

УДК 669.419:539.4

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ДЕФЕКТНУЮ СТРУКТУРУ И ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Володин Т. В., Володин В. Л., Зуев Л. Б., Коньков Ю. Д., Громов В. Е.

Характерной особенностью современной технологии изготовления изделий и инструмента является то, что она должна обеспечивать не только требуемую долговечность в эксплуатации, но и высокую точность, производительность и технологичность. В связи с этим, благодаря большим достижениям в развитии квантовой электроники (лазеры), электронно- и ионно-лучевых, электротермических-импульсных процессов, ультразвука, взрыва, на практике все шире применяются новые импульсные методы обработки металлов и сплавов. Эти методы характеризуются приложением высокой удельной энергии, импульсным ее воздействием на относительно малые объемы твердого тела и последующим охлаждением с большими скоростями, что приводит к формированию на поверхностях материалов специфических структур с особыми физико-механическими свойствами, так называемых «белых слоев» (БС).

В настоящей работе представлены исследования по влиянию магнитно-импульсного воздействия на структуру и свойства ряда металлических и биметаллических сплавов, широко применяемых в современном производстве, технике и промышленности. Физическая суть исследований заключается в создании условий сверхбыстрых разогревов поверхностных слоев металлических материалов (вплоть до плавления) за счет протекания импульсных токов и последующего охлаждения с большими скоростями металла в изменяющемся магнитном поле.

Магнитно-импульсное упрочнение (МИУ) достигалось электрическим высоконапряженным разрядом батареи импульсных конденсаторов на поверхности образцов и изделий, помещенных в переменное магнитное поле индукторов [1-3].

В качестве объектов исследования были выбраны стали различного класса и практического применения: инструментальные стали Р18 и Р6М5, широко применяемые в современном производстве для изготовления инструмента, а также стали 40Х и 45. Исследовали свойства высокомарганцовистой стали 110Г13Л, широко используемой в технике и промышленности в качестве износостойкого материала для деталей, работающих в условиях динамического контактного нагружения.

В современном судостроении широко применяется наплавка деталей (валов, баллеров) из сталей перлитного класса материалами аустенитного и аустенитно-ферритного классов. Для оценки надежности таких соединений необходимо учитывать механические свойства составляющих наплавленных композиций, их склонность к хрупкому разрушению [4].

В настоящей работе исследовали механические свойства и склонность к хрупкому разрушению сталей 38ХН3МФА и 40ХНМА, наплавленных проволоками марок Св-07Х25Н12Г2Т и Св-08Х19Н9Ф2С2.

БС стали Р6М5 и Р18 после воздействия МИУ имеет структуру мелкоигольчатого мартенсита, остаточного аустенита (до 6%) и очень дисперсных карбидов. Повышенное содержание аустенита в БС, по сравнению со структурой обычной закалки, кроме повышенного содержания в нем углерода и других элементов, замедляющих скорость распада аустенита при закалке, объясняется высокой скоростью нагрева, охлаждения и пластическим деформированием стали при импульсном воздействии.

Сталь Р18 после МИУ имеет наиболее однородную структуру по карбидам, причем после МИУ наблюдается значительное снижение как среднего диаметра карбида и расстояния между ними, но и повышение площади межфазной поверхности карбид-матрица.

Влияние пластической деформации аустенита в процессе сверхбыстрых разогревов и охлаждений материалов сказывается на морфологии и структуре мартенсита, кристаллы которого меньше, чем после обычной закалки (в пределах $2,5 \times 10^{-4} - 10^{-6}$ мм, баллы 1-3, в среднем, на 2-3 балла меньше по сравнению с кристаллами после обычной закалки). Количество мартенсита увеличивается не за счет величины его кристаллов, а за счет увеличения их количества. В упрочненных инструментальных сталях наблюдается дробление зерна остаточного аустенита до 3 мкм (12-14 балл), что на два порядка ниже зерна аустенита структуры исходной стали.

Рентгеноструктурный и металлографический анализ зоны повышенной травимости упрочненного слоя (после БС) сталей 40Х и 45 показывает, что эти области материалов имеют аустенитно-мартенситную структуру с некоторым количеством карбидной фазы. В поверхностном упрочненном слое (БС) стали происходит образование малоуглеродистого мартенсита мелкоигольчатой формы, причем линии (011) α - и (110) α -мартенсита разделены на рентгенограммах не четко. Это говорит о закалке неоднородного по углероду аустенита, что вызвано науглероживанием поверхностных слоев стали после МИУ, что приводит, в свою очередь, к повышению твердости материалов. Это подтверждается данными некоторого снижения параметра кристаллической решетки аустенита d в БС толщиной до 50 мкм с 0,3625 нм до 0,3618 нм ($0,3625 \pm 0,00005$ нм соответствует параметру решетки аустенита в стали в исходном состоянии). Уменьшение параметра кристаллической решетки может быть следствием выхода части углерода из γ -твёрдого раствора при импульсном воздействии в результате изменения объемно-напряженного состояния, а также развитием процессов пластического динамического старения аустенита. Снижение d можно объяснить также действием сжимающих напряжений, вызванных дополнительно протекающими мартенситными превращениями.

