемость стали он не оказывает заметного влияния. Сборка шести пакетов проводится с помощью электросварки предварительно обезжиренных пластин, как показано на **рис. 1, б**.

Нагреваются пакеты до температуры 1250–1300°C в кузнечном горне с просеянным коксом фракции 20–30 мм и проковываются на пневматическом молоте с кантовкой на 90°. После протяжки до достижения трёхкратной начальной длины поковка рубится на три равные части (**рис. 2**) и опять складывается в пакет.

Путём подобных действий набирается шесть пакетов с числом слоёв 100, 300, 900 под окончательную термомеханическую обработку, после которой путем скрутки и протяжки (**рис. 3**) изготавливается шесть изделий-образцов для исследования эксплуатационных свойств (износостойкость) вырезанных из них ножевых заготовок.



а



б

Рис. 1. Пластины (а) и пакеты, скрепленные сваркой (б), для последующейковки  
Fig. 1. Plates (a) and packages fixed by welding (б) for subsequent forging



Рис. 2. Разметка и рубка поковки  
Fig. 2. Marking and cutting forgings





Рис. 3. Изготовление изделий-образцов для исследования эксплуатационных свойств  
Fig. 3. Manufacturing sample products to study their performance properties

### Экспериментальная часть

Металлографические исследования проводились на кованых образцах (рис. 4–6), собранных из отдельных слоёв Ст3, У7 и Ni.

Структура представляет собой ферритно-перлитную смесь, при этом пластины феррита и перлита расположены по очередности и вытянуты

ты в направлении деформации. В феррите углерода практически нет.

Наблюдается некоторая неравномерность по толщине феррита и перлита с поверхности из-за большего воздействия деформации они более тонкие, а внутренние более широкие. Неравномерность видна по полосам, есть непрерывные пластины, а есть прерывные.

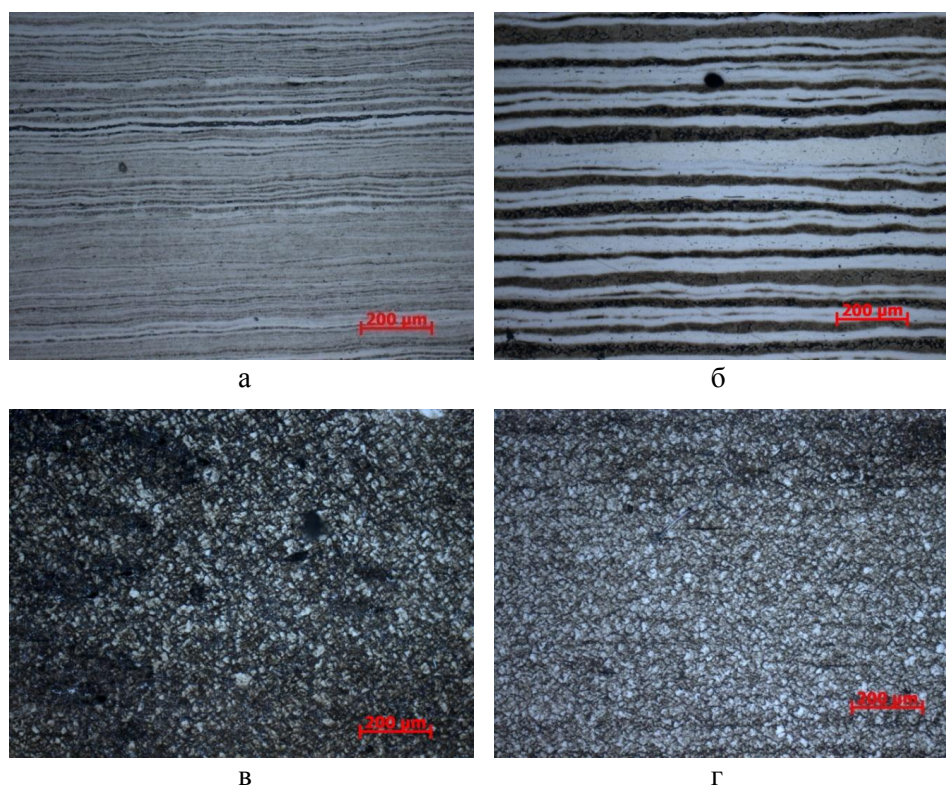


Рис. 4. Микроструктура образцов дамасской стали при увеличении 200 крат 900 слоёв: с пластинами Ni: а – толщина образца 3 мм; б – толщина образца 5 мм; без пластин Ni: в – толщина образца 3 мм; г – толщина образца 5 мм

