

анализа (с учетом типа разрушения), дают возможность определять их уровень и прогнозировать трещиностойкость сварных соединений.

Литература

1. Шоршоров, М. Х. Фазовые превращения и свойства стали при сварке [Текст] / М. Х. Шоршоров, В. В. Белов. – М.: Наука, 1972. – 220 с.
2. Горынин, И. В. Свариваемые корпусные высокопрочные стали и их применение [Текст] / И. В. Горынин. – Киев: Наукова думка, 1980. – 132 с.
3. Бернацкий, А. Повышение физико-механических свойств поверхностных слоев сталей лазерным и комбинированным легированием [Текст] / А. Бернацкий // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 6, N 1(66). – С. 25-31. – Режим доступа : URL : <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/19118>.
4. Влияние термических циклов сварки и внешнего нагружения на структурно-фазовые изменения и свойства соединений стали 17Х2М [Текст] / Л. И. Маркашова, Г. М. Григоренко, В. Д. Позняков, Е. Н. Бердникова и др. // Автоматическая сварка. – 2009. – №7. – С.21-29.
5. Маркашова, Л. И. Влияние легирования швов на структуру и свойства сварных соединений стали 17Х2М [Текст] / Л. И. Маркашова, В. Д. Позняков, Т. А. Алексеенко, Е. Н. Бердникова и др. // Автоматическая сварка. – 2011. – № 4. – С. 7 – 15.
6. Маркашова, Л. И. Структурный критерий прочности, пластичности, трещиностойкости металлов, сплавов, композиционных материалов и их сварных соединений [Текст] / під заг. ред. В.В. Панасюка; Л. И. Маркашова, Г. М. Григоренко, Е. Н. Бердникова, Т. А. Алексеенко // Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій: Збірка доповідей четвертої міжнар. конф. (Львів, 23-27 червня 2009р.) // Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка. – Львів, 2009. – С. 447 – 451.
7. Markashova, L. I. Estimation of the Strength and Crack Resistance of the Metal of Railway Wheels after Long-Term Operation [Text] / L. I. Markashova, V. D. Poznyakov, A. A. Gaivoronskii, E. N. Berdnikova, T. A. Alekseenko // Materials Science. – 2012. – Vol. 47, № 6. – P. 799 – 806.
8. Stroh, A. N. The Formation of Cracks as a Result of Plastic Flow [Text] / A. N. Stroh // Proceedings of the Royal Society. – 1954. – Vol. A 223. – P. 404 – 414.
9. Либовиц, Г. Разрушение. Т.3. [Текст] / Г. Либовиц – М: Мир, 1976. – 800 с.
10. Балтер, М. А. Фрактография – средство диагностики разрушенных деталей [Текст] / М. А. Балтер, А. П. Любченко, С. И. Аксенова. – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.
11. Орован, Е. Классическая и дислокационная теория хрупкого разрушения [Текст] / Е. Орован // Атомный механизм разрушения. – М.: Металлургия, 1963. – С. 170 – 184.
12. Котрелл, А. Х. Теоретические аспекты процесса разрушения [Текст] / А. Х. Котрелл // Атомный механизм разрушения. – М.: Металлургия, 1963. – С. 30 – 68.
13. Нотт, Дж. Ф. Микромеханизмы разрушения и трещиностойкость конструкционных сплавов [Текст] / Дж.Ф. Нотт. // Механика разрушения. – М.: Мир, 1979. – С. 40 – 82.

Поступила в редакцию 17.11.13

В. В. Гончаров, канд. хим. наук

*Институт химических технологий
Восточноукраинского национального
университета имени Владимира Даля,
г. Рубежное, Украина
e-mail: gonch_vit@rambler.ru*

Ключові слова: іонна імплантація,
каталізатор, мікротвердість,
пластичність.

УДК 621.384.649/620.178.143.34

МИКРОТВЕРДОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИЕЙ

Анотація. Досліджено мікротвердість і пластичність зразків на основі нержавіючої сталі, оброблених за допомогою імплантації іонів азоту, хрому, алюмінію, титану і молибдену. Показано перспективність застосування отриманих імплантатів в умовах механічного навантаження.

