

СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛА ДЕТАЛЕЙ «РАМА БОКОВАЯ» ТЕЛЕЖКИ ВАГОНОВ

В.А. Ряполов А.В. Белошапкин

Боковые рамы тележки вагонов изготавливаются из стали 20Г1ФЛ и являются цельными неразъемными конструкциями. Химический состав стали представлен в таблице 1. В процессе длительной эксплуатации происходит износ опорных поверхностей рамы, что приводит к потере геометрических размеров изделий за пределы допустимого по техническим условиям. Для восстановления работоспособности рамы колесных пар изношенные участки после зачистки до металлического блеска и обезжиривания наплавляются электродуговой механизированной наплавкой в среде углекислого газа проволокой Св-08Г2С, а затем проходят механическую обработку, режимы наплавки представлены в таблице 2.

Было отмечено, что в период эксплуатации восстановленной наплавкой рам имело место их аварийное разрушение. При этом разрушение происходило в зимний период, когда температура воздуха опускалась ниже 0 °С. Анализ изломов показал, что разрушение происходило от верхней опорной поверхности. По внешнему виду и характеру строения изломов установлено, что разрушение

вызывалось воздействием мгновенных ударно-изгибных нагрузок. Наличие усталостных трещин или других макродефектов в изломах не обнаруживалось. Очаг разрушения, как правило, распространялся на границе основного и наплавленного металла, то есть, в месте перехода участка верхней опорной поверхности к ненаплавленному участку в так называемой зоне термического влияния электрической дуги. Площадь мгновенного продвижения трещины составляла обычно от 1/3 до 1/2 части от всей поверхности излома и характеризовалась четко выраженным зернистым строением со слабо заметными следами пластической деформации, что свидетельствует о хрупком распространении макротрещины. Остальная часть разрушенной детали, как правило, имела «шиферный излом», что может квалифицироваться как долом при воздействии нагрузки.

Исследование микроструктуры показало, что основной металл имеет мелкозернистое строение, следов перегрева основного металла в разрушенных рамах не обнаруживалось. Структура ферритно-перлитная с

Таблица 1 – Химический состав стали 20Г1ФЛ

| Сталь | Содержание элементов, % вес. | | | | | | |
|--------|------------------------------|-------------|------------|------|-------------|--------|--------|
| | C | Si | Mn | Cr | V | S | P |
| 20Г1ФЛ | 0,17...0,24 | 0,17...0,37 | 1,0...0,37 | <0,3 | 0,06...0,15 | <0,035 | <0,030 |

Таблица 2 – Режимы механизированной наплавки в среде CO₂ опорных поверхностей рамы тележки вагонов

| № п/п | Наименование режима | Единица измерения | Показатели |
|-------|-------------------------------------|---------------------|------------|
| 1 | Сварочный материал | Сварочная проволока | Св-08Г2С |
| 2 | Диаметр проволоки | мм | 1,2 |
| 3 | Род тока | - | постоянный |
| 4 | Полярность | - | обратная |
| 5 | Положение наплавки | - | нижнее |
| 6 | Тон наплавки | А | 180...200 |
| 7 | Напряжение наплавки | В | 22...24 |
| 8 | Скорость подачи сварочной проволоки | м/час | 350...400 |
| 9 | Вылет электрода | мм | 20...24 |
| 10 | Скорость наплавки | м/час | 20...25 |
| 11 | Источник питания | выпрямитель | ВС-300 |
| 12 | Механизм подачи сварочной проволоки | полуавтомат | А-547 |

величиной зерна 4-5 баллов по ГОСТ 5939-82. Наплавленный металл характеризовался мелкодендритной структурой, однородной по всему сечению. На границе раздела основного металла с наплавленным или на границе стыка валиков при многослойных проходах наблюдались пустоты и неметаллические включения различной формы.

Зона термического влияния при переходе наплавленного металла к основному имела хорошо просматриваемые под микроскопом три участка: участок перегрева с четко выраженной видманшеттовой структурой, участок полной кристаллизации с мелким зерном феррита и участок неполной перекристаллизации с мелкими зернами перлита и относительно крупными зернами феррита.

