

TECHNICAL SCIENCES

ALLOYING FEATURES OF HIGH-STRENGTH COLD-RESISTANT STEELS

Adischev P.

*postgraduate student, Nosov Magnitogorsk State Technical University,
Magnitogorsk, Russia.*

ОСОБЕННОСТИ ЛЕГИРОВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ХЛАДОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ

Адишев П.

аспирант, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

<https://doi.org/10.5281/zenodo.10009719>

Abstract

Cold resistance is one of the most important properties of materials that determine the reliability and durability of structures and equipment in low temperature conditions. The article presents the results of an analysis of the influence of chemical composition on the cold resistance of steels. These data can serve as a scientific basis for the development of advanced technologies for the production of promising materials for extreme operating conditions.

Аннотация

Хладостойкость является одним из важнейших свойств материалов, определяющих надежность и долговечность эксплуатации конструкций и оборудования в условиях низких температур. В статье приведены результаты анализа влияния химического состава на хладостойкость сталей. Указанные данные могут служить научным заделом при разработке прогрессивных технологий изготовления перспективных материалов для экстремальных условий эксплуатации.

Keywords: cold resistance, steel, chemical composition, alloying elements, mechanical properties.

Ключевые слова: хладостойкость, сталь, химический состав, легирующие элементы, механические свойства

Введение

Одной из актуальных проблем современного материаловедения является создание высокопрочных хладостойких сталей с требуемым комплексом эксплуатационных характеристик. Под хладостойкостью понимают способность сталей противостоять хрупкому разрушению при низких температурах. Повышение хладостойкости стального проката является важнейшим фактором повышения надежности конструкций и сооружений. Согласно современным металловедческим подходам ключевыми факторами, определяющими хладостойкость стали, является химический состав, а также режимы термической, термоцикловой и термомеханической обработок [1]. Целью работы является анализ влияния химического состава на хладостойкость сталей.

Результаты

Повышение содержания углерода снижает показатели хладостойкости стали [2]. Согласно данным работы [3] увеличение концентрации углерода на каждые 0,1% повышает порог хладноломкости стали на 20 °С. Это обусловлено образованием твердых растворов внедрения, снижением подвижности дислокаций и, как следствие, увеличением склонности материала к хрупкому разрушению. При разработке хладостойких сталей содержание углерода может быть снижено до 0,12%. В таком

случае упрочнение материала обеспечивается измельчением зерна, реализацией процессов дисперсионного упрочнения, а также получением в структуре стали низкоуглеродистого бейнита и мартенсита [4]. При содержании углерода в количестве (0,18 ÷ 0,20)%, удовлетворительное сочетание прочности и ударной вязкости стали достигается за счет формирования однородной структуры и увеличения количества мартенсита [5]. При повышении количества углерода до 0,25% и более в микроструктуре могут присутствовать высокотемпературные и низкотемпературные пластинчатые составляющие мартенсита, приводящие к резкому ухудшению показателей вязкости [6].

Негативное влияние углерода на хладостойкость стали может быть компенсировано добавлением марганца. Согласно работе [2] каждые 0,1% марганца снижают температуру вязко-хрупкого перехода на 5,5 °С. Вместе с тем при содержании марганца более 1,0% хладостойкость стали начинает снижаться. Согласно данным работы [5] для обеспечения удовлетворительного уровня ударной вязкости содержание марганца в сталях не должно превышать 2,0%. Влияние рассматриваемого элемента на показатели хладостойкости в значительной степени зависит от содержания углерода в стали: с увеличением концентрации марганца содержание углерода необходимо снизить. Следует

отметить, что марганец способен усиливать охрупчивающее действие фосфора, уменьшая его растворимость в объеме ферритного зерна. Кроме того, марганец повышает склонность стали к отпускной хрупкости.

При содержании кремния в количестве до 0,30% прочностные характеристики стали увеличиваются без существенного ухудшения хладостойкости. При концентрации 0,6% и выше показатели вязкости резко снижаются. Это обусловлено тем, что кремний вызывает значительное искажение и увеличивает сопротивление кристаллической решетки α -Fe движению дислокаций, препятствует релаксации высоких упругих микронапряжений.

Хром в количестве до 0,7% несущественно влияет на свойства и не изменяет соотношение структурных составляющих в стали. При более высокой концентрации хрома появляются продукты промежуточного превращения, что сопровождается снижением пластичности, вязкости и, как следствие, хладостойкости материала.