Введение

Развитие технологий органического синтеза, фармацевтических препаратов, водородной энергетики и др. невозможно представить без применения катализаторов [1-3]. Их высокая эффективность наряду с низкой относительной себестоимостью конечного продукта привлекают к себе внимание большого количества исследователей со всего мира [4-8]. Особый интерес представляют нанесенные каталитические системы, которые сочетают в себе физико-химические свойства активного компонента поверхности с термомеханическими характеристиками носителя.

© В. В. Гончаров, 2013

В этом плане перспективными можно считать системы на основе металлов и сплавов, которые обладают высокой механической и термической прочностью, значительной тепло- и электропроводностью и способностью выдерживать многократные циклы смены напряжений [9]. Одним из самых распространенных материалов с обширным спектром применения является нержавеющая сталь. Поэтому исследование систем, нанесенных на нержавеющую сталь, имеет высокое научно-практическое значение.

Постановка проблемы

Одним из самых распространенных недостатков у существующих нанесенных систем является низкое сцепление активного компонента (слои) с носителем (основа). Обусловлено это, главным образом, фазовой неоднородностью покрытия и подложки, что приводит к ослаблению их связи на границе раздела. Решением данной проблемы является разработка методики нанесения, позволяющей обеспечивать плавный переход от материала носителя к активному слою при сохранении физико-химических свойств покрытия и термомеханических характеристик основы. Технологией, способной удовлетворить данные требования, является ионная имплантация [10 – 13]. Одним из важнейших достоинств этого процесса является возможность концентрировать целевые ионы в поверхностном слое носителя, что обеспечивает достаточное их сцепление с синтезируемым на основе таких же ионов покрытием. Кроме того, низкая температура (до 80°C) и локализация процесса позволяют использовать в качестве подложки для активного компонента не только компактные массивные объекты, но и низкоразмерные элементы (волокна, проволоки, фольгу и т.д.), что значительно расширяет диапазон их применения за счет дизайна возможных конструкций катализаторов, нагревателей, рефлекторов и т.д. Таким образом, актуальным является исследование нанесенных систем, синтезированных с помощью ионной имплантации, на нержавеющей фольге.

Анализ исследований и публикаций

Анализ литературных данных показал, что катализаторы на стальной основе активно применялись, в первую очередь, для решения экологических проблем и, в частности, в автомобилестроении [14 – 18]. Однако переменность нагрузок, температурные градиенты и связанная с ними низкая адгезия каталитических покрытий стимулировали поиск применений стальных носителей в различных отраслях энергетики, автомобилестроения, химической промышленности не только в процессах нейтрализации [19 – 21], но и в органическом синтезе [22 – 24]. Технологии нанесения активных компонентов пропиткой, электроосаждением, плазмохимически [25 – 27] применяются довольно широко. В частности, для получения и модификации элементов машин, аппаратов, различных конструкций и др. Однако публикации относительно использования ионной имплантации для модификации и синтеза покрытий на нержавеющей стали носят эпизодический характер и касаются в основном вопросов фазовых и стехиометрических изменений поверхностного слоя после обработки его ионами азота и аргона [28 – 30].

Формулировка целей статьи

Целью данной работы является исследование микротвердости и пластичности нержавеющей фольги, модифицированной с помощью имплантации ионов азота и целевых металлов (хром, титан, алюминий и молибден) на предмет применения в качестве элементов каталитического, теплоэнергетического оборудования и деталей машин, испытывающих механические нагрузки.

Методика обработки и исследования

Обработка нержавеющей стали проводилась в установке ионной имплантации [31], работающей по принципу линейного ускорителя ионов в скрещенных электрическом и магнитном полях в условиях вакуума. Металлами-мишенями служили хром, алюминий, титан и молибден. Соответствующие им обозначения Cr/НС, Al/НС, Ti/НС и Mo/НС. Имплантация проводилась в двух режимах с достижением дозы $2,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ и $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$.

Исследование микротвердости и пластичности осуществлялось с помощью прибора ПМТ-3 по стандартной методике [32]. В качестве индентора использовалась алмазная пирамида Виккерса с углом при вершине 136°. Нагрузка на индентор составляла 15 г.

Значение микротвердости определялось из формулы

$$H = \frac{3,708 \cdot P}{c^2}, \quad (1)$$

где H – микротвердость, МПа;

P – нагрузка на индентор, Н;

c – ширина образуемой царапины, мм.

