

УДК 669.15-194.2:018.292:168.2

АНАЛИЗ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРОДУКТОВ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ СТАЛИ

РАЗУМОВА О. В.¹ к. т. н., проф.,
БАРЫБИН Д. А.² асп.,
БОЛЬШАКОВ В. И.³ д.т.н., проф.

¹ кафедра основ архитектуры, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, ORCID ID:0000-0001-8342-2636

² кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-59-51, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID:0000-0003-2530-7968

³ кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-59-51, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-2624-4666

Аннотация. В последние годы изучению особенностей бейнитной структуры уделяется большое внимание. *Цель.* Таким образом целью настоящей работы являлся анализ терминологической системы микроструктур промежуточного превращения, что является одной из наиболее актуальных проблем в металлведении. Сегодня бейнитные структуры привлекают внимание ученых. Во многих странах появились фундаментальные труды. *Результаты.* Анализ показал, что в работах Бхадешия и Большакова применяется более современная терминология. *Выводы.* Бейнитные структуры безусловно перспективны для получения сталей повышенной прочности и последующего применения в строительных конструкциях и машиностроении. Особенно если после прокатки стали она подвергается прокатному нагреву, чему и посвящен цикл работ ученых нашей академии. В данной работе проведен анализ терминологической системы микроструктур промежуточного превращения.

Ключевые слова: микроструктура; игольчатый феррит; бейнит, высокопрочные низколегированные стали; промежуточное превращение

АНАЛІЗ КЛАСИФІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПРОДУКТІВ ПРОМІЖНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ СТАЛІ

РАЗУМОВА О. В.¹ к. т. н., проф.,
БАРИБІН Д. О.² асп.,
БОЛЬШАКОВ В. І.³ д.т.н., проф.

¹ кафедра основ архітектури, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, ORCID ID: 0000-0001-8342-2636

² кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-59-51, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-2530-7968

³ кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-59-51, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-2624-4666

Анотація. В останні роки вивченню особливостей бейнітної структури приділяється велика увага. *Мета.* Таким чином метою цієї роботи був аналіз термінологічної системи микроструктур проміжного перетворення, що є однією з найбільш актуальних проблем в металознавстві. Сьогодні бейнітні структури привертють увагу вчених. У багатьох країнах з'явилися фундаментальні праці. *Результати.* Аналіз показав, що в роботах Бхадешія і Большакова застосовується більш сучасна термінологія. *Висновки.* Бейнітні структури безумовно перспективні для отримання сталей підвищеної міцності та подальшого застосування в будівельних конструкціях і машинобудуванні. Особливо якщо після прокатки сталі вона піддається прокатному нагріванню, чому і присвячений цикл робіт вчених нашої академії. У даній роботі проведено аналіз термінологічної системи микроструктур проміжного перетворення.

Ключові слова: микроструктура; голчастий ферит; бейніт; високоміцні низьколеговані сталі; проміжне перетворення

ANALYSIS OF CLASSIFICATION OF STEEL PRODUCTS INTERMEDIATE TRANSFORMATION

RAZUMOVA O. V.¹ *Ph. D., Prof.*,
BARIBIN D. A.² *Grad. st.*,
BOLSHAKOV V. I.³ *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

¹ department of Basics of Architecture, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, ORCID ID: 0000-0001-8342-2636

² department of Materials Science and Treatment of Materials, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, +38 (0562) 47-59-51, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-2530-7968

³ department of Materials Science and Treatment of Materials, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, +38 (0562) 47-59-51, e-mail: lab120@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-2624-4666

Annotation. In recent years the study of features of bainite structure is given a lot of attention. **Goal.** Thus the aim of the present study was to analyze the terminology microstructures intermediate conversion system, which is one of the most pressing problems in metallurgy. Today bainitic structures attract the attention of scientists. In many countries there were fundamental works. **Results.** The analysis showed that in the works of Bhadeshia Bolshakova used more modern terminology. **Conclusions.** Bainitic definitely promising for high-strength steels and later use in building construction and mechanical engineering. Especially if rolled steel is subjected to rolling heat, which is devoted to a series of works of scientists of our academy. In this paper, an analysis of terminological microstructures intermediate conversion system.

