

**Металлографические исследования сварных соединений продольных и кольцевых швов обечаек при комбинированном способе сварки (135+121)**

Студент гр.10403116 Назаров Д.А.  
 Магистрант: Фигурин Ф.К.  
 Валов А.С. (инженер по сварке ОАО «Беларуськалий»)  
 Научный руководитель – Бендик Т.И.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

В качестве объекта исследований выступают сварные соединения из мелкозернистой конструкционной стали марки P460NL2 по EN 10028-3 [1], применяемой для обечаек, работающих под давлением при пониженных температурах эксплуатации (контейнеры для перевозки сжиженных газов). Химический состав стали P460NL2 приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав стали P460NL2(1.8918 ASME)

C, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %	N, %	Al, %	Cu, %	Cr, %
≤ 0,2	≤ 0,6	1,1÷1,7	≤ 0,02	≤ 0,005	≤ 0,025	≤ 0,02	0,15÷0,25	≤ 0,3
Ni, %	Mo, %	V, %	Ti, %	Nb, %	Углеродный эквивалент	Группа стали по(СТБ ISO/TR 15608)		
≤ 0,8	0,1	≤ 0,2	≤ 0,03	≤ 0,05	0,52	1.3		

Для достижения требуемых свойств стали P460NL2 используется сложная система микролегирующих добавок (содержание Ti, Nb и V должно быть точно увязано с содержанием C и N). Термическая обработка данного проката – нормализация от 910 °С, которая выполняется в проходных роликовых печах стана. После нормализации структура стали - феррит + перлит, в отдельных случаях с участками бейнитной составляющей. Номер зерен феррита по шкале ASTM - 9-10 [2].

Рассмотрим полученные результаты микроструктурного анализа для сварных соединений, выполняемых в диапазоне погонной энергии 22 – 26 кДж/см для сварки под флюсом (рисунок 1).

