

УДК 620.179.16:621.791

В.А. Лукин, ст. науч. сотр.; С.М. Самохин, канд. техн. наук

ВЗАИМОСВЯЗЬ СКОРОСТИ УЛЬТРАЗВУКА С МЕХАНИЧЕСКИМИ
СВОЙСТВАМИ МЕТАЛЛА В ЗОНЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ
ПРИ СВАРКЕ СУДОКОРПУСНЫХ СТАЛЕЙ

Приведены результаты экспериментальных исследований, устанавливающих корреляционную зависимость между прочностными характеристиками сталей 09Г2С, 10ХСНД, АК-25 и скоростью ультразвуковых колебаний в них. Показано, что, измеряя скорость ультразвука в различных участках ЗТВ сварных судокорпусных соединений, можно контролировать и оптимизировать технологические параметры процесса сварки.

Проблеме безопасности судов, надежности судовых корпусных конструкций в мировой практике судостроения уделяется достаточно большое внимание [1, 3, 4].

Проведенный в работе [8] статистический анализ данных о повреждении судовых корпусных конструкций показал, что на долю технологических дефектов, заложенных на стадии изготовления судна, приходится 25 % трещин.

Локализация этих трещин - зона сварки, причем более 70 % из них проходит по зоне термического влияния (ЗТВ) [11, 12]. Такого рода трещины значительно снижают эксплуатационную надежность и прочность судовых корпусных конструкций, так как особенность их развития и скорость распространения при низких температурах и высоких концентрациях напряжений сходна с особенностью развития хрупких трещин. Например, особенно опасны трещины у нижних концов шпангоутов в районе их перехода в скуловые кницы; они часто приводят к полному отделению шпангоута и переходят на обшивку, создавая водотечность в грузовых трюмах [14].

Для уменьшения количества трещин такого типа достаточно исключить действие одного из трех факторов, сопутствующих их образованию: растягивающих напряжений, дефектов с острыми гранями (пор, непроваров) и соответствующей микроструктуры металла, склонной к образованию трещин. Однако в процессе эксплуатации судна растягивающие напряжения возникают почти повсеместно, а локальные пластические деформации растяжений и технологические дефекты с острыми гранями - естественное следствие процесса сварки. Таким образом, объектом оптимизации является структура механи-

ческие свойства металла ЗТВ и протяженность этой зоны [9]. Поэтому по результатам замеров рассмотренных параметров можно проследивать ожидаемые механические свойства и протяженность ЗТВ реальных судокорпусных конструкций, вносить соответствующие коррективы в режимы и технологию сварки.

На практике широко используются различные способы и методы оценки механических свойств, каждый имеет свои достоинства и недостатки [2,6,7]. Вместе с тем следует отметить, что на сегодняшний день акустические методы оценки механических свойств наиболее перспективны из-за малых трудовых затрат, высокой проникающей способности, стабильности результатов измерений, высокой точности и возможности проведения на готовых изделиях без разрушения [13]. До настоящего времени причины взаимосвязи механических и акустических свойств материалов не обсуждались. Это стало возможным после накопления соответствующего опыта использования акустических методов для контроля механических свойств материалов, нахождения корреляционных и функциональных зависимостей между механическими свойствами и акустическими параметрами: скоростью распространения различных ультразвуковых волн [2,6,7], коэффициентом затухания и дисперсией [6], акустическим импедансом [2,6]. Из акустических методов для практической реализации в условиях производства предпочтителен метод измерения скорости продольно-поверхностных ультразвуковых волн [13].

Цель настоящих исследований - установление взаимосвязи скорости ультразвука и механических свойств металла участков ЗТВ для судостроительных сталей 09Г2С, 10ХСНД и АК-25. Для этого первоначально было установлено строение ЗТВ реального стыкового соединения из стали 09Г2С толщиной 10 мм, выполненного автоматической сваркой под слоем флюса, т.е. определены основные участки, их протяженность и микроструктура. Экспериментально с помощью прибора ТКП-1 на вырезанном из стыкового соединения и отполированном образце размером 130x40x7 мм была снята зависимость распределения твердости по Виккерсу от протяженности сварного соединения (рис.1). Измерения проводили с соблюдением условий [10] последовательно в точках, начиная от центра сварного шва и до зоны основного металла.