Keywords: microstructure; acicular ferrite; bainite; HSLA steel; an intermediate conversion

Введение

В последние годы изучению особенностей бейнитной структуры уделяется большое внимание. Была показана сложная природа бейнитного превращения. Определено, что с увеличением углерода и характера легирования бейнит может менять свою морфологию. Достаточно подробно были изучены две основные формы бейнита — верхний и нижний бейнит.

Бейнитные структуры вызывают значительный интерес, поскольку они обладают рядом привлекательных свойств. Одно время делались попытки сравнения бейнита с отпущенным мартенситом, однако выявлено, что такое сравнение не имеет оснований. Были сделаны попытки объяснить природу прочности и вязкости бейнита. Определено, что бейнит в превращении при 500 °C имеет пониженные ударные свойства.

Несмотря на трудности при проведении экспериментов, целью которых было выяснение природы и механизма формирования бейнитной структуры, успешно разработаны различные типы промышленных бейнитных сталей, а при эмпирическом изучении механизма их упрочнения был достигнут значительный прогресс.

Разработка низкоуглеродистых бейнитных сталей, содержащих 0,10—0,15% углерода, была попыткой производить стали с пределом текучести 450—900 МПа; свариваемые, с достаточно высоким сопротивлением хрупкому разрушению. Предполагали такие свойства получить после горячей прокатки или в нормализованном состоянии без отпуска. Разработчики пытались получить комплекс механических свойств более высокий, чем можно получить для сталей сферритно-перлитной структурой и в то же время избежать закалки и отпуска.

Позднее определено, что после улучшения эти бейнитные стали приобретают значительно более благоприятный комплекс механических свойств. Были сделаны попытки производства этих сталей методами контролируемой прокатки и термической обработки.[15]

Цель

Таким образом целью настоящей работы был анализ терминологической системы микроструктур промежуточного превращения, что является одной из наиболее актуальных проблем в металловедении.

Анализ

Сегодня бейнитные структуры привлекают внимание ученых. Во многих странах появились фундаментальные труды:

В классификационной системе продуктов промежуточного превращения разработанной Мейлом[14,1] было предложено разделить только на верхний и нижний бейниты. В этой системе не предусмотрен отдельный термин для структуры без выделения карбидов железа, что можно наблюдать и в игольчатом феррите.

Энтин в своих трудах[4] писал, что различие в структуре продуктов превращения промежуточной области может определяться расположением выделившихся из альфа фазы карбидов. Так альфа фаза практически не содержит углерода при образовании ее при высоких температурах, так как углерод отводится в остаточный аустенит. Эта структура грубо дифференцирована и не содержит карбидов.

В настоящее время терминологическая система микроструктур промежуточного превращения окончательно еще не сформировалась и нуждается в дальнейшем совершенствовании [1]. Так же в некоторых работах[21] возникла путаница в классификации.

У Бхадешия внутризеренное зарождение расценивается как главная характеристика игольчатого феррита. Игольчатые ферритные кристаллы в промежуточной структуре не параллельны и не объединены в пласти, вследствие зарождения бейнитного феррита на различных выделениях[3]. Так же говорится, что зерна выпуклые и хаотично расположены.

В классификации Брамфитта и Спира [11] игольчатый феррит по морфологии идентичен принятому нами, а именно, пакетная структура, состоящая из бескарбидных ферритных реек. Согласно этой системе, реечный (верхний) бейнит может иметь еще три морфологии. В частности, игольчатый феррит с выделениями прослоек остаточного аустенита между рейками классифицируется как $B_{\alpha 2}$.

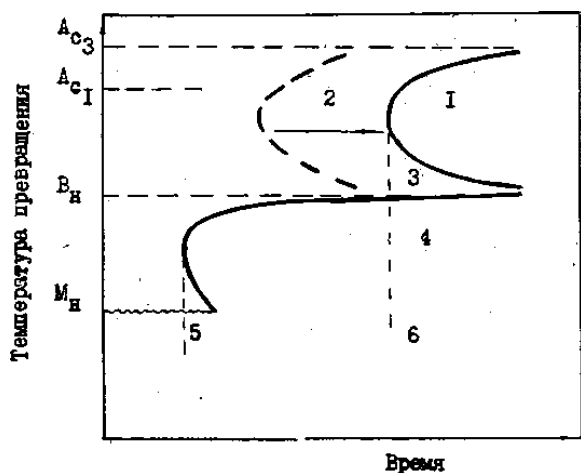


Рис. 1. Влияние бора на скорость изотермического превращения аустенита низкоуглеродистой стали, содержащей 0,5% Mo: 1— C-образная кривая появления феррита; 2— влияние бора; 3— область метастабильного аустенита; 4— тупой нос C-образной кривой бейнитного превращения; 5— малая прокаливаемость на мартенсит; 6— высокая прокаливаемость на бейнит.

