

В. В. КАРТАШЕВ (УрГУПС, Екатеринбург, Российская Федерация)

ПРЕДПОСЫЛКИ, ПРИМЕНЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УПРОЧНЕНИЯ МЕТОДОМ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Стаття присвячена розвитку сучасних технологій, що дозволяють обирати оптимальний режим зміцнення литих деталей вагона методом пружно-пластичної деформації.

Статья посвящается развитию современных технологий, позволяющих выбирать оптимальный режим упрочнения литых деталей вагона методом упруго-пластической деформации.

The paper is devoted to development of advanced technologies, which allow choosing an optimum mode of hardening of the wagon cast parts by the method of elastic-plastic deformation.

В настоящее время железнодорожная отрасль развивается очень быстрыми и уверенными шагами, появляются новые поезда, новые вагоны, новые конструкции, увеличиваются объемы пассажирских и грузовых перевозок. Объемы отправления грузов увеличились за восемь месяцев к соответствующему периоду 2005-го на 3,4 %, а в августе – на 4,1 %. Это увеличение грузооборота на Российских железных дорогах на 4,1 % и обеспечивает 70 % прироста грузооборота всей транспортной системы страны. Устойчивая положительная динамика в грузовых и пассажирских перевозках позволяет наметить новые цели. И вместо 2,8 % роста объемов погрузки на нынешний год теперь определена цифра в 3,2. Для того, чтобы угнаться за постоянно растущим темпом перевозок, необходимо постоянно обновлять и ремонтировать подвижной состав. Покупка новых вагонов является хоть и нужным, но очень дорогим мероприятием, поэтому необходимо постоянно совершенствовать методику ремонта вагонов, т.к. неисправностей на них действительно хватает. Поэтому в этой области проводится множество исследований.

Многие открытия связаны с обеспечением безопасности и увеличения надежности подвижного состава, как грузового, так и пассажирского. Безотказная работа поезда в целом зависит от надежной работы его отдельных узлов – вагонов, которые, в свою очередь, будут обеспечивать должный уровень безопасности лишь при исправном состоянии отдельных узлов и их деталей.

Для обеспечения безопасности движения подвижного состава важна исправная работа каждой детали, но и здесь наиболее значимым является безотказность несущих элементов ва-

гона, таких как боковая рама тележки, наддресорная балка тележки, автосцепное устройство. Эти детали совершенствовались на протяжении многих десятков лет. Конструкции этих элементов являются оптимальными на сегодняшний день, но срок их службы недостаточно долг. Поэтому возникает вопрос – как продлить срок службы детали и увеличить её надежность с наименьшими затратами и без особых изменений в конструкции и металлоемкости?

На сегодняшний день продлевают срок службы литых деталей вагона при помощи различных методов упрочнения.

Упрочняющей обработке пластической деформации подвергаются детали различных форм, размеров и назначений, изготовленные из различных конструкционных материалов — сталей, чугунов, алюминиевых и титановых сплавов и т.п.

Упрочнению наиболее часто подвергаются зоны концентрации напряжений (отверстия, шлицы, резьбы, галтели, пазы); а также участки, недоступные при упрочнении в вибрационных, ударно-барабанных, дробеструйных и других подобных установках, а также места деталей, которые после упрочнения поверхности подвергаются последующей механической обработке, приводящей к частичной потере упрочненного слоя.

Поверхности, подвергаемые местному упрочнению, по группам сложности классифицируются следующим образом:

- плоскости (сплошные, с вырезами, с выступами);
- отверстия (прямолинейные и криволинейные, цилиндрические, конусные и фасонные, отверстия круглого и произвольного сечения);

- сложные поверхности (поверхности двойной кривизны, несквозные глубокие отверстия, окантовки и ребра жесткости, резьбовые и шлицевые поверхности).

- сопряженные поверхности, пересечения плоских, сложных или цилиндрических поверхностей, пересечения плоской и цилиндрической поверхностей, фаски и скосы.

Из приведенной классификации видно, что поверхности, подвергаемые упрочнению, достаточно разнообразны, и поэтому в качестве параметра, определяющего способ и технологию упрочнения, принято принимать именно форму изделия и тип упрочняемой поверхности. Еще одним фактором, влияющим на выбор способа упрочняющей обработки, являются требования по шероховатости обработанной поверхности. В зависимости от способа упрочнения шероховатость после упрочнения может или уменьшаться (например, раскатка отверстий), или увеличиваться (например, дробеструйная обработка).