Fig. 4. Microstructure of the samples of Damascus steel at 200x magnification of 900 layers: with Ni plates: а is a sample, 3 mm thick; б is a sample, 5 mm thick; without Ni plates: в is a sample, 3 mm thick; г is a sample, 5 mm thick



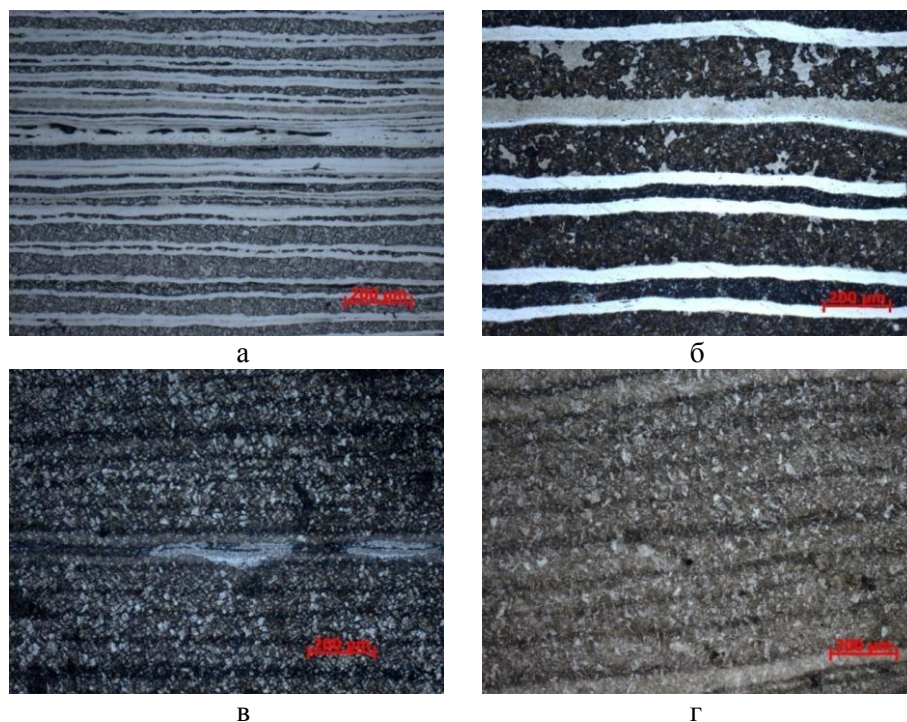


Рис. 5. Микроструктура образцов дамасской стали при увеличении 200 крат 300 слоёв: с пластинами Ni: а – толщина образца 3 мм; б – толщина образца 5 мм; без пластин Ni: в – толщина образца 3 мм; г – толщина образца 5 мм

Fig. 5. Microstructure of the samples of Damascus steel at 200x magnification of 300 layers: with Ni plates: а is a sample, 3 mm thick; б is a sample, 5 mm thick; without Ni plates: в is a sample, 3 mm thick; г is a sample, 5 mm thick

