

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ПРИ РАБОТЕ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКОГО ХОЛОДА

В. М. Константинов, Э. П. Пучков, А. И. Галимский
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Эксплуатационные свойства деталей изготовленных из конструкционных сталей в первую очередь зависят от механических свойств, требуемых нормативной документацией. Однако, одна и та же деталь, работающая в местах с различными климатическими условиями, будет иметь существенное различие в своем ресурсе, либо вообще будет непригодна для работы в этих условиях. Одним из наиболее неблагоприятных регионов для работы деталей является крайний север. Важнейшим критерием работы детали при отрицательных температурах является хладостойкость.

Ключевые слова: конструкционные стали, механические свойства, ударная вязкость, хладостойкость

FEATURES OF USE AND PROPERTIES OF STRUCTURAL STEELS AT WORK IN COLD CLIMATE CATCHES

V. M. Konstantinov, E. P. Puchkov, A. I. Halimski
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Operational properties of parts made of structural steels are primarily dependent on the mechanical properties required by the standard documentation. However, one and the same item, working in areas with different climatic conditions, will have a significant difference in your resource, if any, will be unsuitable for use in these conditions. One of the most disadvantaged regions for parts is far north. The most important criterion for the items at low temperatures is cold resistance.

Keywords: constructional steel, mechanical properties, toughness, cold resistance

Введение. Эксплуатационные свойства деталей изготовленных из конструкционных сталей в первую очередь зависят от механических свойств, требуемых нормативной документацией. Однако, одна и та же деталь, работающая в местах с различными климатическими условиями, будет иметь существенное различие в своем ресурсе, либо вообще будет непригодна для работы в этих условиях. Одним из наиболее неблагоприятных регионов для работы деталей является крайний север. Важнейшим критерием работы детали при отрицательных температурах является хладостойкость.

Под хладостойкостью традиционно понимают способность сталей противостоять хрупкому разрушению при низких температурах. Уменьшение хладноломкости, т. е. падение

пластичности и ударной вязкости, является основной проблемой при изыскании сталей, работающих в условиях низких температур.

Цель. Целью представленной работы является анализ и обсуждение авторского опыта технически и экономически доступных путей повышения хладостойкости низколегированных конструкционных сталей.

Основная часть. С понижением климатической температуры эксплуатации возрастает предел прочности и предел текучести стали, повышается усталостная прочность. Однако повышение характеристик прочности стали сопровождается обычно падением ее пластичности (δ , ψ), а при критической температуре хрупкости начинается резкое падение ударной вязкости. Хрупкость сталей при комнатной и повышенной температурах свя-

зана в основном с интеркристаллитным разрушением (например, при отпускной хрупкости). При отрицательных температурах, в большинстве случаев, происходит хрупкое транскристаллитное разрушение. Это связано с тем, что с понижением температуры прочность связи между кристаллитами на границе снижается медленнее, чем прочность межатомных связей внутри зерна [1]. Поэтому одним из путей повышения хладостойкости сталей является измельчение зерна при помощи термической (ТО) или термомеханической обработки (ТМО), а также использование составов сталей, придающих им свойство наследственной мелкозернистости (например, раскисление алюминием и марганцем, которые измельчают зерно стали) [2].

Однако следует иметь в виду, что местами зарождения трещин являются препятствия – дефекты структуры, такие как неметаллические включения, поры и др., у которых скапливаются дислокации при их скольжении в теле зерна. При пониженных температурах роль таких препятствий играют сегрегированные на границах зерен атомы примеси – в первую очередь серы и фосфора. Поэтому первым средством снижения порога хладноломкости является уменьшение содержания S и P в стали. При этом, как известно, углерод «вытесняет» фосфор из твердого раствора (феррита), и поэтому с увеличением содержания углерода в стали следует более строго контролировать содержание вредных примесей, в первую очередь фосфора. С уменьшением размера зерна уменьшается и концентрация сегрегированных фосфора и серы на единицу площади границ (при постоянной общей концентрации P и S), что также способствует повышению хладостойкости сталей. Также вредной примесью является азот, который, диффундируя к границам зерен, образует на них включения нитридов [4].

Кроме того, резко отрицательное влияние на хладостойкость оказывают и другие растворенные газы, прежде всего кислород и водород, которые, сегрегируя на границах зерен, снижают прочность связи между последними, тем самым приводя к низкотемпературному разрушению элемент межкристаллитной хрупкости. Как правило, конструкционные стали, работающие в условиях климатического холода, соединяют путем сварки, и при этом в состав сварочной ванны может попасть водород (из водяных паров, содержащихся в воздухе, из компонентов электродной обмазки). Поскольку водород обла-

дает весьма высоким коэффициентом диффузии в железе, даже за короткое время остывания сварных конструкций он может продиффундировать к границам зерен. Поэтому следует контролировать состав атмосферы при сварке [4].