Классифицируются способы упрочнения по ряду признаков в соответствии с требованиями ГОСТ 18296–92: по связи деформирующих тел с источниками энергии и движения (с жесткой связью, с упругой связью, с эластичной связью, с отсутствием связи); по способу передачи энергии деформируемым телам (механический, пневматический, гидравлический, электромагнитный, взрывной, комбинированный); по скорости деформирования (статические, динамические и комбинированные); по виду трения в контакте инструмента с деталью (контактное вдавливание, трение скольжения, трение качения, трение качения с проскальзыванием); по условиям трения в контакте с обрабатываемой поверхностью (сухое и со смазкой); по форме деформирующих тел (шарики, ролики, тела произвольной формы).

Выбор того или иного способа упрочнения зависит от ряда факторов формы и геометрических размеров обрабатываемых поверхностей, наличия на предприятии того или иного типа оборудования. Также выбор метода упрочнения связан с технологической схемой обработки, при этом анализируются данные о химическом составе и физико-механических свойствах обрабатываемого материала, проверяется шероховатость поверхности.

С учетом физико-механических свойств контролируют интенсивность поверхностной упрочняющей нагрузки. Также здесь следует обратить внимание на поверхностные слои так называемых образцов-свидетелей, изготовлен-

ных из тех же материалов, что и обрабатываемый материал. Размеры и форма таких образцов всегда разные и зависят, в основном, от выбора метода упрочнения. Например, при обработке дробью используются плоские пластины, а чтобы определить интенсивность упрочнения, рассматривается величина прогиба обработанной с одной стороны пластины.

Для обеспечения надежной работы в перспективных условиях эксплуатации такие ответственные несущие детали тележки, как надрессорная балка и боковая рама, должны иметь коэффициенты запаса усталостной прочности не менее 1,8. При этом живучесть деталей (длительность их работы в поврежденном состоянии – от начала зарождения трещины до разрушения) и хладостойкость материала не должны быть ниже, чем у серийных деталей из стали 20Г1ФЛ. Требования по прочности к материалу корпуса и тягового хомута автосцепки должны быть повышены как минимум в 1,5 раза. Это обусловлено не только расчетами на прочность, но и фактическим положением дел – число отцепок вагонов по неисправностям автосцепок практически не снижается. Поэтому требуется метод упрочнения, который будет увеличивать надежность несущих литых деталей вагона.

Наиболее реальным и эффективным способом повышения усталостной прочности несущих деталей тележки является способ упрочнения микропластической (упругопластической) деформации. Суть его заключается в том, что деталь на прессе подвергается деформированию вертикальной статической нагрузкой по схеме эксплуатационного нагружения до появления в наиболее напряженных зонах незначительных пластических деформаций. Эти деформации после снятия нагрузки вызывают в указанных зонах формирование остаточных сжимающих напряжений обратного знака по сравнению с рабочими. В эксплуатации остаточные напряжения, суммируясь с рабочими, уменьшают их, повышая тем самым предел усталости деталей. Важно отметить, что этот способ обеспечивает наибольшее упрочнение в зонах концентрации напряжений. Например, если в наиболее нагруженных зонах детали имеются литейные дефекты, то вследствие повышенной деформации в этих зонах появляются и повышенные остаточные напряжения, что уменьшает влияние литейных дефектов как концентраторов напряжений на усталостную прочность деталей.

Экспериментальная проверка эффективности упрочнения методом микропластической деформации проводилась на боковых рамах и надрессорных балках из сталей 20Л и 20ПФЛ на типовом прессовом оборудовании (рис. 1). Затем сравнительные испытания неупрочненных и упрочненных деталей проводились на гидро-пульсаторных машинах при постоянной средней нагрузке цикла для боковой рамы 300 кН, а надрессорной балки – 400 кН.

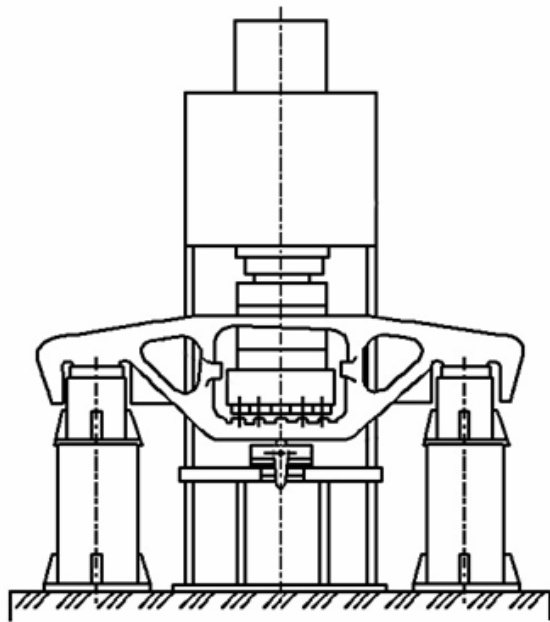


Рис. 1. Схема УПД боковой рамы на типовом прессовом оборудовании

Установлено, что микропластическая деформация повышает предел выносливости деталей из обеих марок сталей на 50...70 %. Это значит, что микропластическая деформация может быть использована для восстановления ресурса литых деталей вагонов эксплуатационного парка. Наряду с повышением усталостной прочности деталей, микропластическая деформация значительно снижает скорость развития усталостных трещин деталей.