Чтобы получить бейнитную структуру мы изучили научные работы Британии [17,18,19,20]. А именно, на рисунке 1 показано как сложную проблему, связанную с разделением по температурной шкале области ферритного и бейнитного превращения, удалось решить, легируя сталь молибденом и бором. На кинетику гамма — альфа превращения может существенно влиять легирование, в частности легирование комплексом молибден — бор, что задерживает образование полигонального феррита, который зарождается на границах исходного аустенитного зерна, но мало влияет на скорость бейнитного превращения.

Именно в связи с этой трудностью бейнитные стали долго не имели практического применения. [15]

Так же в наших работах показано, что игольчатый феррит может образоваться в результате сдвигового превращения, так как возможно получение структуры, где значительное количество соседних реек игольчатого феррита будет находиться в двойниковой ориентации [2].

Анализ показал, что в работах Бхадешия и Большакова применяется более современная терминология.

Отличие в характеристике игольчатого феррита состоит в том, что в работах Бхадешия главной характеристикой

игольчатого феррита расценивается внутрезерновое зарождение [3]. То есть игольчатый феррит может рассматриваться как внутрезерненный бейнит, зарождающийся на определенных включениях/выделениях, при этом превращение является незавершенным.

В наших работах [1,2] пользуемся такой терминологией: игольчатым ферритом следует называть пакетную структуру, состоящую из реек бейнитного феррита, при практически полном отсутствии цементных выделений как внутри реек, так и по их границам.

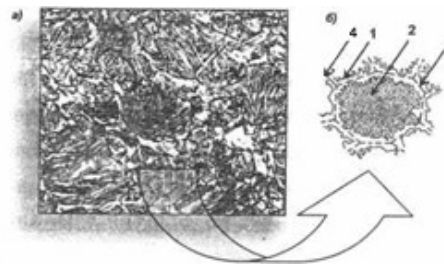


Рис. 2. (а) Микрофотография и схематическое изображение отдельно участка, (б) микроструктуры стали 10Г2ФБ после закалки в воду.

Бейнитные структуры обладают сложной иерархией:

1. Бейнитовые зерна аустенита
2. Пакет реек игольчатого феррита
3. Рейки игольчатого феррита
4. Блоки на которые делятся рейки.

За счет встречи со сложной иерархией зерна трещина затухает и не будет развиваться, так как трещина будет вязнуть на границах зерна.

Именно эта структура и обеспечивает одновременное повышение прочности и вязкости стали.

Выводы

Одновременное повышение прочности и вязкости стали обеспечивается при ее обработке, что приводит к мелкому зерну и сложной иерархии структуры.

Бейнитные структуры безусловно перспективны для получения сталей повышенной прочности и последующего применения в строительных конструкциях, машиностроении. Особенно если после прокатки стали она подвергается прокатному нагреву, чему и посвящен цикл работ ученых нашей академии.

В данной работе проведен анализ терминологической системы микроструктур промежуточного превращения.

Невзирая на то, что классификационные системы в некоторых работах приводят к отсутствию единой терминологии, касающейся продуктов распада аустенита, в наших работах мы пользуемся классической терминологией Энтина. Так же принимаем позицию, что игольчатым ферритом следует называть пакетную структуру, состоящую из реек бейнитного феррита, при практически полном отсутствии цементных выделений как внутри реек, так и по их границам.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Большаков В. И. Игольчатый феррит строительных сталей: монография / В. И. Большаков, В. И. Куксенко. - Днепропетровск : ПГАСА, 2012. - 134 с.