На основании этой зависимости, а также микроструктурного анализа ЗТВ, выполненного с помощью микроскопа "Reophot-21", в ЗТВ

можно выделить три основных участка: 1 - участок крупного зерна или перегрева ($1100^\circ\text{C} - T_{\text{пл}}$), 2 - участок мелкого зерна или нормализации ($T_{\text{Ac3}} - 1100^\circ\text{C}$) и 3 - участок неполной перекристаллизации ($T_{\text{Ac3}} - T_{\text{Ac1}}$), что вполне согласуется с данными, приведенными в работе [5]. Условное разбиение ЗТВ на участки показано на рис.1. Для каждого из этих участков, а также для основного металла (4 на рис.1) сварного соединения на рис.2 представлены характерные микроструктуры.

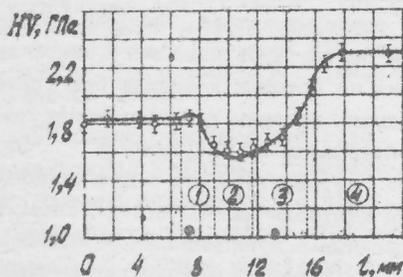
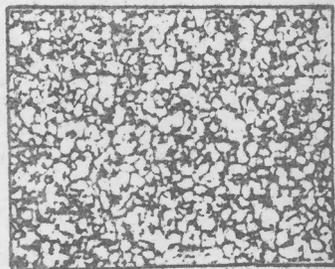


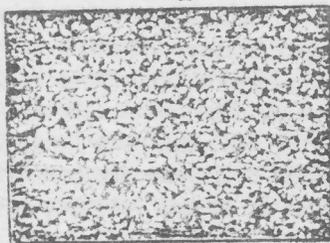
Рис.1. Изменение твердости стыкового сварного соединения из стали 09Г2С с его протяженностью



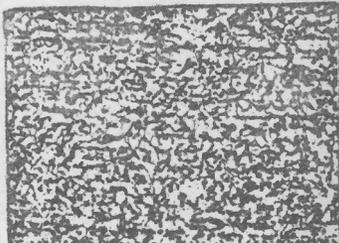
а



б



в



г

Рис.2. Микроструктура участков ЗТВ сварного соединения, $\times 160$: а - участок крупного зерна; б - участок нормализации; в - участок неполной перекристаллизации; г - зона основного металла

Из-за малой протяженности участков ЗТВ стыкового соединения прямые акустические и металлографические исследования затруднительны [5], поэтому из каждого типа стали были изготовлены образцы размером 100x40x10 мм и шероховатостью поверхности $R_{max} = 12,5$ - в соответствии с требованиями акустических испытаний с применением ультразвукового прибора для оценки структуры УС-13И ТУ-25-06 2538-84. Ожидаемые механические свойства были получены после термообработки образцов, т.е. после воздействия на образцы искусственным термическим циклом сварки [10]. Режимы термообработки выбраны исходя из условий необходимости получения структур металла, характерных для выделенных участков, и с целью обеспечения однородности свойств по всему объему заготовки.

Для получения структуры участка крупного зерна образцы каждого типа стали отжигали при температуре 1280 °С в течение 30 мин в вакуумной печи СНВ-1 при разряжении $1,3 \cdot 10^{-2}$ Па с последующим охлаждением с печью. Для получения структур, характерных для участков нормализации и неполной перекристаллизации металла, образцы также отжигали в течение 30 мин при 900 и 750 °С соответственно в муфельной печи с охлаждением на воздухе.