Эти показатели говорят о практической и актуальности использования метода упруго-пластической деформации.

Но, несмотря на широкое применение упрочняющих операций, производство, тем не менее, испытывает большие затруднения в количественной оценке режимов обработки. Назначаемые технологические процессы, как правило, основываются на опыте или интуиции, которые не всегда приводят к наилучшим результатам.

Поэтому возникает необходимость провести упрочнение методом упруго-пластической деформации при помощи современных технических средств.

В первую очередь, необходимо создать модель исследуемого элемента. В качестве объекта исследования принимается центрирующая балочка автосцепки, боковая рама тележки грузового вагона, надрессорная балка. Для точного моделирования свойств деталей вагона необходимо создавать модели, как можно более точно описывающие геометрию реальных деталей. Для создания таких моделей может быть использован метод трехмерного компьютерного твердотельного моделирования.

Модель может создаваться различными способами, как при помощи булевых операций, так и по средствам примитивов, и с помощью вытягивания или поворота разреза и проекции вида. При создании деталей были использованы оба этих метода (рис. 2).

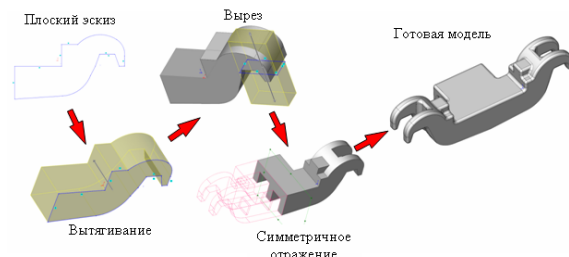


Рис. 2. Создание твердотельной модели

На следующем этапе производилось моделирование процесса упрочнения. Модель разбивается на конечные элементы. Чем мельче разбивка, тем больше времени будет затрачено на расчет, но увеличится точность результатов (рис. 3).

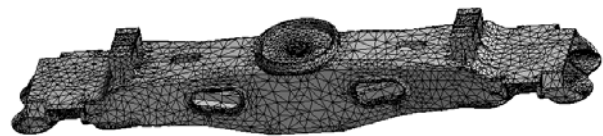


Рис. 3. Модель надрессорной балки тележки грузового вагона, разбитая на конечные элементы

Затем задаются нелинейные свойства материала, для этого задаются модуль Юнга и коэффициент Пуассона, и затем строится график зависимости давления от пластической деформации – для литейной стали (рис. 4).

Следующим этапом является установка закреплений и приложение упрочняющей нагрузки, это производится в соответствии со схемой, указанной на рисунке. При этом нагружение происходит пошагово, это позволяет смодели-

ровать за один этап расчета приложение и упрочняющей, и затем эксплуатационной нагрузки (рис. 5).

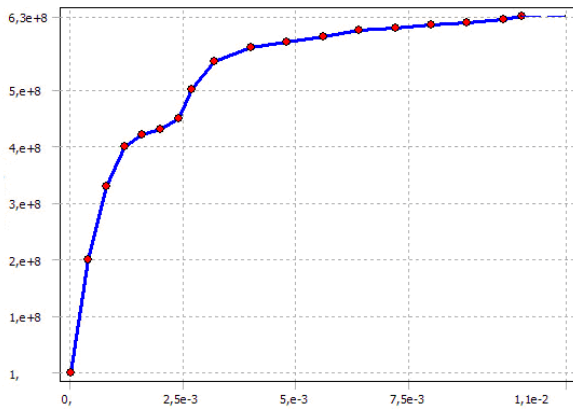


Рис. 4. График зависимости давления от пластической деформации

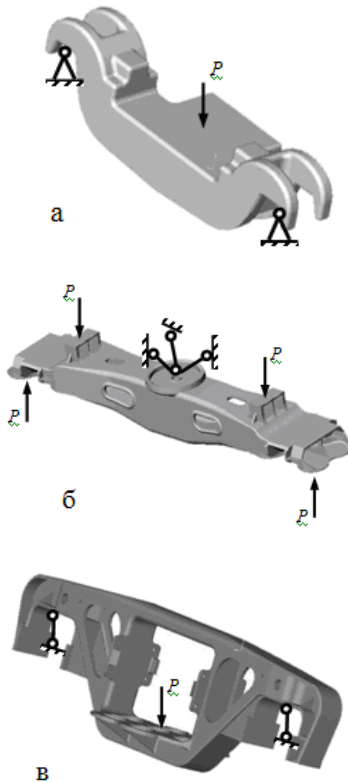


Рис. 5. Схема нагружения: а – центрирующей балочки автосцепки, б – наддресорной балки, в – боковой рамы

Следующим шагом методики является приложение расчетных нагрузок к упрочненной детали (в соответствии с нормами расчета на прочность). В результате получается некая кривая, учитывающая и упрочняющий процесс, и затем приложенную эксплуатационную нагрузку (рис. 6). В конце этого этапа модель запускается на расчет.