2. Влияние термической обработки на образование игольчатого феррита и свойств низкоуглеродистых микролегированных сталей 10Г2ФБ и 09Г2С / В. И. Большаков, Д. В. Лаухин, Г. Д. Сухомлин, В. И. Куksenko // *Металловедение и термическая обработка металлов*. - Москва, 2004. - № 12. - С. 29-33.
3. Bhadeshia H.K.D.H. *Bainite in steels*. 2nd edition. London: Maney publishing, 2001. - 448 с.
4. Энтин Р.И. Превращения аустенита в стали. Москва: Metallurgizdat, 1960. - 252 с.
5. DeArdo A. J. *Fundamental Metallurgy of Niobium in Steel // Niobium. Science & Technology / Proceedings of the International Symposium Niobium 2001*. Orlando, Florida, USA. December 2-5, 2001. TMS. (Niobium 2001 Lim.). PP. 427500.
6. Babu S.S., Bhadeshia H.K.D.H. Stress and the acicular ferrite transformation // *Mater. Sci. Eng.* 1992. Vol. A156, № 1. P. 1–9.
7. Bhadeshia H.K.D.H. *Bainite in Steels*. Ldn: Inst. Mater. Cambridge, 1992. 245 p.
8. Takamura J., Mizoguchi S. Roles of Oxides in Steels Performance // *Metallurgy of Oxides in Steels // Proceedings of the 6th Intern. Iron and Steel Congress*. Nagoya: ISIJ, 1990. P. 591–597.
9. Mazancova E., Jonšta Z., Mazanec K. Chemical metallurgy characteristics of steels and their transformation into acicular ferrite // *Acta Metall. Slov.* 2004. Vol. 10. P. 179–185.
10. Эфрон, Л. И. *Металловедение в "большой" металлургии. Трубные стали / Л. И. Эфрон*. – М.: Metallurgizdat, 2012. – 694с.
11. Большаков В.И. Влияние структуры отпущенного игольчатого феррита на формирование комплекса свойств конструкционной стали, микролегированной нитрообразующими элементами/ Большаков В.И. Сухомлин Г.Д. О.В. Узлов А.В. Пучиков Д.С. Зотов // *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2012. -С.14 – 23.
12. H.K.D.H. Bhadeshia *Bainite in Steels/The University Press: Cambridge*, 2001.- P.237.
13. DeArdo A. J. *Modern termomechanical processing of microalloyed steel // Microalloying'95*. –1995. – P. 15 – 35.
14. Mehl R. F. The physics of hardenability. Mechanism and rate of decomposition from austenite / R. F. Mehl // *Hardenability of alloy steels : symposium held during the twentieth annual convention of American society for metals*, Detroit, octovber 17-21, 1938. – USA, 1939. – P. 1-55.
15. Большаков В.И. Упрочнение строительных сталей. Днепропетровск “СІС”, 1993. – 332 с.
16. Harshad K. D. H. Bhadeshia: *Bainite in steels. Transformations, microstructure and properties*. 2. rev. ed., IOM Communications, London 2001. – P. 454.
17. "Metallurgical developments in carbon steels", Special Report 81,. The Iron and Steel Institute, London, 1963.
18. Sellars C.M., Davies G. I. (eds.): "Hot Working and Forming Processes", The Metals Society, London 1980.
19. Shiga C., Amano K., Hatomura T76 Saito Y76, Hirose K76 Choij T.: Ferrite-Fine Bainite Steel Linepipe of X70 and X80 Grades for Low Temperature Servis. In: ;*Steels for Line Pipe and Pipelint Fittings*.. Book 285, The Metals Soc, London 1981, S. 12/23.
20. Bardgett W. E., Reeve L. Mechanical properties of low-carbon, low- alloy steels containing boron — *J. Iron and Steel Inst.*, 1949, v. 163, No. 11, p. 277—294.
21. Пикеринг Ф. Б. *Физическое металловедение и разработка сталей*. М.: Металлургия, 1982. – 182с.
22. Большаков В.И. Основы формообразования стальных каркасов многэтажных и высотных зданий./ В. И. Большаков, М.М. Жербин, О.В. Разумова- Днепропетровск : ПГАСА, 2004. – 131с.