Было замечено, что разрыв рамы тележки всегда проходил по участку сплавления и участку перегрева с видманшеттовой структурой. Это свидетельствует о том, что данная структура является крайне неблагоприятной с точки зрения сопротивления разрушению. Измерения микротвердости по поперечному сечению детали «Рама боковая», выполненные на приборе ПМТ-3 при нагрузке на индентор 10 г, показали, что основной металл имеет меньшие показатели микротвердости на 30...40 ед. по сравнению с наплавленным. В зоне сплавления всплеска микротвердости не обнаружено. Наблюдался плавный переход микротвердости от основного металла к наплавленному. В зоне перегрева ферритная фаза имела значительно большую микротвердость по сравнению с ферритной фазой, находящейся за зоной термического влияния. Это свидетельствует о том, что феррит, входящий в структуру видманшкетта, более напряжен как за счет перенасыщения по углероду, так и за счет сдвиговой деформации при фазовом переходе.

Как известно, с увеличением размера зерна и появлением видманшкеттовой структуры заметно возрастает склонность стали к хрупкому разрушению в результате повышения температуры хрупкого перехода. Проявление хрупкости тем заметнее, чем больше околошовная зона и чем грубее ее структура. Согласно современным представлениям, структурная неоднородность вызывает неравномерность деформации в объеме металла. В свою очередь, чем выше неоднородность деформации, тем при меньшей деформации будет исчерпана пластичность стали и тем раньше наступит разрушение.

Результаты исследований механических свойств на растяжение при комнатной температуре и ударный изгиб при температурах от $+20^{\circ}$ до -60° показали, что если при статистических испытаниях прочностные показатели основного металла и металла околошовной зоны практически сопоставимы, то пластичность и вязкость существенно различаются (таблица 3). Как видно, в зоне термического влияния пластичность металла, оцениваемая относительным удлинением и сужением, почти в два раза уступает пластичности основного металла. Существенно отличаются и показатели ударной вязкости (таблица 3). Анализ данных, приведенных на рисунке 1, показывает, что переход металла от вязкого к хрупкому разрушению в зоне перегрева на $20...30^{\circ}\text{C}$ выше, чем в зоне, не подверженной термическому влиянию. Так, при наличии в зоне перегрева неблагоприятной структуры хрупкость металла рамы тележки вагона наступает при температурах -10°C , в то время, как в основном металле порог хладноломкости отмечается при $-40...-50^{\circ}\text{C}$. Изучение изломов ударных образцов после испытаний при температурах от $+20$ до -60°C также показало качественное различие рельефа. Наплавленные образцы характеризуются большей долей кристалличности в изломе, чем при аналогичных испытаниях образцов из основного металла. Следовательно, структура ЗТВ, сформировавшаяся при наплавке опорных поверхностей рамы тележки вагона, оказывает существенное влияние на ее сопротивление хрупкому разрушению при наличии кратковременных перегрузок и отрицательных температур.

Сварка низкоуглеродистых низколегированных сталей, содержащих в своем составе сильные карбидообразующие элементы, такие, как ванадий, ниобий и др., сопряжена с определенными трудностями вследствие склонности этих сталей к низкотемпературному охрупчиванию по зоне сплавления и зоне термического влияния. Разработка рациональной технологии сварки сталей, микролегированных карбидообразующими элементами, сопровождается большими осложнениями, связанными с возможностью протекания в ЗТВ неблагоприятных структурных превращений. При сварке и наплавке на участке перегрева и зоне сплавления имеет место длительное пребывание металла в области высоких (свыше 1250°C) температур. Это обуславливает более полное растворение в аустените карбидов и других соединений, рост зерна аустенита, диффузию угле-

СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛА ДЕТАЛЕЙ «РАМА БОКОВАЯ» ТЕЛЕЖКИ ВАГОНОВ

рода из основного металла в наплавленный. Последующее охлаждение вызывает выпадение из аустенита и расплава карбонитридов тугоплавких элементов преимущественно по границам зерна, которое способствует локальному искажению кристаллических ячеек, снижению подвижности дислокаций, особенно при отрицательных температурах и, как следствие, затруднению процесса скольжения при деформациях. Это и приводит к выпадению ударной вязкости металла зоны сплавления и участка перегрева ниже установленного предела.

Проведенные эксперименты показали, что высокотемпературный отпуск практически не устраняет охрупчивания наплавленных участков рамы тележки вагонов, таблице 4.

Ударная вязкость при регламентированной температуре -60°C не достигает требуемого уровня (30 Дж/см^2). Нормализация от оптимальных для стали 20Г1ФЛ температур способствует значительному росту ударной вязкости по линии сплавления и околошовной зоне образцов, однако, наиболее ощутимый

эффект от термической обработки наблюдается в случае проведения нормализации с последующим отпуском. В этом случае полностью устраняется охрупчивание стали от действия термических циклов наплавки. Ударная вязкость наплавленных участков значительно превышает требуемый уровень и сопоставима с вязкостью основного металла (таблица 4), который тоже повысил свою вязкость по сравнению с первоначальным до термической обработки состоянием, то есть по сравнению с исходным состоянием отливки рамы, таблица 4, рисунок 1.

