

УПРОЧНЯЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ УДАРНО-ВОЛНОВОГО НАГРУЖЕНИЯ НА НИЗКО- И СРЕДНЕЛИГИРОВАННЫЕ СТАЛИ В ПРОЦЕССЕ СВАРКИ ВЗРЫВОМ

П.А. ВИТЯЗЬ

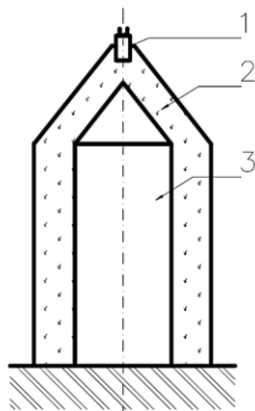
*Аппарат Президиума Национальной академии наук Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь*

Ю.Г. АЛЕКСЕЕВ

ОДО «Номакон», г. Минск, Республика Беларусь

Изучено влияние ударно-волнового нагружения на твердость сталей 20, 30ХГСА и 38ХНЗМФА в режимах, соответствующих параметрам сварки взрывом при давлении в детонационной волне от 1,5 до 6 ГПа. Показано изменение твердости материала как в радиальном, так и в осевом направлении. Степень упрочнения сталей составляет 1,05 – 1,09.

При получении сваркой взрывом биметаллических эрозионостойких высокопрочных трубных изделий из кобальтового сплава ЭП-131 и стали 38ХНЗМФА взрывному нагружению подвергается внешняя плакирующая стальная заготовка. Одновременно со сваркой взрывом происходит упрочнение материала заготовок, как за счет высокоскоростной пластической деформации [1], так и за счет ударно-волнового нагружения. В исследованиях для определения контактного действия взрывчатого вещества – аммонита 6ЖВ (ВВ) на плакирующую заготовку проводили ряд экспериментов (рисунок 1) по обработке стальных цилиндрических образцов из сталей 20, 30ХГСА и 38ХНЗМФА после термообработки – нормализация, которая заключалась в нагреве до аустенитного состояния, выдержке в течение определенного времени и охлаждении на воздухе.



1 – электродетонатор, 2 – заряд взрывчатого вещества, 3 – стальной образец

Рисунок 1. – Схема эксперимента

Для стали 30ХГСА установлено, что взрывная обработка с давлением во фронте детонационной волны ~ 5 ГПа приводит к повышению твердости с 12 – 13 HRC до 17 – 18 HRC. За исключением твердости материала у свободной поверхности образца до 20 HRC. Далее в радиальном направлении от наружной поверхности твердость уменьшается, что можно объяснить спадом давления в ударной волне по мере распространения ее по материалу [2]. По сравнению с исходной структурой материала взрывная обработка способствовала более равномерному распределению дефектов кристаллического строения и увеличению их плотности. Ширина доверительного интервала, где с вероятностью $P = 0,9$ находится полученное значение твердости уменьшилось с $\pm 0,5$ HRC для исходного образца до $\pm 0,3$ HRC для образца, обработанного взрывом.

На образцах из стали 20 исследовали влияние на его свойства детонационных характеристик, которые меняются в вертикальных зарядах ВВ по его высоте, что связано со стабилизацией процесса детонации на начальном участке и с уплотнением порошкообразного ВВ. Изменение давления по мере движения фронта детонации описано в [3]. Выполненный расчет показал, что на начальном участке импульс давления возрастает от 0 до 33 кПа с, а твердость материала с 38 до 42 HRA. Рост изменения твердости стали 20 в зависимости от импульса давления составляет 0,24 HRA/(кПа с). В процессе дальнейшей детонации импульс давления стабилизируется и по расчетам меняется по высоте заряда в пределах 0,007 кПа с/мм, и твердость образца по высоте практически не меняется ($42 \pm 0,5$ HRA). Следует отметить, что наблюдается повышение твердости с 42 до 44 HRA на нижнем участке образца, что связано с его осевым объемным деформированием (максимальное сужение 8%).

Одними из основными параметрами сварки взрывом являются скорость и давление в точке контакта – соударения плакирующей и плакируемой заготовки. Скорость и давление зависят от скорости детонации ВВ, которая в свою очередь на практике регулируется толщиной заряда ВВ. Исходя из того, что давление в детонационной волне прямо пропорционально квадрату скорости детонации, проведены с многократным повторением эксперименты по влиянию ударно-волновой обработки на упрочнение стали 38ХНЗМФА при разных толщинах заряда ВВ. В нашем случае в зависимости от толщины и свойств плакирующей заготовки толщина заряда ВВ может варьироваться от 10 до 70 мм и соответственно давление в детонационной волне P_e от 1,5 до 6,0 ГПа. На рисунке 2 приведен график зависимости твердости стали 38ХНЗМФА от давления в детонационной волне. Твердость стали 38НЗМФА прямо пропорционально повышается от 28,0 до 30,5 HRC с ростом давления в детонационной волне.

Воспользовавшись соотношением значений твердости разных методов определения, получили значение твердости по Виккерсу сталей 20, 30ХГСА, 38ХНЗМФА до и после обработки взрывом с давлением в детонационной волне $P_e = 5$ ГПа, соответствующим процессу сварки взрывом (таблица 1).

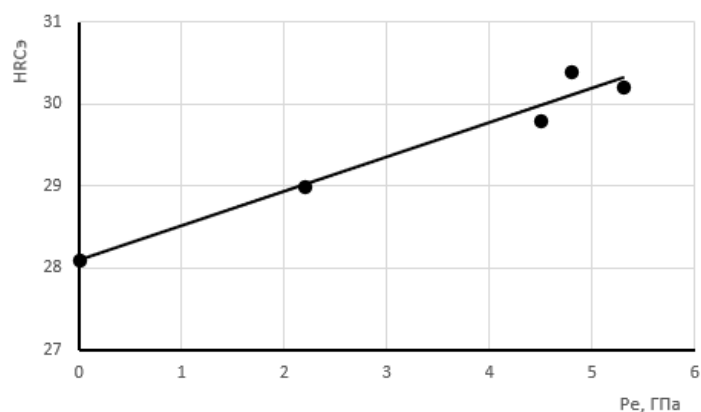


Рисунок 2. – Влияния давления в детонационной волне на твердость стали 38ХНЗМФА

Таблица 1. – Результаты ударно-волнового воздействия на упрочнение низко- и среднелегированных сталей в процессе сварки взрывом

| Сталь | Твердость исходная HV, МПа | Твердость после взрывной обработки HV, МПа | Степень упрочнения |
|----------|----------------------------|--|--------------------|
| 20 | 1260 | 1370 | 1,09 |
| 30ХГСА | 2010 | 2120 | 1,05 |
| 38ХНЗМФА | 2850 | 3020 | 1,06 |

Степень упрочнения стали рассчитывали через отношение ее твердости по Виккерсу после взрывного нагружения к исходной.

С увеличением давления в детонационной волне происходит прямо пропорциональный рост твердости материала низко- и среднелегированных сталей на 5 – 9%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалевский В.Н., Витязь П.А., Ильющенко А.Ф., Алексеев Ю.Г., Фомихина И.В. Повышение прочностных свойств элементов металлоконструкций методами высокоэнергетического упрочнения и термической обработки. – Минск : БНТУ, 2013. – 364 с.
2. Дерibas А.А. Физика упрочнения и сварки взрывом. – 2-е изд., доп. и перераб. – Новосибирск : Наука, 1980. – 222 с.
3. Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П. и др. Физика взрыва. – 2-е перераб. изд. / Под ред. К.П. Станюковича. – М. : Наука, 1975. – 704 с.