Для сталей, работающих при низких температурах, химический состав и режимы термической обработки следует выбирать таким образом, чтобы сталь имела по возможности мелкое зерно, а предел текучести при одинаковом временном сопротивлении разрушению должен по возможности меньше повышаться с понижением температуры. Кроме того, такие стали должны обладать достаточной прокаливаемостью при пониженной чувствительности к отпускной хрупкости [3]. В качестве конструкционных хладостойких сталей для условий климатического холода используют низкоуглеродистые легированные стали, имеющие феррито-перлитную структуру. Пластинки цементита в составе перлита обладают низкой пластичностью, и при низких температурах границы «феррит-цементит» в перлите играют роль препятствий, у которых скапливаются дислокации при их скольжении, и служат местами зарождения трещин. Поэтому в хладостойких сталях следует уменьшать содержание перлита, что достигается обычно снижением концентрации углерода до допустимого минимума, а также легированием [3, 4].

При выборе легирующих элементов решающим оказывается их влияние на положение критической температуры хрупкости. Влияние легирующих элементов на склонность стали к хрупкому разрушению можно сформулировать следующим образом: элементы, способствующие укрупнению зерна, а так же слабо изменяющие его величину, повышают критическую температуру хрупкости и тем интенсивнее, чем сильнее повышается предел текучести стали. Элементы, способствующие получению мелкого зерна, до некоторой концентрации понижают критическую температуру хрупкости. По достижении предельного измельчения зерна их влияние становится обратным за счет повышения сопротивления феррита мелким пластическим деформациям. В литературе отмечено, что повышение концентрации углерода оказывает резко отрицательное влияние на T_{50} , что связано с повышением доли перлита, а легирование твердого раствора элементами замещения мало влияет на T_{50} : роль этого фактора изменяется от слабо отрицательного до слабо положительного. Функция легирования твердого раствора в

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ПРИ РАБОТЕ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКОГО ХОЛОДА

хладостойких сталях (например, стали 19Г, 14ХГС), состоит в измельчении зерна и увеличении прочности межатомных связей в феррите, т. е. повышении работы распространения хрупкой трещины [5].

Так, например, марганец, который является компонентом низколегированных сталей для газопроводных труб большого диаметра, измельчает зерно феррита и повышает (до определенной концентрации Mn) его пластичность, что приводит к понижению порога хладноломкости. Однако при переходе от полиэдрического феррита к игольчатому (при содержании Mn в чистом железе 3,4 % и более) температура хрупкого разрушения повышается. Для сталей с 0,21 % C при содержании Mn более 1,4 % свойства ухудшаются из-за выделения прослоек цементита по границам зерен, а также появление участков грубого бейнита в продуктах распада аустенита, что ухудшает свойства сталей. Микролегирование ниобием в сочетании с контролируемой прокаткой приводит к сильному измельчению зерна; это позволяет повысить содержание марганца до 2,8 %, что в комплексе понижает порог хладноломкости [8].

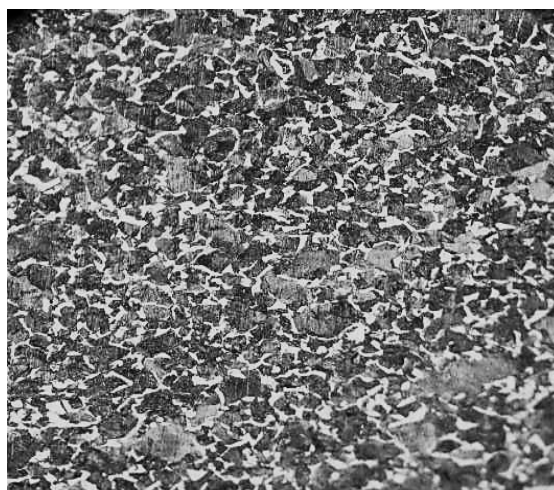
Существенное положительное влияние на хладостойкость оказывает дисперсионное или дисперсное упрочнение частицами фаз, выделяющихся из твердого раствора в объеме зерен в процессе предварительной ТО или ТМО. Причина состоит в том, что при наличии когерентных включений в матрице (дисперсионное упрочнение) дислокации при скольжении пересекают («перерезают»)

включения, преодолевая силы упругого взаимодействия на границах «матрица-включение», что повышает как предел текучести, так и ударную вязкость. При наличии некогерентных частиц в матрице (дисперсное упрочнение) работает механизм Орована – образование дислокационных петель при огибании препятствий скользящими дислокациями, что также повышает работу разрушения. Поэтому используют легирование элементами, образующими с компонентами стали упрочняющие фазы – карбиды и карбонитриды (V, Nb, Ti, Mo, Cr), что также обеспечивает измельчение зерна. Кроме того, молибден, обладая химическим сродством к фосфору, понижает его химический потенциал в твердом растворе, что (согласно теории диффузии) снижает диффузионную подвижность атомов фосфора и тем самым затрудняет его сегрегацию на границах зерен [7].

При выборе режимов термической обработки труб необходимо учитывать следующее. Температура режима прокатки, степень деформации и скорость охлаждения после деформации неодинаковы как в объеме одной заготовки, так и для различных заготовок. Поэтому в горячедеформированных полупрокатках наблюдается разнотекстурность. Объемы с зерном разной величины могут по-разному вести себя при последующей термической обработке. В результате нормализации происходят следующие структурные изменения. Происходит выравнивание размера зерна по величине, устраняется разнотекстурность (рисунок 1).