Нормализация с последующим высоким отпуском обеспечивает измельчение зерна, диффузионное выравнивание по химсоставу наплавленного металла и металла околошовной зоны, аннигиляцию и залечивание дефектов кристаллического строения, коагуляцию карбидной фазы. Это, в свою очередь, обеспечивает повышение подвижности дислокаций, скольжения при деформациях, рост ударной вязкости металла в целом

Таблица 3 – Механические свойства основного металла и зоны нагрева детали «Рама боковая» тележки вагона (средние данные)

| № п/п | Место вырезки образцов | Механические свойства | | | | |
|-------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------|------------|-------------------------|
| | | σ_B , Н/мм ² | σ_T , Н/мм ² | δ , % | Ψ , % | KCU, Дж/см ² |
| 1 | Основной материал | 510 | 375 | 23,5 | 49,3 | 75 |
| 2 | Зона термического влияния | 528 | 384 | 13,5 | 28,6 | 40 |

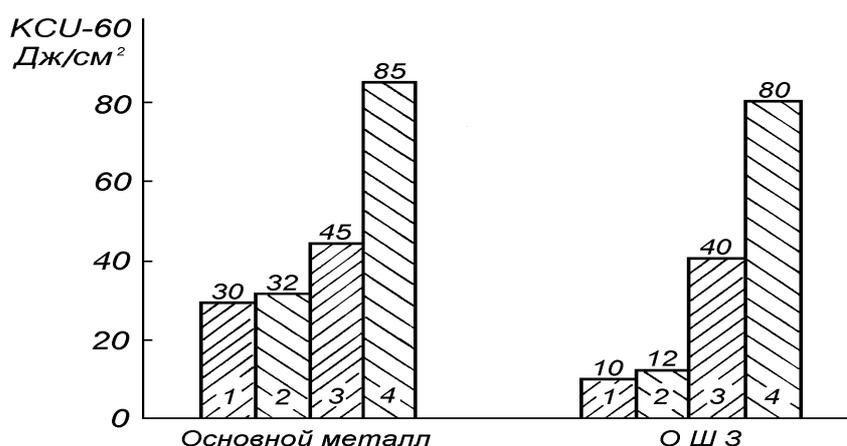


Рисунок 1 – Ударная вязкость при -60°C основного металла и околошовной зоны в зависимости от вида термической обработки: 1- без термообработки; 2- высокотемпературный отпуск; 3- нормализация; 4- нормализация + высокотемпературный отпуск.

Таблица 4 – Ударная вязкость основного металла и околошовной зоны наплавленных участков рамы тележки вагонов из стали 20Г1ФЛ (средние данные)

| № п/п | ВИД ОБРАБОТКИ | КСУ при -60С Дж/см ² |
|-------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 1 | Основной металл до термообработки | 30 |
| 2 | Основной металл + высокотемпературный отпуск | 32 |
| 3 | Основной металл нормализация | 55 |
| 4 | Основной металл + нормализация + высокотемпературный отпуск | 85 |
| 5 | Околошовная зона до термообработки | 20 |
| 6 | Околошовная зона +высокотемпературный отпуск | 25 |
| 7 | Околошовная зона + нормализация | 50 |
| 8 | Околошовная зона +нормализация + высокотемпературный отпуск | 80 |

Итак, изложенные выше результаты исследований, позволяют сделать следующие выводы:

1. В процессе длительной эксплуатации происходит интенсивный износ опорных поверхностей рамы, что приводит к выходу геометрических размеров изделия « Рама боковая» тележки колесной пары за пределы допустимого по техническим условиям.

2. Восстановление изношенных поверхностей рамы наплавкой не обеспечивает их надежную эксплуатацию, особенно в зимних условиях, из-за опасности хрупкого разрушения по зоне термического влияния сварочной дуги.

3. Основной причиной хрупкого разрушения рам в период эксплуатации является формирование в зоне термического влияния неблагоприятной видманштеттовой структуры, локальной напряженности решетки фазы α - фазы, снижение подвижности дислокаций при отрицательных температурах, затруднение процесса скольжения при деформациях.

4. Комплексная термическая обработка восстановленных наплавкой рам, состоящая из нормализации и последующего отпуска, обеспечивает высокое сопротивление металла хрупкому разрушению при температуре испытания – 60 °С.