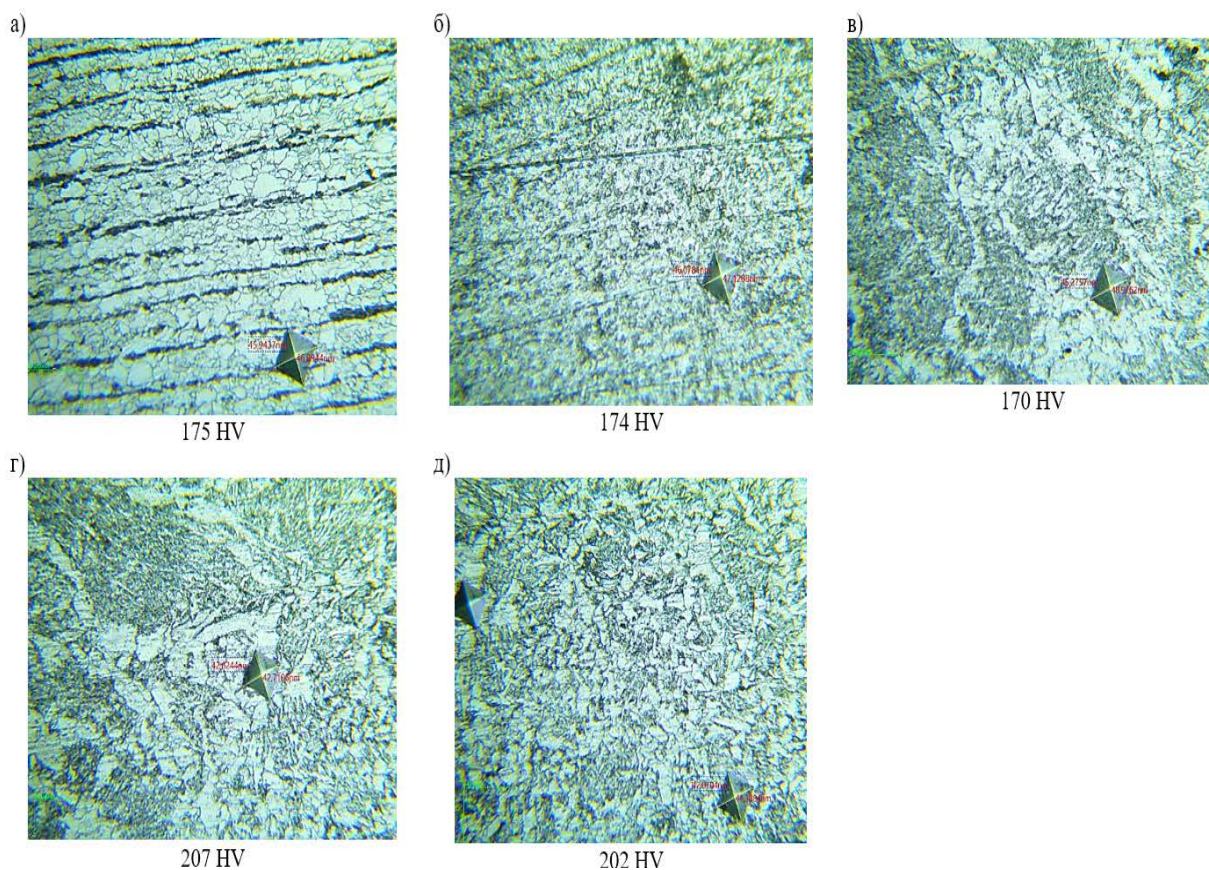


Рисунок 1 – Микроструктура и микротвёрдость участков сварного соединения при сварке под флюсом

а) — полосчатая структура основного металла (Ф+П); б) – ЗТВ (перекристаллизация); в) – участок перегрева; г) – линия сплавления; д) – металл шва

Основной металл стали P460NL2 (рисунок 1, а), не подвергавшийся термическому влиянию сварки, имеет строчечную ферритно-перлитную структуру. Зона термического влияния (рисунок 1, б) представляет собой строчечную структуру Ф+П, которая исчезает из-за перекристаллизации при приближении к шву; на участке перегрева (рисунок 1, в), непосредственно рядом со швом, расположен бейнит, окруженный полосками феррита и перлита. На линия сплавления (рисунок 1, г): слева зона перегрева, справа металл шва с сеткой доэвтектоидного феррита. Микротвердость участков сварного соединения не превышает 220 HV.

На рисунке 2 показаны структурные изменения для соединений, выполняемых сваркой в защитном газе на режимах с уменьшенной погонной энергией. В данном случае можно наблюдать повышение твердости участков ЗТВ до 310 HV.