Легирование никелем обеспечивает повышение сопротивления стали хрупкому разрушению. Это обусловлено ослаблением углеродно-азотной блокировки и увеличением подвижности дислокаций, а также уменьшением внутренних напряжений в материале. В случае закалки с высоким отпуском повышение содержания никеля с 0,1 до 3,0% монотонно понижает критическую температуру хрупкости с интенсивностью ($20 \div 30$) °C на 1,0% Ni.

При легировании молибденом, измельчаются структурные составляющие и устраняется отпускную хрупкость материала, что способствует повышению хладостойкости стали [7-9].

Бор оказывает негативное влияние на температуру вязко-хрупкого перехода горячекатаной, нормализованной и отожженной сталей. Однако в случае закалки с последующим отпуском наличие бора обеспечивает повышение вязкости без снижения прочности материала [2].

Авторами работ [10-14] установлено, что ванадий и ниобий образуют однотипные карбиды и нитриды. Это способствует формированию мелкого зерна и достижению высоких показателей хладостойкости за счет подавления процессов рекристаллизации аустенита. Однако у ниобия карбидообразующая способность выше, и карбонитриды ниобия растворяются в аустените в гораздо большем количестве и при более низких температурах, чем карбиды ванадия. Согласно работе [15] ниобий эффективен уже при концентрации 0,02%. В случае применения ванадия концентрация легирующего элемента должна быть в 2–3 раза выше. Следует отметить, что ниобий способствует созданию дисперсной структуры и достижению высокой прочности и хладостойкости стали на всех стадиях контролируемой прокатки [16-19]. В процессе нагрева под прокатку частицы карбонитрида ниобия замедляют рост зерна аустенита. При черновой прокатке растворенный ниобий хоть и замедляет рекристаллизацию, но позволяет ей протекать полностью. Это способствует измельчению и препятствует собирательной рекристаллизации зерна аустенита во

время междеформационных пауз [14, 20, 21]. В чистовой стадии прокатки вследствие выделения карбонитридов ниобия наблюдается интенсивное замедление процесса рекристаллизации аустенита, зарождение α -фазы и уменьшение размера зерен [20-23].

Азот неблагоприятно сказывается на ударной вязкости стали и снижает сопротивление материала хрупкому разрушению. Это обусловлено способностью рассматриваемого элемента к закреплению дислокаций [24, 25].

Алюминий, связывая азот в нитриды, подавляет его негативное воздействие на свойства стали. Вместе с тем увеличение концентрации алюминия выше уровня 0,05% приводит к ухудшению вязкости стали при отрицательных температурах [26].

Одним из широко известных способов достижения максимально высоких показателей хладостойкости является повышение степени чистоты стали по примесям (сера и фосфор) и неметаллическим включениям. Фосфор обладает высокой растворимостью и низкой диффузией при температурах термической обработки. Это приводит к сегрегации атомов по границам зерен аустенита и существенно снижает вязкость стали. Согласно данным работы [27] добавление в сталь более 0,1% масс. фосфора может способствовать хрупкому разрушению материала.

Кроме того, крайне отрицательное влияние на хладостойкость стали оказывают растворенные газы, прежде всего кислород и водород. Сегрегируя на границах, они снижают прочность связи между зёрнами и, как следствие, вызывают низкотемпературное разрушение стали [28].

Результаты

На основе обзора литературных данных выполнен анализ влияния химического состава на хладостойкость сталей. Указанные данные могут служить научным заделом при разработке прогрессивных технологий изготовления перспективных материалов для экстремальных условий эксплуатации.

Работа выполнена под научным руководством доктора технических наук, директора инженерингового центра научно-исследовательского сектора ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» Полецкова П.П.

Работа выполняется в ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого с участием высшего учебного заведения (Соглашение № 075-11-2021-063 от 25.06.2021 г.).

Список литературы:

1. Константинов В.М., Галимский А.И., Хина Б.Б. Анализ путей повышения хладостойкости ряда углеродистых и низколегированных конструкционных сталей // Материаловедение и металлургия в металлургии и машиностроении. – 2017. – С 177–185