Значение пластичности определялось из формулы

$$\nu = 1 - 14,3 \cdot (1 - \delta - 2 \cdot \delta^2) \cdot \frac{HV}{E}, \quad (2)$$

где δ – коэффициент Пуассона;

HV – микротвердость по Виккерсу, Па;

E – модуль упругости, Па.

Результаты и обсуждение

Анализ микрофотографий царапин показал, что они имеют относительно ровные края без сильных обрывов, что говорит в пользу высокого значения микротвердости. Для количественного сравнения данные, рассчитанные по формуле 1, сведены на графике (рис. 1). Как видно из рисунка, имплантация ионов азота и алюминия, титана и молибдена приводит к увеличению микротвердости поверхности образца в разы, которая зависит, кроме того, от дозы имплантации. Для хрома наблюдается обратный результат. Микротвердость образца после обработки ионами азота и хрома снизилась почти в 2 раза. Возможно, это связано с образованием в поверхностном слое различных соединений на основе азота и целевых металлов (нитриды, оксинитриды), которые определенным образом изменяют энергетическое состояние поверхности, вызванное внедрением в неё ионов и последующим перераспределением механических напряжений.

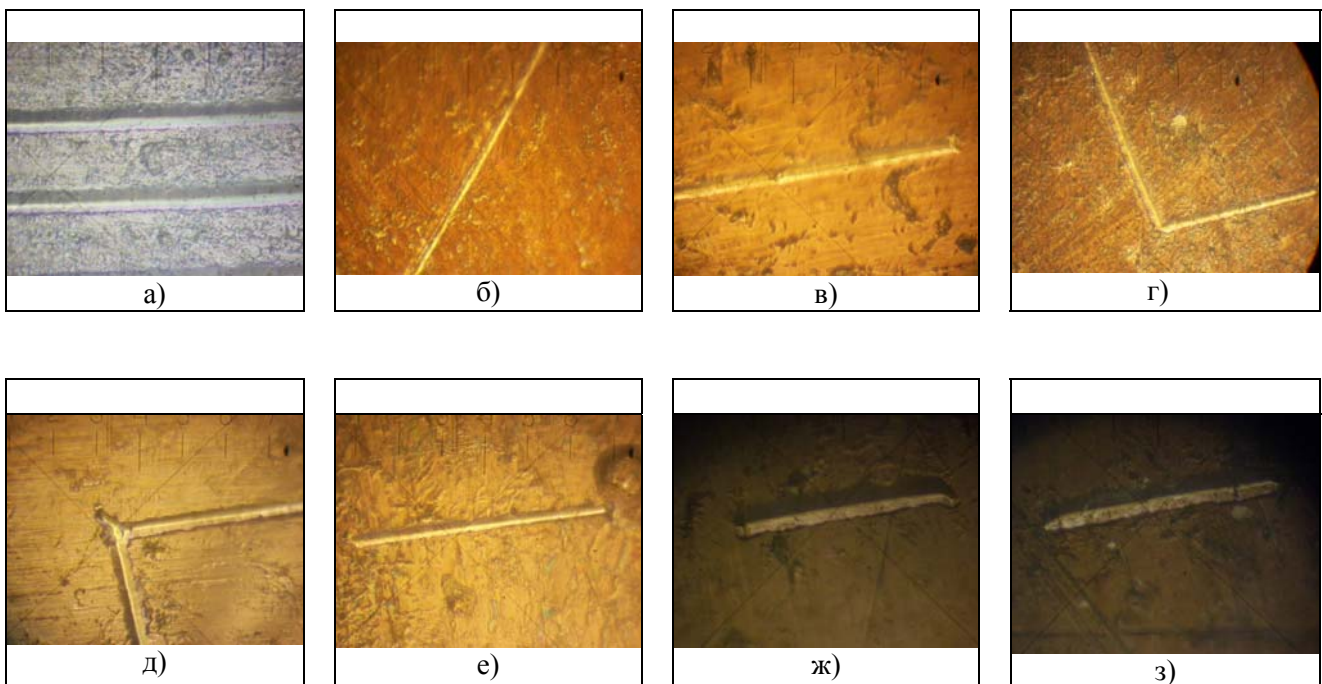


Рис. 1. Микрофотографии поверхности: а) – исходной стали; б) – образцов с имплантированным молибденом (доза имплантации $5 \cdot 10^{17}$ ион/см²; в) – алюминием (доза имплантации $2,5 \cdot 10^{17}$ ион/см²; г) – $5 \cdot 10^{17}$ ион/см²; д) – титаном (доза имплантации $2,5 \cdot 10^{17}$ ион/см²; е) – $5 \cdot 10^{17}$ ион/см² ж) – и хромом (доза имплантации $2,5 \cdot 10^{17}$ ион/см²; з) – $5 \cdot 10^{17}$ ион/см²

