

вливают остаточные растягивающие напряжения. Поперечные же трещины в подошве рельса обычно зарождаются вследствие разряда электрической дуги от конца электрода на подошву.

ЛИТЕРАТУРА

1. ЖДМ-online www. «Железные дороги мира» //ЖДМ, 2004, № 2, с. 4-10.
2. Труды ЦНИИ МПС, выпуск 556, - М: Транспорт, 1997., с 5-11.
3. ЖДМ-online www. «Железные дороги мира» //ЖДМ, 2008, № 3, с. 14-22.
4. Труды ЦНИИ МПС, выпуск 623, - М: Транспорт, 1996., с 48-58.
5. Труды ЦНИИ МПС, выпуск 749, - М: Транспорт, 1999., с 21-26.

УДК 625.143

Баубеков Ермак Ельтаевич – к.т.н., доцент (Алматы, КазАТК)

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ РЕЛЬСАХ

Среди множества известных методов измерения остаточных напряжений, в основном, нашли применение механические способы. Механические методы основаны на измерении упругих деформаций металла, возникающих при разрезке изделия, вследствие релаксации напряжений. По этой причине механические способы измерения остаточных напряжений также называют релаксационными. К таким способам можно отнести разрезку рельсов на полосы [1], строжку или травление [2], вырезку поперечных темплетов [3], сверление отверстий [4], осверловку столбика [5], комбинированную резку [6].

Разрезка рельсов на полосы с последующим перерасчетом упругой деформации каждой отдельной полосы на напряжения известна сравнительно давно. Остаточные напряжения, вычисленные этим способом, имеют большие колебания и точность оценки во многом зависит от размеров поперечного сечения вырезаемых стержней.

Способ последовательного снятия слоев, предложенный Н. Н. Давыденковым, основан на измерении стрелы прогиба, возникающего в процессе удалении слоев металла строжкой или травлением. Этот метод содержит ряд допущений (равенство продольных остаточных напряжений по ширине слоя, отсутствие двух других главных напряжений), что приводит к значительным погрешностям при измерениях. Кроме того, работа с габаритными деталями требует мощных зажимных приспособлений, необходимых для сохранения равновесного состояния остаточных напряжений и восстановления исходной формы изделия после каждого замера.

Метод отверстий, идея которого была предложена Н. Матаром в 1932 г., сводится к измерению деформаций в той части детали, где производится ее сверление. Величина главных напряжений и их направление определяется при решении системы уравнений.

К недостаткам способа относятся ограниченные возможности измерения больших по величине напряжений (до $0,3 \sigma_T$), так как при коэффициенте концентрации напряжений возле малого отверстия больше трех, они могут вызвать пластические деформации.

Метод осверловки столбиков заключается в измерении деформации на торце столбика, отделенного от основной массы металла круговой канавкой. Полная разгрузка торца столбика происходит при заглублении канавки на половину диаметра столбика. По изменению деформации торца столбика в процессе его заглубления можно измерить

остаточные напряжения не только на поверхности (до глубины половины диаметра столбика). С наибольшим успехом этот метод используется при исследовании напряженного состояния металла в наклепанных в процессе эксплуатации слоях головки рельсов [7].

Метод вырезки поперечных темплетов, предложенный японскими исследователями, заключается в измерении упругой деформации на боковой поверхности темплета, после его вырезки из рельса. Для устранения влияния эффекта Сен-Венана вырезка темплета должна производиться на расстоянии от торца рельса в три раза превышающего его высоту. В настоящее время этот способ получил наибольшее распространение при исследовании напряженного состояния рельсов как у нас, так и за рубежом [8,9].

Комбинированный способ, разработанный в Новосибирском институте железнодорожного транспорта, позволяет определить все компоненты тензора остаточных напряжений в любой точке сечения рельса. Этот способ является наиболее точным из существующих, но в силу своей сложности и трудоемкости не получил широкого распространения.