После термообработки по две поверхности образцов шлифовали в продольном и поперечном направлении для проведения металлографических (пресс ТМП-1, микроскоп "Неорфот-21") и акустических (приборы УС-13И, УИТ-2МЦ) исследований. Результаты измерений твердости HV пересчитывали в значения предела прочности для сталей 09Г2С и 10ХСНД по формуле $\sigma_s = 0,352 HV$, для стали АК25 - по формуле $\sigma_s = 0,345 HV$. Формулы справедливы до значений HV не более 340 [5,10]. Скорость ультразвука определяли косвенным методом по измеренному времени пробега акустического импульса, либо по образцу известной толщины в случае использования продольной объемной волны (прибор УС-13И, точность измерений не выше 0,2 %), либо по известной базе при использовании подповерхностной у.з. волны (прибор УИТ-2МЦ, точность не менее 0,5 %). Данные акустических замеров приборами по каждому образцу сравнивали и усредняли. На рис.3 представлены графики изменения твердости HV , предела прочности σ_s и скорости ультразвука c_z в исследуемых сталях с изменением температуры обработки образцов.

Анализ результатов показывает, что для рассматриваемых сталей реакция на действие термического цикла сварки неодинакова.

Так, для основных марок судокорпусных сталей 09Г2С и 10ХСНД, имеющих близкое значение критических точек, показатели прочностных характеристик ухудшаются в среднем на 20 % для участков нормализации и неполной перекристаллизации и на 10 % - для участка крупного зерна, что свидетельствует об изменении дисперсности структуры металла. Наибольший рост скорости ультразвука наблюдается в образцах, соответствующих по свойствам участку неполной перекристаллизации. Это можно объяснить, во-первых, уменьшением искаженности кристаллической решетки вследствие распада пересыщенных твердых растворов при отпуске, в результате чего растут упругие модули зерен кристаллов железа, и, во-вторых, отсутствием влияния текстуры и раздробленных зерен на уменьшение скорости ультразвука, как это наблюдается в зоне основного металла.

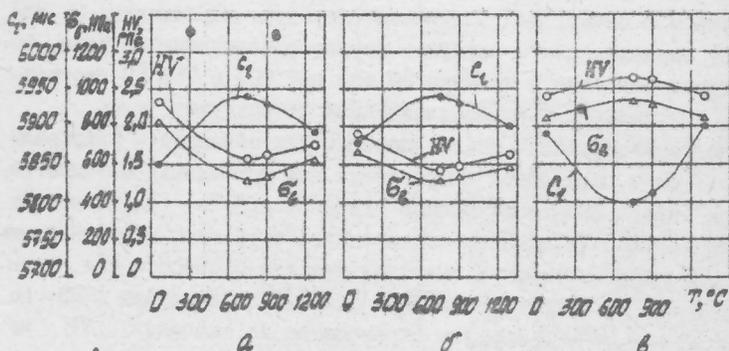


Рис. 3. Зависимости прочностных характеристик и скорости ультразвука от температуры обработки образцов из сталей:

а - 09Г2С; б - 10ХСНД; в - АК-25

Для стали АК-25, относящейся к классу перспективных судокорпусных сталей повышенной прочности, при действии термического цикла сварки заметен рост показателей прочностных характеристик на 8 % для обоих промежуточных участков ЗТВ. С ростом твердости уменьшается скорость ультразвука. В данном случае сказывается наличие мелкодисперсной структуры и легирующих элементов в стали.

Статистическая обработка данных экспериментальных исследований также позволила установить взаимосвязь (коэффициент корреляции 0,9) между скоростью ультразвука и твердостью в рассматриваемых судокорпусных сталях (рис.4).

В результате проведенных экспериментальных исследований была установлена корреляционная взаимосвязь между твердостью и скоростью ультразвука в сталях 09Г2С, 10ХСНД и АК-25, что позволит осуществлять неразрушающий контроль механических свойств участков ЗТВ сварных судокорпусных конструкций по изменению скорости ультразвука в них с целью обеспечения их механической однородности, оптимизировать технологические параметры процесса сварки.