Повышение микротвердости образцов может приводить к понижению их пластичности. Для оценки данного эффекта на рис. 3 приведены результаты расчета коэффициентов пластичности для всех образцов.

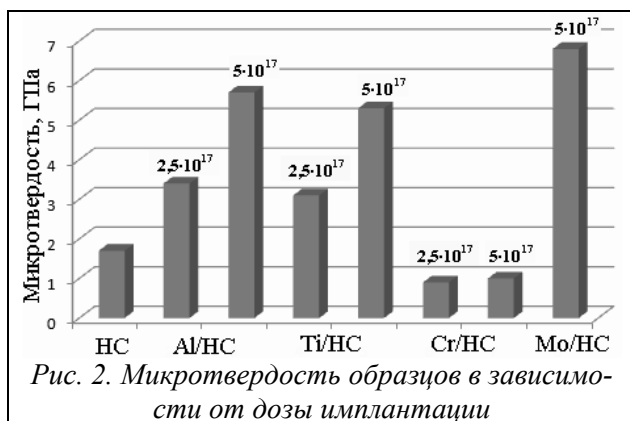


Рис. 2. Микротвердость образцов в зависимости от дозы имплантации

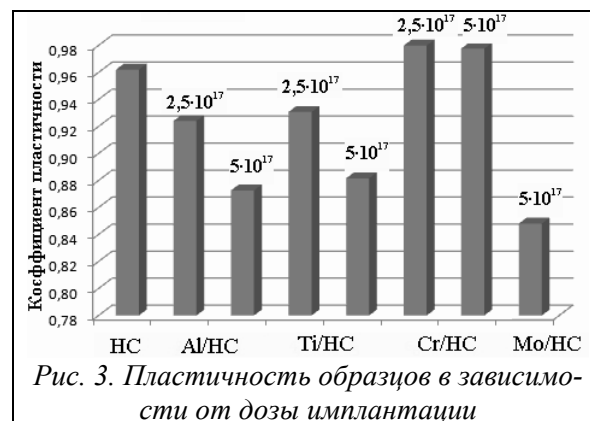


Рис. 3. Пластичность образцов в зависимости от дозы имплантации

Как видно из рис. 3, самым пластичным является образец с ионами азота и хрома, причем как и в случае с микротвердостью, доза имплантации почти не влияет на характеристики композита Cr/НС. Для остальных образцов заметно снижение пластичности на 5-20 %.

Выводы

Таким образом, можно сказать, что ионная имплантация приводит к увеличению прочности поверхностного слоя нержавеющей стали. Существенно повышается микротвердость и адгезия нанесенного слоя, что обуславливается наличием целевых металлов не только на поверхности носителя, но и в приповерхностной зоне. Это позволяет рекомендовать использовать элементы-имплантаты в качестве нанесенных систем, работающих в условиях трибологических и эрозионных нагрузок. Образец с хромом, имеющий более высокие пластические свойства, перспективен для работы в условиях циклических термомеханических нагрузок.