Сварка, местная термическая обработка стыка, штемпельная правка вызывают локальные деформационные процессы в металле рельсов, вследствие чего величины, знака и характера распределения остаточных напряжений происходит, как будет показано, на ограниченном участке длины рельса. Поэтому, для исследования остаточного напряженного состояния сварных рельсов могут быть использованы только те методы, которые обеспечивают максимально возможное расчленение изделия. В противном случае, из-за усреднения величины упругой деформации металла возможны значительные ошибки. К таким методам можно отнести осверловку столбика и вырезку темплета.

Для измерения деформации, в принципе, можно применять любые приборы для линейных измерений. Однако, значения величины деформации, вызываемых остаточными напряжениями часто находятся на уровне нижней границы их чувствительности. Методические трудности, встречающиеся при точных измерениях удается избежать применением проволочных тензодатчиков сопротивления. Эти датчики в сочетании с электроизмерительной аппаратурой обладают высокой чувствительностью. Наименьшая относительная деформация ($\Delta l/l$), которую можно определить с достаточной точностью равна $5 \cdot 10^{-6} - 1,10^{-5}$ мм/мм², что при базе датчика 20 мм обеспечивает измерение деформаций до десятых долей микрона [8].

Принимая во внимание возможность применения проволочных датчиков, в работе был использован метод вырезки темплетов. Выбор этого способа обосновывался сравнительной его простотой при достаточной точности измерения. Наклейка большого числа датчиков позволяет значительно увеличить число измеряемых точек на поверхности изделия, что повышает достоверность получаемых результатов и дает возможность фиксировать изменение величины остаточных напряжений по длине рельса. И, наконец, учитывая широкое распространение этого способа, имеется возможность сопоставления результатов ранее выполненных исследований с собственными без их корректировки.

Рельсовый образец длиной 1,2-1,3 м со сварным стыком в середине шлифовали по периметру на участке 600 мм по обеим сторонам от места сварки. Для замера деформации использовали датчики сопротивления с базой 10 мм. Датчики приклеивали к тщательно обезжиренной поверхности рельса клеем БФ-2. Для защиты от механических повреждений приклеенные датчики после сушки (в течение 48 часов при комнатной температуре) заливали эпоксидной смолой. Датчики располагали на поверхности рельса по одной прямой в направлении, параллельном продольной оси рельса. Измерение деформации темплета после вырезки проводили не только в продольном, но и поперечном направлении. При указанном

расположении датчиков по прямой имелась возможность оценить напряженное состояние металла не только в сварном стыке, но и одновременно в соседних с ним сечениях. Датчики приклеивали только с одной стороны темплета, так как предварительные опыты показали, что разница в значениях деформации относительно плоскости симметрии рельса по абсолютной величине соответствует точности эксперимента.

Разрезку рельсов на темплеты выполняли при интенсивном охлаждении, что исключало нагрев металла выше $+50^{\circ}\text{C}$. При измерениях использовали одноканальный усилитель. Температурные отклонения компенсировали с помощью пассивного датчика, включенного в схему измерительного моста. Пассивный датчик приклеивали к пластине из рельсовой стали. Пластина при замерах находилась на темплете, в котором определяли деформации. В целях полной разгрузки от напряжений темплет разрезался на элементы. Поскольку последняя операция не вносила существенных изменений в показания датчиков, ориентированных параллельно продольной оси рельса, при определении продольных напряжений ограничивались только вырезкой темплета.

Дополнительные эксперименты по определению направления главных напряжений показали, что они направлены параллельно и перпендикулярно продольной оси как в основном металле, так и в пределах ЗТВ сварки.

Остаточное напряженное состояние сварных рельсов типов Р50 и Р65 оценивали по результатам замеров, производимых не менее чем на 3-5 образцах для каждого варианта. Для сравнения также измеряли остаточные напряжения в несварных рельсах.

Многочисленные измерения остаточных напряжений в рельсах показали, что при одинаковом характере распределения напряжений по сечению величина их имеет некоторый разброс. Поэтому в тексте приведены средние и предельные значения напряжений, полученные при эксперименте. Ввиду отсутствия заметного различия в уровне остаточных напряжений между рельсами типов Р50 и Р65, эти значения приводятся без указания типа рельса.