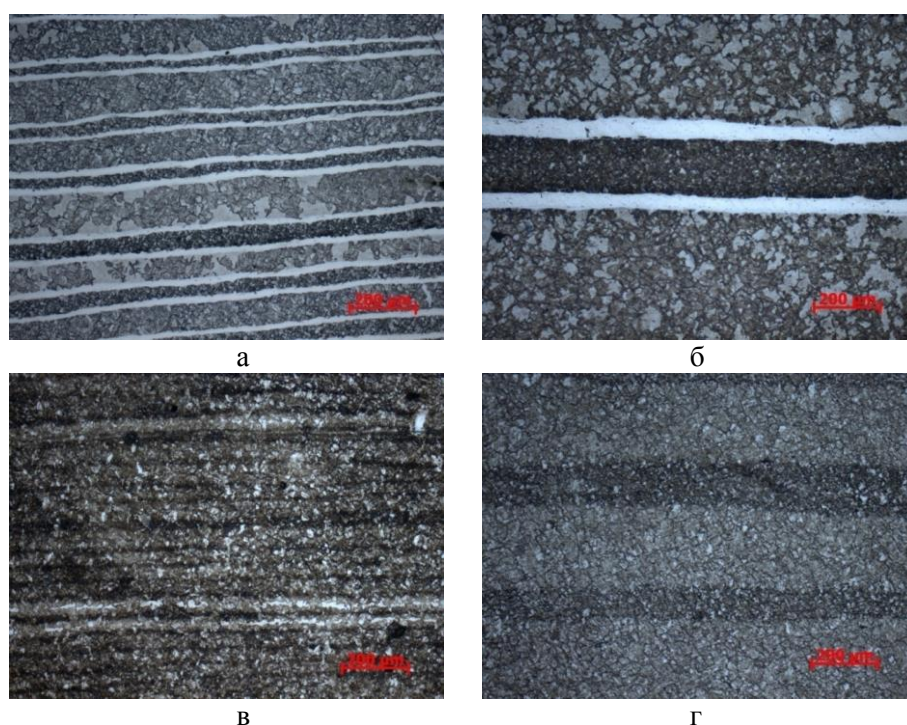


Рис. 6. Микроструктура образцов дамасской стали при увеличении 200 крат 100 слоёв: с пластинами Ni: а – толщина образца 3 мм; б – толщина образца 5 мм; без пластин Ni: в – толщина образца 3 мм; г – толщина образца 5 мм

Fig. 6. Microstructure of the samples of Damascus steel at 200x magnification of 100 layers: with Ni plates: а is a sample, 3 mm thick; б is a sample, 5 mm thick; without Ni plates: в is a sample, 3 mm thick; г is a sample, 5 mm thick

В образцах с добавлением пластин Ni толщиной 0,3 мм больше всего  $\alpha$ -твёрдого раствора, что обуславливает их высокие механические свойства.

### Исследование дамасских клинков на износостойкость

Образцы ножей (рис. 7) после закалки при  $T = 790^\circ\text{C}$  в воду, затачивались универсальной ножеточкой фирмы «Lansky» и испытывались на износостойкость. Результаты приведены в табл. 1.



Рис. 7. Испытание образцов на износостойкость  
Fig. 7. Testing the samples for wear resistance

Таблица 1. Испытания на износостойкость образцов  
Table 1. Tests for wear resistance of the samples

Количество слоёв	100 с Ni	300 с Ni	900 с Ni	100	300	900
Количество резов	12	28	50	8	15	30

По данным табл. 1 построена диаграмма испытания (рис. 8), из которой видно, что наличие никеля значительно повышает износостойкость образцов.

Анализ рис. 8 показывает ярко выраженную зависимость режущих свойств дамасской стали

от количества слоев и наличия никеля. Испытанию были подвергнуты образцы никелевого и безникелевого дамаса с количеством слоёв 100, 300 и 900 путём резки каната до явного затупления клинка (см. рис. 7).

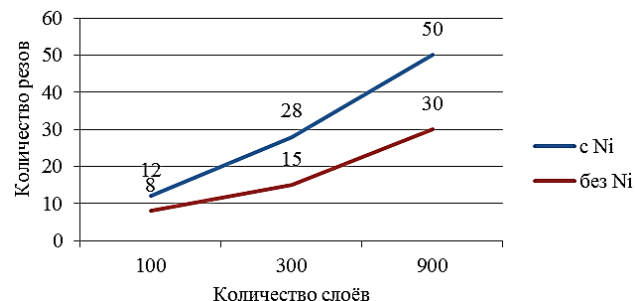


Рис. 8. Испытания на износостойкость  
Fig. 8. Wear tests

Твёрдость дамасских ножей для сравнения влияния количества слоёв с Ni и без него измерялась по методу Роквелла (табл. 2).