REFERENCES

1. Bol'shakov V.I. and Kuksenko V.I. *Igol'chaty ferrit stroitel'nykh staley*[Acicular ferrite of construction steels]. Dnepropetrovsk: PGASA, 2012, 134 p. (in Russian).
2. Bol'shakov V.I., Laukhin D.V., Sukhomlin G.D. and Kuksenko V.I. *Vliyanie termicheskoy obrabotki na obrazovanie igol'chatogo ferrita i svoystv nizkouglerodistykh mikrolegirovannykh staley 10G2FB i 09G2S*[Effect of heat treatment on the formation of acicular ferrite and properties of low carbon microalloyed steelsas 10G2FBand 09G2S]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*[Metallurgy and heat treatment of metals]. Moskow, 2004, no. 12, 29-33 pp. (in Russian).
3. Bhadeshia H.K.D.H. *Bainite in steels*. 2nd edition. London: Maney publishing, 2001, - 448 с.
4. Entin R.I. Transformation of austenite in the steel. Moscow: Metallurgy, 1960, - 252 p.
5. DeArdo A. J. *Fundamental Metallurgy of Niobium in Steel // Niobium. Science & Technology / Proceedings of the International Symposium Niobium 2001*. Orlando, Florida, USA. December 2-5, 2001. TMS. (Niobium 2001 Lim.). PP. 427500.
6. Babu S.S., Bhadeshia H.K.D.H. Stress and the acicular ferrite transformation // *Mater. Sci. Eng.* 1992. Vol. A156, № 1. P. 1–9.
7. Bhadeshia H.K.D.H. *Bainite in Steels*. Ldn: Inst. Mater. Cambridge, 1992. 245 p.
8. Takamura J., Mizoguchi S. Roles of Oxides in Steels Performance // *Metallurgy of Oxides in Steels // Proceedings of the 6th Intern. Iron and SteelCongress*. Nagoya: ISIJ, 1990. P. 591–597.
9. Mazancova E., Jonšta Z., Mazanec K. Chemical metallurgy characteristics of steels and their transformation into acicular ferrite // *Acta Metall. Slov.*2004. Vol. 10. P. 179–185.
10. Efron, L. I. *Metallography in the "big" metallurgy. Pipe steel / L. I. Efron*. – М. : Metallurgizdat, 2012. – 694с.
11. Bolshakov V. I. the Influence of structure of acicular ferrite is released on formation of the complex properties of structural steel microalloyed with microabrasion elements/ V. I. bol'shakov, G. D. Sukhomlin O. V. Nodes A. V. Zotov, D. S. Puzikov// *Metallography and heat treatment of metals*, 2012. -P. 14 – 23.
12. H.K.D.H. Bhadeshia *Bainite in Steels/The University Press: Cambridge*, 2001.- P.237.
13. DeArdo A. J. *Modern termomechanical processing of microalloyed steel // Microalloying'95*. –1995. – P. 15 – 35.
14. Mehl R. F. The physics of hardenability. Mechanism and rate of decomposition from austenite / R. F. Mehl // *Hardenability of alloy steels : symposium held during the twentieth annual convention of American society for metals*, Detroit, octovber 17-21, 1938. – USA, 1939. – P. 1-55.
15. Bolshakov V. I. the Hardening of structural steel. Dnepropetrovsk “СІСН”, 1993. – 332 p.
16. Harshad K. D. H. Bhadeshia: *Bainite in steels. Transformations, microstructure and properties*. 2. rev. ed., IOM Communications, London 2001. – P. 454.
17. "Metallurgical developments in carbon steels", Special Report 81,. The Iron and Steel Institute, London, 1963.

18. Sellars C.M., Davies G. I. (eds.): "Hot Working and Forming Processes", The Metals Society, London 1980.
19. Shiga C., Amano K., Hatomura T, Saito Y, Hirose K, Choi T.: Ferrite-Fine Bainite Steel Linepipe of X70 and X80 Grades for Low Temperature Servis. In: ;Steels for Line Pipe and Pipelint Fittings,. Book 285, The Metals Soc, London 1981, S. 12/23.
20. Bardgett W. E., Reeve L. Mechanical properties of low-carbon, low- alloy steels containing boron — J. Iron and Steel Inst., 1949, v. 163, No. 11, p. 277—294.
21. Pickering F.B. Physical metallurgy and development of steels. М.: Metallurgy, 1982. – 182 p.
22. Bolshakov V.I. Basics of shaping steel-framed multi-storey and high-rise buildings. / V.I. Bolshakov, M.M. Zherbin, O.V. Razumova - Dnepropetrovsk: PGASA, 2004. – 131p.

Статья рекомендована к публикации д-ром техн. наук, В.И. Большаковым и д-ром техн. наук, Д.В. Лаухиным (Украина)