Остаточное напряженное состояние несварных закаленных рельсов последующих партий характеризуется наличием растягивающих продольных напряжений в головке $+100(+500-+150)$ МПа, переходящих в подголовочной зоне. Максимум значения напряжений находится вблизи нейтральной оси рельса и достигает $-118(-100-140)$ МПа. В подошве рельса действует растягивающее напряжение. Распределение напряжения по нижней грани подошвы носит экстремальный характер: $-10(+30-30)$ МПа в перьях подошвы и $+160(+80-+220)$ МПа в середине.

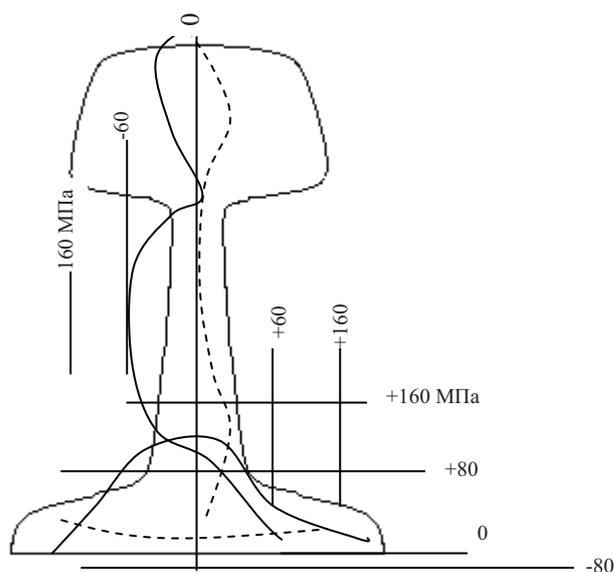


Рисунок 1 - Распределение остаточных напряжений в несварном закаленном рельсе

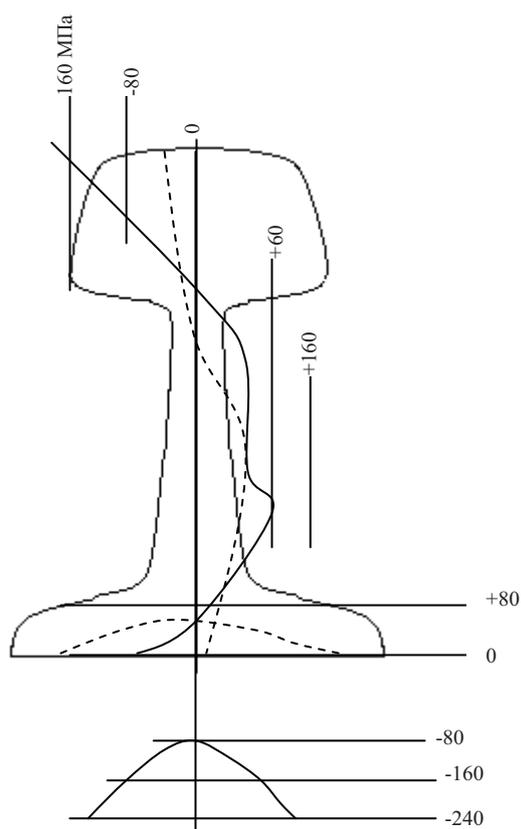


Рисунок 2 - Распределение остаточных напряжений в рельсе после сварки (в месте сварного шва)

Поперечные остаточные напряжения отсутствуют или оказываются настолько малыми по абсолютной величине, что их можно не учитывать. Распределение продольных напряжений в рельсах после сварки, имеет вид противоположный тому, который наблюдается в несварных рельсах. Так, сжимающие напряжения возникают в головке и подошве. В головке они равны $-175(-150-200)$ МПа. Распределение продольных сварочных напряжений по нижней грани подошвы в плоскости сварного шва также носит экстремальный характер: $-280(-200-350)$ МПа – в перьях подошвы и $+10(-60+80)$ МПа – в ее середине. В шейке – растягивающие напряжения, максимум которых располагается в зоне нейтральной оси рельса и равен $+160(+120+200)$ МПа.