Литература

- Gallei, E. Development of technical catalysts [Text] / E. Gallei, E. Schwab // *Catalysis Today*. – 1999. – Vol. 51. – № 3-4. – P. 535 – 546.
- Anastas, P. T. The role of catalysis in the design, development, and implementation of green chemistry [Text] / P. T. Anastas, L. B. Bartlett, M. M. Kirchoff // *Catalysis Today*. – 2000. – Vol. 55. – № 1-2. – P. 11 – 22.
- Farrauto, R. J. Environmental catalysis into the 21st century [Text] / R. J. Farrauto, R. M. Heck // *Catalysis Today*. – 2000. – Vol. 55, № 1-2. – P. 179 – 187.
- Anca Faur Ghenciu Review of fuel processing catalysts for hydrogen production in PEM fuel cell systems [Text] / Anca Faur Ghenciu // *Current Opinion in Solid State and Materials Science*. – 2002. – № 6 – P. 389 – 399.
- Holladay, J. D. Review of developments in portable hydrogen production using microreactor technology [Text] / J. D. Holladay, Yong Wang, E. Jones // *Chem. Rev.* – 2004. – № 104 – P. 4767 – 4790.
- Струтинская, Л. Т. Термоэлектрические микрогенераторы. Современное состояние и перспективы использования [Текст] / Л. Т. Струтинская // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. – 2008. – № 4 – С. 5 – 13.
- Козин, Л. Ф. Водородная энергетика и экология [Текст] / Л. Ф. Козин, С. В. Волков. – Киев : Наукова думка, 2002. – 336 с.
- Armor, J. N. Catalysis and the hydrogen economy [Text] / J. N. Armor // *Catalysis Letters*. – 2005. – Vol. 101. – № 3-4 – P. 131 – 135.
- McCarty, J. G. Stability of supported metal and supported metal oxide combustion catalysts [Text] / J. G. McCarty, M. Gusman, D. M. Lowe // *Catalysis Today*. – 1999. – № 47 – P. 5 – 17.
- Калин, Б. А. Радиационно-пучковые технологии обработки конструкционных материалов [Текст] / Б. А. Калин // *Физика и химия обработки материалов*. – 2001. – №4 – С. 5 – 16.
- Поут, Дж. М. Модифицирование и легирование поверхности лазерными, ионными и электронными пучками [Текст] / Дж. М. Поут, Г. Фоти, Д. К. Джекобсон. – М. : Машиностроение, 1987. – 424 с.
- Тонкие пленки – взаимная диффузия и реакции / под. ред. Дж. Поута, К. Ту, Дж. Мейера. – М. : Мир. – 1982. – 576 с.
- Васецкая, Л. Ионная имплантация, как способ повышения эксплуатационной стойкости мелкогабаритного стального инструмента / Л. Васецкая // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2013. – Т. 6, N 5(66). – С. 7-11. – Режим доступа : <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/18437>
- Vaneman, G. L. Comparison of metal foil and ceramic monolith automotive catalytic converters [Text] / G. L. Vaneman // *Catalysis and automotive pollution control II*. – 1991. – Vol. 71. – P. 537 – 555.
- Suresh, T. Gulati New developments in catalytic converter durability [Text] / Suresh T. Gulati // *Catalysis and automotive pollution control II*. – 1991. – Vol. 71. – P. 481 – 507.