2. Kah P, Layus P., Martikainen J. Influence of alloying elements on the low-temperature properties of steel // Conference: Proceedings of the twenty-fifth international offshore and polar engineering (ISOPE), 2015, № 7
3. Солнцев Ю.П. Пряхин Е.И. Материаловедение // Учебник для вузов. СПб.: Химиздат, 2007. 784 с.
4. Ниобийсодержащие низколегированные стали / Хайстеркамп Ф., Хулка К., Матросов Ю.И. и др. // М.: «СП Интермет Инжиниринг», 1999. 94 с.
5. Зикеев В.Н. Металловедение и термическая обработка металлов 1979, № 4, С. 5-8
6. Березин С.К. Формирование речного мартенсита и механических свойств низкоуглеродистых сталей, легированных сильными карбидообразующими элементами. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Пермь, 2019. 173 с.
7. Разработка принципиальной технологической схемы производства нано-структурированного высокопрочного листового проката / Чукин М.В., Салганик В.М., Полецков П.П. и др. // Естественные и технические науки, 2014. № 9-10 (77). С. 328-334
8. Болховитинов Н.Ф. Металловедение и термическая обработка // Учебник. М.: Машиностроение, 1965. 503 с.
9. Солнцев Ю.П. Хладостойкие стали и сплавы // Учебник для вузов. СПб.: ХИМИЗДАТ, 2005. 480 с.
10. Одесский П.Д., Смирнов Л.А. О применении ванадия и ниобия в микролегированных сталях для металлических конструкций // Сталь, 2005. № 6. С. 116–123
11. Dynamic recrystallization behavior covering a wide austenite grain size range in Nb and Nb–Ti microalloyed steels / Fernandez A.I., Uranga P., Lopez B. et al. // Materials science and engineering: A, 2003. V. 361. Pp. 367–376
12. Сошина Т.В., Зисман А.А., Хлусова Е.И. Влияние микролегирования ниобием на рекристаллизационные процессы в аустените низкоуглеродистых легированных сталей // Вопросы материаловедения, 2013. № 1(73). С. 31–36
13. Горбачев И.И., Пасынков А.Ю., Попов В.В. Моделирование размера аустенитного зерна микролегированных сталей на основе моделирования эволюции карбонитридных выделений // Физика металлов и материаловедение, 2015. Т. 116. № 11. С. 1184–1191
14. Горбачев И.И., Пасынков А.Ю., Попов В.В. Моделирование эволюции карбонитридных частиц сложного состава при горячей деформации низколегированной стали // Физика металлов и материаловедение. 2018. Т.119. С. 817–826
15. Коджаспиров Г.Е., Хлусова Е.И., Орлов В.В. Физическое моделирование процессов термомеханической обработки и управление структурой конструкционной стали // Вопросы материаловедения, 2009. № 3(59). С. 65–84
16. Ниобийсодержащие низколегированные стали / Хайстеркамп Ф., Хулка К., Матросов Ю. И. и др. // М.: «СП Интермет Инжиниринг», 1999. 94 с.
17. Хулка К., Петерс П., Хайстеркамп Ф. Тенденции развития сталей для труб большого диаметра // Сталь. 1997 №10. С. 62-67
18. Hillenbrand H., Gras M., Kalwa C. Development and production of high strength pipeline steels // Proceedings of the international symposium niobium, 2001. Pp. 543-569
19. Джитендра П. Ниобий — ключевой элемент при термомеханической прокатке. // Сб. докладов, М.: Металлургиздат, 2004. 120 с.
20. Kwon O., DeArdo A. J. Interactions between recrystallization and precipitation in hot-deformed microalloyed steels // Acta metallurgica, № 39, 1991, Pp. 529-538
21. Cuddy L. J. The effect of microalloy concentration on the recrystallization of austenite during hot deformation // Thermomechanical processing of microalloyed austenite, 1984. Pp. 129-140
22. Palmiere, E.J., Garcia C.I., DeArdo A.J. The influence of niobium supersaturation in austenite on the static recrystallization behavior of low carbon microalloyed steels // Metallurgical and materials transactions A., № 27, 1996, Pp 951-960
23. DeArdo A.J. Ferrite formation from thermomechanically processed austenite in hsla steels // HSLA steels, port kembla, south coast printers, 1985. Pp. 70-79.
24. Овчинников В. В. Технология термической обработки: учебник / В.В. Овчинников. — М.: ИД «Форум»: ИНФРА-М, 2019. 320 с.
25. Mohrbacher H. Mo and Nb alloying in plate steels for high-performance applications // Paper presented at the 2011 International symposium on the recent development in plate steels, 2011. Pp. 169-178
26. Патент РФ № 2 496 906 Низкоуглеродистая сталь и прокат из низкоуглеродистой стали повышенной стойкости к водородному растрескиванию и повышенной хладостойкости / Ламухин А.М., Эфрон Л.И., Кудашов Д.В., Москковой К.А. // опубл. 10.03.2013 Бюл. № 7
27. V. Raghavan, C-Fe-P (Carbon - Iron - Phosphorus) // Journal of Phase Equilibria and Diffusion, № 25, 2004, pp. 541-542. Мескин В.С. Основы легирования стали.// М.: Металлургия, 1964. 684 с.
28. Горынин И.В. Конструкционные стали для судостроения // Судостроение..2009, № 5. С. 14–19