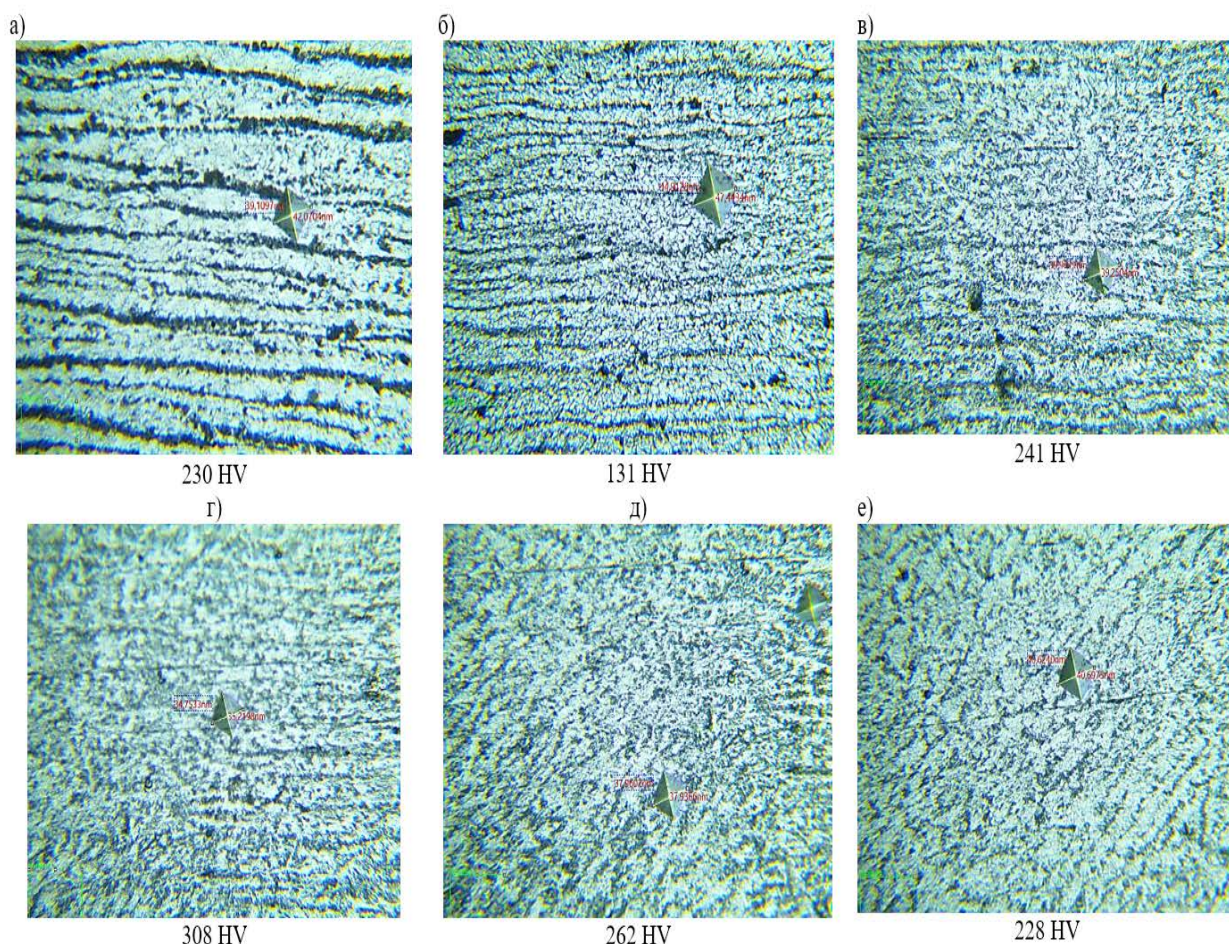


Рисунок 2 – Микроструктура и микротвёрдость участков соединения при сварке в среде защитных газов  
 а) – полосчатая структура основного металла ( $\Phi$ +П); б), в) – ЗТВ (перекристаллизация);  
 в) – участок перегрева; д) – линия сплавления; е) – шов

Результаты проведенных исследований показывают высокую вероятность возникновения в сварном соединении бейнитной составляющей, а также роста зерна на участках перегрева (особенно для проходов, выполняемых сваркой под флюсом). Поэтому полностью регулировать структуру и свойства сварных соединений только путем применения рациональных параметров режима оказывается сложно (требуется увеличение количества проходов, что приводит к повышению вероятности возникновения дефектов и увеличению трудоемкости сварки). Наиболее эффективным в данных условия следует рекомендовать проведение послесварочной термообработки для восстановления требуемых механических свойств: отпуск изделия при температуре 630-660 °С с продолжительностью выдержки 4 мин на 1 мм толщины (но не менее 1 часа). Скорость нагрева до температуры отпуска не более 100 °С/ч, а скорость охлаждения – до 300 °С с печью (термоизоляции), затем на спокойном воздухе.

#### Список использованных источников

1. EN 10028-3 Прокат плоский стальной для работы под давлением. Свариваемый, мелкозернистый, нормализованный, 2009. – р.16.
2. Рябикина, М.А Влияние отпуска на свойства котельной стали P460NL1/Рябинкона М.А., Ткаченко Ф. К., Ставровская В. Е., Галковская Е. А.: Вестник ПГТУ, № 20, 2010.