16. Okazaki, Y. Development of high performance metal catalyst support for cleaning automobile exhaust gases [Text] / Y. Okazaki, M. Fukaya, S. Konya // Nippon Steel Technical Report. – 1996. – №70 – P. 23 – 30.
17. Jatkar, A. D. New catalyst support structure for automotive catalytic converters [Text] / A. D. Jatkar // SAE Special Publications. – 1997. – №1260 – P. 149 – 155.
18. Egbert, S. J. Lox Automotive exhaust treatment [Text] / S. J. Lox Egbert // Handbook of Heterogeneous Catalysis. – 2008. – № 1 – С. 2274 – 2345.
19. Zamaro, J. M. ZSM5 growth on a FeCrAl steel support. Coating characteristics upon the catalytic behavior in the NO_x SCR [Text] // J. M. Zamaro, M. A. Ulla, E. E. Miro // Microporous and Mesoporous Materials. – 2008. – №115. – P. 113 – 122.
20. Luthera, M. Forced periodic temperature cycling of chemical reactions in microstructure devices [Text] // M. Luthera, J. J. Brandnera, L. Kiwi-Minsker // Chemical Engineering Science. – 2008. – № 63. – P. 4955 – 4961.
21. Окисление СО на оксиде меди, нанесенном на металлическую фольгу [Текст] / А. Н. Субботин, Б. С. Гудков, М. П. Воробьева // Катализ в промышленности. – 2005. – №5. – С. 48 – 51.
22. Giornelli, T. Preparation and characterization of VO_x/TiO₂ catalytic coatings on stainless steel plates for structured catalytic reactors [Text] / T. Giornelli, A. Lofberg, E. Bordes-Richard // Applied Catalysis A: General. – 2006. – №305 – P. 197 – 203.
23. Kołodziej, A. Structured catalyst carrier for selective oxidation of hydrocarbons: modelling and testing [Text] / A. Kołodziej, W. Krajewski, J. Łojewska // Catalysis Today. – 2004. – Vol. 91-92. – P. 59 – 65.
24. Lofberg, A. Catalytic coatings for structured supports and reactors: VO_x/TiO₂ catalyst coated on stainless steel in the oxidative dehydrogenation of propane [Text] / A. Lofberg, T. Giornelli, S. Paul, E. Bordes-Richard // Applied Catalysis A: General. – 2011. – № 391. – P. 43 – 51.
25. Meille, V. Review on methods to deposit catalysts on structured surfaces [Text] / Valerie Meille // Applied Catalysis A: General. – 2006. – №315 – P. 1 – 17.
26. Kizling, M. B. A review of the use of plasma techniques in catalyst preparation and catalytic reactions [Text] / M. B. Kizling, S. G. Järås // Applied Catalysis A: General. – 1996. – № 147. – P. 1 – 21.
27. Liu, C.-J. Catalyst preparation using plasma technologies [Text] / C.-J. Liu, G. Vissokov, B. W.-L. Jang // Catalysis Today. – 2002. – № 72. – P. 173 – 184.
28. Dudognon, J. Grazing incidence X-ray diffraction spectra analysis of expanded austenite for implanted stainless steel [Text] / J. Dudognon, M. Vayer, A. Pineau, R. Erre // Surface & Coating Technology. – 2008. – Vol. 202, № 20 – P. 5048 – 5054.
29. Dudognon, J. Mo and Ag ion implantation in austenitic, ferritic and duplex stainless steels: A comparative study [Text] / J. Dudognon, M. Vayer, A. Pineau, R. Erre // Surface & Coating Technology – 2008. – Vol. 203 – P. 180 – 185.
30. Dudognon, J. Modelling of grazing incidence X-ray diffraction spectra from Mo-implanted stainless steel. Comparison with experimental data [Text] / J. Dudognon, M. Vayer, A. Pineau, R. Erre // Surface & Coating Technology – 2006. – Vol. 200 – P. 5058 – 5066.
31. Гончаров, В. В. Синтез и теплофизические свойства образцов из стали 12Х18Н10Т после ионной имплантации алюминия [Текст] / В. В. Гончаров, В. А. Зажигалов // Modern science: researches, ideas, results, technologies. – 2011. – №2(7) – С. 178 – 182.
32. Измерение микротвердости царапанием алмазными наконечниками : ГОСТ 21318-75. – [Чинний від 1975-12-02]. – М. : Гос. комитет стандартов Совета министров СССР, 1975. – 24 с.

Поступила в редакцию 21.11.13

М. М. Бережний, д-р техн. наук
В. А. Чубенко, канд. техн. наук
А. А. Хіноцька
С. О. Мацішин

ДВНЗ «Криворізький
 національний університет»
 м. Кривий Ріг, Україна
 e-mail: sergej.macyshin@inbox.ru

Ключові слова: дослідження, розширення, нагрівання, сплав, залізо, вуглець, температура плавлення, питомий об'єм

Введення

Впровадження науково-технічних досягнень у виробництво є визначальним чинником розвитку продуктивних сил, невіддільного підвищення ефективності виробництва. Цей процес безпосередньо

ТЕПЛОВА ДЕФОРМАЦІЯ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ДІАГРАМУ СТАНУ Fe – C

УДК 621.771

Анотація. Виконано узагальнення результатів теоретичних і експериментальних досліджень теплового розширення сплавів заліза з вуглецем при нагріванні до температури плавлення. Визначено температурні залежності питомого об'єму і густини залізобуглецевих сплавів. Виявлені залежності між питомим об'ємом і параметром кристалічної решітки. виправлені і доповнені температурні залежності питомого об'єму і густини сталі та параметр кристалічної решітки заліза.

© М. М. Бережний, В. А. Чубенко, А. А. Хіноцька, С. О. Мацішин, 2013