Поперечные сварочные напряжения по абсолютной величине соизмеримы с продольными и представляют собой растягивающие напряжения. Они достигают наибольших значений в сварном шве в середине шейки $+150(+100+220)$ МПа и середине подошвы $+66(+60+80)$ МПа.

Для выяснения характера изменения остаточных напряжений по длине рельса методикой предусматривалось измерение напряжений в нескольких темплатах, последовательно вырезанных из одного и того же сварного стыка. Эпюры показывают, что сварочный нагрев изменяет остаточное напряжение состояния на достаточно большой длине рельса. Результаты измерения показывают, что величина продольных остаточных напряжений по мере удаления от места сварного шва плавно уменьшается до нуля, после чего растет до значений, характерных для уровня остаточных напряжений в несварных рельсах. Изменение величины напряжений сопровождается изменением ее знака на противоположный. Так, в головке рельсов снимающие остаточные напряжения $-170(-160-$

180) МПа действующие в месте сварного шва, на некотором удалении от него становятся растягивающими +110(+100-+120) МПа. Аналогичные изменения происходит в шейке и подошве сварных рельсов.

В противоположность продольным, поперечные напряжения имеют значительную величину +160(+100-+180) МПа лишь в области зоны термического влияния (35-40 мм от шва), а при большем удалении от шва не превышают +40(+30-+50) МПа.

Выводы:

Рассмотрены основные методы измерения остаточных напряжений в сварных рельсах. Представлены сравнительные характеристики различных методов для возможного определения оптимального.

ЛИТЕРАТУРА

1. Meier H. Eigenspannungen in Eisenbannschienen // organ fur fortschritte des Eisenbannwesens. – 1936.– N15 S. 320 – 329.
2. Биргер И. А. Остаточные напряжения. – М.: Машгиз, 1963. – 232 с.
3. JasoJimav., Mashiik. Residual stress in the rail // Permanent way. – P26 –28. – V8 – N1. – 1965.
4. Гликман Л.А. Методы определения остаточных напряжений // Чистовая обработка и состояние обработанной поверхности: Сб. науч.тр./ ЛИЭИ. – 1960. – Вып.30. – С. 58 – 98.
5. Цобкало С.С., Васильев Д.М. Измерение остаточных напряжений путем вырезания столбика // Заводская лаборатория. – 1949. – Т.15. – № 2. – С.199 – 202.
6. Ахметзянов М.Х., Кушнеров В.А. Определение остаточных напряжений в железнодорожных рельсах. // Строительная механика: Сб. науч. тр./ НИИЖТ. – Новосибирск: 1967. – Вып.62. – С. 24–38.
7. Конюхов А.Д. Изменение остаточного напряженного состояния головок рельсов при эксплуатации // Рельсы повышенной эксплуатационной стойкости: Сб. науч. тр./ ВНИИЖТ. – М.: Транспорт, 1966. – Вып.314. – С. 195 – 201.
8. Конюхов А.Д. Об оценке уровня остаточных напряжений в закаленных рельсах // Вестник ВНИИЖТ. – 1969. – № 6. – С. 41 – 43.

УДК 625.143:45

Баубеков Ермак Ельтаевич – к.т.н., доцент (Алматы, КазАТК)

Турдалиев Ауезхан Турдалиевич – д.т.н., и.о. профессора (Алматы, Каз НТУ)

Шоканов Сабит Шугаевич – инженер (Актобе, Западное отделение АО «НК «КТЖ»)

ПОВЫШЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В СИСТЕМЕ «КОЛЕСО-РЕЛЬС»

При выборе твердости элементов рабочей поверхности колеса необходимо учитывать не только износ, но и контактно-усталостную стойкость. Проблема контактно-усталостных повреждений за последний год обострилась. Напомним, что для устранения изъята колес по выщербинам второго типа необходимо увеличивать твердость поверхности катания свыше 400 НВ. Вероятно, что это также будет способствовать повышению сопротивления повреждаемости колес выщербинами первого типа. Со стороны технологии производства никаких непреодолимых препятствий при этом не возникает, однако появляются проблемы с обточкой колес и бандажей, которые в настоящее время решаются. Вопрос обточки колес с повышенной твердостью выходит за