Таблица 2. Твёрдость дамасских клинков по Роквеллу  
Table 2. Rockwell hardness of Damascus blades

Количество слоёв	900 с Ni	300 с Ni	100 с Ni	900 без Ni	300 без Ni	100 без Ni
Твёрдость	55,4	48,1	46,5	62,9	62,4	61,7

После измерения твёрдости образцов без «закалки» в масле и технологического отпуска, выяснилось, что с увеличением количества слоёв без наличия никеля твёрдость повышается.

Рис. 9 показывает, что с увеличением количества слоёв без наличия никеля твёрдость повышается.

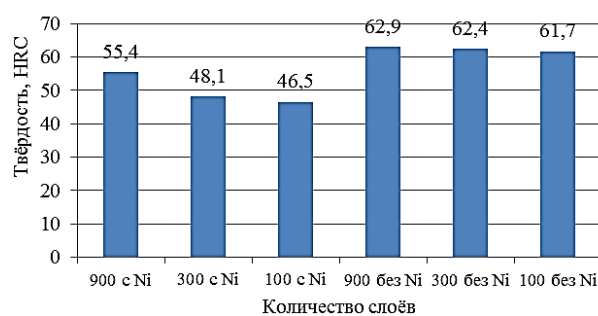


Рис. 9. Гистограмма твёрдости ножей из дамасской стали

Fig. 9. Hardness bar graph of Damascus steel knives

Общий вывод из результатов испытаний – это положительное влияние никеля на износостойкость и большого количества слоёв (в диапазоне до 900) на механические свойства дамасской стали.



### Заключение

1. Изготовлены ковкой (кузнечной сваркой) и испытаны образцы с количеством слоёв 100, 300 и 900 с никелем и без него.

2. Установлено, что наилучшие эксплуатационные свойства показали образцы с количеством слоёв 900 толщиной 3 и 5 мм с содержанием никеля.

3. Металлографически установлено, что структура стали вытянутая (текстурованная) и состоит из чередующихся полос феррита и перлита, что, в свою очередь, обуславливает ее высокие механические свойства.

### Список литературы

1. Федосов С.А. Исследование сварочной дамасской стали современной выделки // *Металлург*. 2007. №12. С. 64–74.
2. Гуревич Ю.Г. Загадка булатного узора. М.: Знание, 1985. 192 с.
3. Матрюков А.В. Технология металлов. М.: Машгиз, 1952. 494 с.
4. Годеновский Н.Б. Тайна булатной стали. Ростов н/Д.: Феникс, 2010. 383 с.
5. Беляев Н.Т. Булатная сталь. Ч. 1 // *Вестник Института чугуна и стали*. 1978. Вып. 97. № 1. С. 417–439.
6. Пансери К. Дамасская сталь в легенде и реальности // *Гладиус*. 1965. Вып. 4. С. 5–66.
7. Jeffrey Wadsworth and Oleg D. Sherby. Damascus steel-making // *In Science*, vol. 218, no. 4570, pp. 328–329; October 22, 1983.
8. Хорев В.Н. Оружие из дамаска и булата. Ростов н/Д.: Феникс, 2004. 91 с.
9. Юсипов З.И., Ляпунов Н.И. Ручнаяковка: учебник для ПТУ. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1990. 304 с.
10. Константинов И.Л., Сидельников С.Б. Технологияковки: учебник. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2020. 216 с.
11. Углеродные нанотрубки в древней дамасской сабле / Рейболд М., Пауфлер П., Левин А.А. и др. // *Природа*. 2006. Вып. 444 (7117). С. 286.
12. Верховен Дж. Д. Формирование рисунка на мечах и клинках из дамасской стали Wootz // *Индийский журнал истории науки*. 2007. Вып. 42. № 4. С. 559–574.
13. Верховен Дж. Д., Пендрей А. Х., Берге П. М. Исследования лезвий из дамасской стали. Часть II. Разру-

шение и преобразование узора // *Характеристика материалов*. 1993. Вып. 30. № 3. С. 187–200.