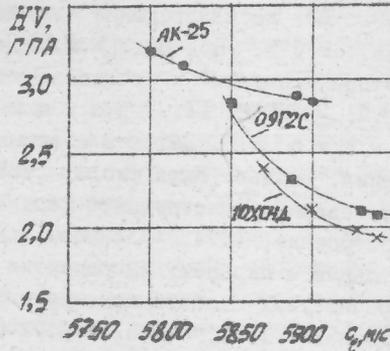


Рис.4. Взаимосвязь скорости ультразвука и твердости в сталях

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ. 1. Александров М.Н. Безопасность человека на море. - Л.: Судостроение, 1983. - 208 с. 2. Алешин Н.П., Белый В.Е., Воеводин А.Х. Методы акустического контроля металлов. - М.: Машиностроение, 1989. - 456 с. 3. Барбанов Н.В. Конструкция корпуса морских судов. - Л.: Судостроение, 1981. - 552 с. 4. Барбанов Н.В., Иванов Н.А., Шемендик Г.П. Повреждения и пути совершенствования судовых конструкций. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Л.: Судостроение, 1989. - 256 с. 5. Бельчук Г.А. Сварные соединения в корпусных конструкциях. - Л.: Судостроение, 1969. - 280 с. 6. Ботани А.А., Ульянов В.Д., Шарко А.В. Ультразвуковой контроль прочностных свойств конструкционных материалов. - М.: Машиностроение, 1983. - 80 с. 7. Королев М.В., Стариков Б.П., Карпельсон А.Е. Ультразвуковые приборы контроля прочности материалов. - М.: Машиностроение, 1987. - 112 с. 8. Дуккин В.А. Статистический анализ данных о повреждениях судовых корпусных конструкций // Проектирование судов и судовых уст-

роиств: Сб. науч. тр. - Николаев: НКИ, 1991. 9. Лукин В.А., Кравченко Л.П. Исследование структуры и свойств зоны термического влияния сварных соединений корпусных конструкций // Строительная механика корабля: Сб. науч. тр. - Николаев: НКИ, 1991. 10. Металловедение и термическая обработка стали: Справ. изд.: В 3 т. / Под ред. М.Л. Бернштейна, А.Г. Рахштадта. - Т. I. Методы испытания и исследования. - М.: Металлургия, 1991. - Кн. 2. - 462 с. 11. Троицкий В.А., Радько В.П., Демидко В.Г. Дефекты сварных соединений и средства их обнаружения. - Киев: Выща школа, 1983. - 144 с. 12. Хрупкие разрушения сварных конструкций: Пер. с англ. / Дж. Холл и др. - М.: Машиностроение, 1974. - 320 с. 13. Шарко А.В. Современное состояние и перспективы развития акустических методов контроля прочностных свойств конструкционных материалов: Обзор // Дефектоскопия. - 1983. - № 5, - С. 72-87. 14. Kaku S. Recent Tendency of Hull Structural Damage and Their Countermeasures // PRADS. - Tokio, 1977. - P. 151-156.

Поступила в редколлегия 19.05.92

УДК 629.12.011:681.3

В.Г. Клауцан, асп.; Н.В. Фатеев, канд. техн. наук

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ КОРПУСА СУДНА ДЛЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ САПР/АСПП

Показано значение информационной модели корпуса судна для разработки интегрированной САПР/АСПП. Рассмотрены требования к информационной модели и пути их удовлетворения.

Одним из основных направлений развития средств автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства (ТПП) судов является создание интегрированных САПР/АСПП, обеспечивающих в рамках единой системы решение широкого круга конструкторских и технологических задач. Например, корпусная подсистема интегрированной системы PTCAD-3, разработанной японской фирмой "Хитачи Зосен Корпорейшн", охватывает задачи проектирования и ТПП, начиная с проектирования набора и кончая планами раскроя и управляющими программами для машин с ЧПУ [3]. Аналогичные системы созданы и некоторыми другими зарубежными фирмами.