Ширина дифракционной линии с поверхности стали Р18 изменяется незначительно и остается равной 14×10^{-3} рад на расстоянии 200 мкм от поверхности. Это свидетельствует о том, что в результате МИУ упрочнение распространяется на большую глубину, что подтверждается данными измерения твердости и микротвердости. Это подтверждается увеличением дефектности кристаллического строения - резко увеличивается плотность дислокаций в БС. Исследование изменений в структуре упрочненного слоя стали 110Г13Л показали снижение среднего значения величины зерна: с 480 до 180 мкм после магнито-импульсного воздействия. На поверхности упрочненного слоя наблюдаются многочисленные двойники деформации, что подтверждается характерной картиной, полученной на интерферометре Линника и увеличением плотности дислокаций ρ до $2,5 \cdot 10^{11}$ см $^{-2}$ по сравнению со сталью без импульсного воздействия - $\rho \approx 0,8 \cdot 10^{11}$ см $^{-2}$. С помощью стереометрического способа с применением методики Арановича-Любарского (установка «Epigunt») найдено, что в поверхностном слое (до 60 мкм) в случае импульсного воздействия объемная концентрация карбидной фазы повышается с 4,9 до 8,0%, средний размер карбидов снижается с 12,7 до 4,17 мкм, соответственно, наблюдается дробление блока структуры до 10 нм, а доля блочной структуры возрастает с 25 до 70% (слой до 200 мкм).

Распределение легирующих элементов, твердости и микротвердости в упрочненной зоне более равномерное в биметаллах после импульсной обработки (МИУ) по сравнению с биметаллами после обычной наплавки, что приводит к исчезновению зоны термического влияния (ЗТВ), характеризующейся низкими значениями твердости и наиболее опасной точки зрения трещиностойкости. В упрочненной зоне со стороны наплавляемого металла наблюдается дробление зерна аустенита до 20 мкм, участки обра-

зования двойников деформации и малоуглеродистого мартенсита. В переходной зоне со стороны основных металлов после МИУ не наблюдается зон обезуглероживания, что подтверждается более равномерным распределением твердости и микротвердости. В наплавляемых металлах формируется феррит игольчатой формы по сравнению с ферритом дендритообразной или капельной формы после обычной наглавки, кроме этого наблюдается резкое снижение зон перегрева с крупнозернистой структурой в ЗТВ после наплавки [4].

Эти изменения в структуре исследуемых сталей оказывают благоприятное влияние на их прочность при различных видах нагружения. Для сталей Р6М5 и Р18 после магнитно-импульсной обработки кроме повышения теплостойкости наблюдается повышение сопротивления материалов контактному малоцикловому разрушению и износу в условиях масляно-абразивных сред. Сверла и фрезы из этих сталей после МИУ характеризуются наиболее высокими эксплуатационными характеристиками по сравнению с инструментами после фрикционно-упрочняющей и механоультразвуковой обработок, а также после лазерной, плазменной обработок и дробеструйного упрочнения. Сталь 110Г13Л после МИУ характеризуется более высокими параметрами прочности и пластичности, значениями вязкости разрушения, критического раскрытия трещины, а также повышенным сопротивлением износу в условиях сухого трения, контактного динамического разрушения и гидроабразивного износа.

Стали 40ХНМА и 38ХН3МФА после магнитно-импульсной обработки имеют более высокие параметры КСВ и КСТ и характеризуются более высоким сопротивлением разрушению в условиях много- и малоциклового нагружения и коррозионного растрескивания под напряжением по сравнению с характеристиками прочности сталей после воздействия вышеуказанными видами поверхностного воздействия и материалами в исходном состоянии. МИУ приводит к повышению эксплуатационных свойств биметаллов – повышается их приведенная вязкость разрушения [5]. Это приводит к повышению циклической долговечности биметаллических валов (баллеров) и росту сопротивления электрокоррозии в агрессивных средах (морской воде) аноднополяризуемых поверхностей наплавляемых покрытий.

Список литературы

1. Володин В.Л. Исследования влияния импульсных высокозергетических воздействий на прочностные и эксплуатационные свойства инструментальных сталей и инструмента. Известия ВУЗов. Черная металлургия, 2004, № 6, с.61-64.
2. Володин В.Л., Зуев Л.Б. Влияние импульсных воздействий на поверхностные свойства металлических сплавов. Проблемы машиностроения и надежности машин, 2005, № 2, с.62-66.
3. Володин В.Л., Володин Т.В. Исследование влияния импульсных поверхностных воздействий на структуру и свойства стали Р6М5. Фундаментальные проблемы современного материаловедения, 2005, № 3, том 2, с.78-80.
4. Коньков Ю.Д., Володин В.Л. Механические свойства и стойкость против хрупкого разрушения биметаллов, полученных методом наплавки. Технология судостроения, № 3, 1992, с.41-50.
5. Алюшин Ю.А., Володин В.Л. Оценка сопротивления хрупкому разрушению композиционных материалов. Проблемы машиностроения и надежности машин, 2005, № 4, с.49-53.