14. Фомин А. Стальные узоры дамаска. (06.09.19). Режим доступа: [https://rezat.ru/articles/stal\\_nye\\_uzory\\_damaska/](https://rezat.ru/articles/stal_nye_uzory_damaska/)

### References

1. Fedosov S.A. Studies on modern welded Damascus steel. *Metallurg* [Metallurgist], 2007, no. 12, pp. 64–74. (In Russ.)
2. Gurevich Yu.G. *Zagadka bulatnogo uzora* [The mystery of the damask pattern]. Moscow: Knowledge, 1985, 192 p. (In Russ.)
3. Mastryukov A.V. *Tekhnologiya metallov* [Metal technology]. Moscow: Mashgiz, 1952. 494 p. (In Russ.)
4. Godenovsky N.B. *Taina bulatnoy stali* [The secret of damask steel]. Rostov-on-Don: Phoenix, 2010, 383 p. (In Russ.)
5. Belyaev N. T. Damascus steel. Part 1. *Vestnik Instituta chuguna i stali* [Journal of the Institute of Iron and Steel], 1978, issue 97, no. 1, pp. 417–439. (In Russ.)
6. Panseri C. Damascus steel in legend and reality. *Gladius*, 1965, issue 4, pp. 5–66.
7. Jeffrey Wadsworth, Oleg D. Sherby. Damascus steel-making. *Science*, vol. 218, no. 4570, pp. 328–329; October 22, 1983.
8. Khorev V.N. *Oruzhie iz damaska i bulata* [Weapons from Damascus steel and bulat steel]. Rostov-on-Don: Phoenix, 2004, 91 p. (In Russ.)
9. Yusipov Z.I., Lyapunov N.I. *Ruchnaya kovka: uchebnik dlya PTU* [Hand forging: textbook for vocational schools]. 2nd ed., revised and supplemented. Moscow: Higher School, 1990, 304 p. (In Russ.)
10. Konstantinov I.L., Sidelnikov S.B. *Tekhnologiya kovki: uchebnik* [Forging technology: textbook]. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2020, 216 p. (In Russ.)
11. Reibold M., Paufler P., Levin A.A. et al. Carbon nanotubes in an ancient Damascus sabre. *Nature*, 2006, issue 444 (7117), p. 286.
12. Verhoeven J. D. Pattern formation in Wootz Damascus steel swords and blades. *Indian Journal of History of Science*, 2007, vol. 42, no. 4, pp. 559–574.
13. Verhoeven J. D., Pendray A. H., Berge P. M. Studies of Damascus steel blades: Part II. Destruction and reformation of the pattern. *Materials Characterization*, 1993, vol. 30, no. 3, pp. 187–200.
14. Fomin A. Damascus steel patterns. Available at: [https://rezat.ru/articles/stal\\_nye\\_uzory\\_damaska/](https://rezat.ru/articles/stal_nye_uzory_damaska/)

Поступила 29.11.2021; принята к публикации 08.02.2022; опубликована 25.03.2022  
Submitted 29/11/2021; revised 08/02/2022; published 25/03/2022

**Колчин Сергей Анатольевич** – ведущий инженер,  
Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия.  
Email: GEFESTUDIO@mail.ru

**Горохов Юрий Васильевич** – доктор технических наук, профессор,  
Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия.  
Email: 16.09.49@list.ru

**Ковалева Ангелина Адольфовна** – кандидат технических наук, доцент,  
Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия.  
Email: AKovaleva@sfu-kras.ru, angeli-kovaleva@yandex.ru

**Базан Дмитрий Анатольевич** – аспирант,  
Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия.  
Email: dimabazan2424@mail.ru

**Божко Дмитрий Николаевич** – магистрант,  
Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия.  
Email: Deamnb@mail.ru

**Sergey A. Kolchin** – Lead Engineer,  
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.  
Email: GEFESTUDIO@mail.ru

**Yury V. Gorokhov** – DrSc (Eng.), Professor,  
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.  
Email: 16.09.49@list.ru

**Angelina A. Kovaleva** – PhD (Eng.), Associate Professor,  
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.  
Email: AKovaleva@sfu-kras.ru, angeli-kovaleva@yandex.ru

**Dmitry A. Bazan** – postgraduate student,  
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.  
Email: dimabazan2424@mail.ru

**Dmitry N. Bozhko** – master student,  
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.  
Email: Deamnb@mail.ru