а)



б)

Рисунок 1 – Влияние нормализации (900 °С) на структуру стали 32Г2А: а) структура после прокатки x200; б) структура после нормализации x200

Существенным является диспергирование структуры. Наряду с общим уменьшением размера зерна, повышается дисперсность эвтектоида (размер эвтектоидных колоний и размеры карбидных включений), а так же уменьшается количество зерен избыточного феррита за счет образования квазиэвтектоида. Указанные структурные изменения способствуют повышению прочности при сохранении ударной вязкости. С целью снятия внутренних напряжений, снижения твердости и улучшения пластических свойств изделия после нормализации подвергают регламентированному высокому отпуску. Если сталь склонна к отпускной хрупкости II рода, то охлаждение после отпуска необходимо вести ускоренно (вода, спрейерное охлаждение, водо-воздушная смесь) [6, 7].

Заключение. Таким образом, при выборе составов стали для работы в условиях климатического холода необходимо учитывать, что механические свойства и хладноломкость будут определяться следующими факторами: 1) измельчение зерна; 2) твердорастворное упрочнение феррита легирующими элементами и примесями; 3) упрочнение частицами избыточных фаз различной степени дисперсности, образующимися при кристаллизации или в процессе термической обработки; 4) распределение легирующих элементов между твердым раствором (ферритом, аустенитом, мартенситом), карбидными фазами, металлическими соединениями, неметаллическими фазами; 5) распределение легирующих элементов между зерном и межкристаллитным слоем.

Наиболее высокие значения пластичности и ударной вязкости при низких температурах имеет сталь, подвергнутая закалке на мартенсит с последующим отпуском на сорбит, а наименьшие – в отожженном состоянии. Нормализация дает промежуточные значения.

Список литературы

1. Солнцев, Ю. П. Материаловедение [Текст] / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин. – СПб.: Химиздат, 2007. – 784 с.
2. Солнцев, Ю. П. Специальные материалы в машиностроении [Текст] / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин, В. Ю. Пирайнен. – СПб.: Химиздат, 2004. – 640 с.
3. Солнцев, Ю. П. Материалы для низких и криогенных температур [Текст]: Энциклопедический справочник / Ю. П. Солнцев, Б. С. Ермаков, О. И. Слепцов. – СПб.: Химиздат, 2008. – 770 с.

4. Филиппов, Г. А. Фундаментальные исследования природы хрупкости – основы создания высокопрочных и надежных конструкционных материалов [Текст] / Г. А. Филиппов // Сталь. – 2004. – № 8. – с. 83–89.

5. Филиппов, Г. А. Конструкционные материалы будущего [Текст] / Г. А. Филиппов, Ю. Д. Морозов, А. П. Шлямнев, Л. И. Эфрон // Сталь. – 2004. – № 8. – с. 69–78.

6. Попова, А. Е. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана [Текст]: Справочник / А. Е. Попова, А. А. Попов. – М.: Металлургия, 1991. – с. 502.

7. Контроль качества термической обработки стальных полуфабрикатов и деталей [Текст]: Справочник; под общ. ред. В.Д. Кальнера. – М.: Машиностроение, 1984. – с. 384.

8. Гуляев, А. П. Чистая сталь [Текст] / А. П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1975. – с. 184.

9. Пикеринг, Ф. Б. Физическое металловедение и разработка сталей [Текст] / Ф. Б. Пикеринг; пер. с англ. – М.: Металлургия, 1982. – 184 с.

10. Матросов, Ю. И. Сталь для магистральных газопроводов [Текст] / Ю. И. Матросов, Д. А. Литвиненко, С. А. Голованенко. – М.: Металлургия, 1989. – 288 с.

11. Powder diffraction file. Data cards. Inorganic section. Swarthmore. Pennsylvania. USA. 1948–2004.

12. Методы испытания, контроля и исследования машиностроительных материалов. Т. 1: Физические методы исследования металлов [Текст]: Справочное пособие / под ред. А.Т. Туманова. – М.: Машиностроение, 1971. – 552 с.

13. Жук, Н. П. Курс коррозии и защиты металлов [Текст] / Н. П. Жук. – М.: Металлургия, 1968.

14. Марочник сталей и сплавов [Текст] / под ред. В. Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989.

15. Константинов, В. М. Исследование влияния режимов термической обработки на структуру и механические свойства горячекатаных труб, изготовленных из стали 09Г2С [Текст] / В. М. Константинов, Э. П. Пучков, А. И. Галимский, Д. А. Семенов // Металлургия: Межведомственный сб. науч. тр. – Мн., 2014. – Вып. № 35. – С. 131–136.

Константинов Валерий Михайлович – д.т.н., заведующий кафедрой «Материаловедение в машиностроении»

Пучков Эдуард Павлович – к.т.н., доцент кафедры «Материаловедение в машиностроении»

Галимский Александр Иванович – м.т.н., аспирант кафедры «Материаловедение в машиностроении»

Белорусский национальный технический университет (БНТУ), г. Минск, Республика Беларусь