Рис. 6. Кривая, учитывающая и упрочняющий процесс, и приложенную эксплуатационную нагрузку для боковой рамы

После того как все три детали были закреплены, приложена упрочняющая, а затем эксплуатационная нагрузка – производится запуск на расчет. Важным моментом является то, что нагрузка прикладывается пошагово, это помогает процессору быстрее справиться с процессом расчета. В результате расчета получают эквивалентные напряжения, главные максимальные и минимальные напряжения. На рисунке представлены эквивалентные напряжения для боковой рамы, наддресорной балки и центрирующей балочки автосцепки (рис. 7, 8, 9). На этом этапе производится оценка напряженно-деформированного состояния. Результаты расчетов напряженно-деформированного состояния боковой рамы показали, что реализация вертикальной нагрузки обеспечивает качественную адекватность НДС боковой рамы и НДС соответствующих эксплуатационных нагрузок. Поскольку расчетная картина напряженно-деформированного состояния содержит концентраторы напряжений растяжения во всех типичных зонах технологических отказов боковой рамы: основания стоек рессорного проема, нижняя часть большого технологического отверстия, а также оба угла буксового проема. У центрирующей балочки автосцепки – это внутренние углы кронштейнов. Но при этом значения напряжений упрочненных деталей ниже, чем у неупрочненных.

Благодаря проведенному расчету смогут использоваться достоверные расчетные данные для восстановления ресурса боковых рам, наддресорных балок и центрирующих балочек автосцепок грузовых вагонов эксплуатационного парка. Также эти результаты можно использовать для повышения надежности тех же деталей вагонов новой постройки и других литых деталей. Благодаря использованию современных технических средств существенно сократится время на выполнение подобного расчета вручную и повысится точность результатов.

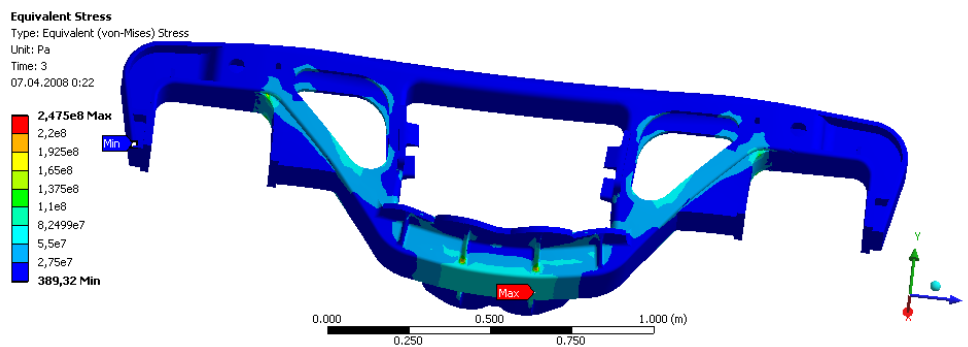


Рис. 7. Эквивалентные напряжения боковой рамы тележки грузового вагона

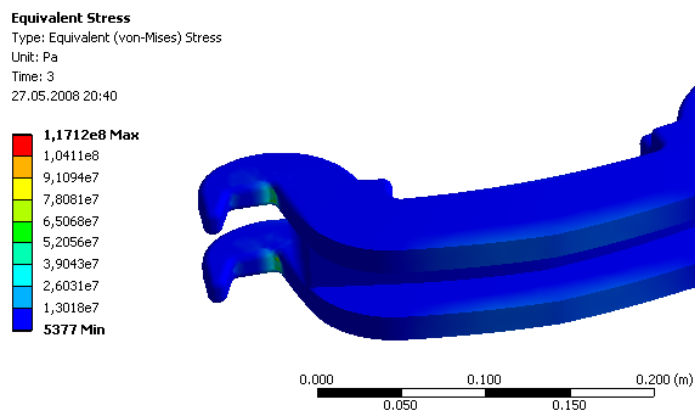


Рис. 8. Эквивалентные напряжения центрирующей балочки автосцепки

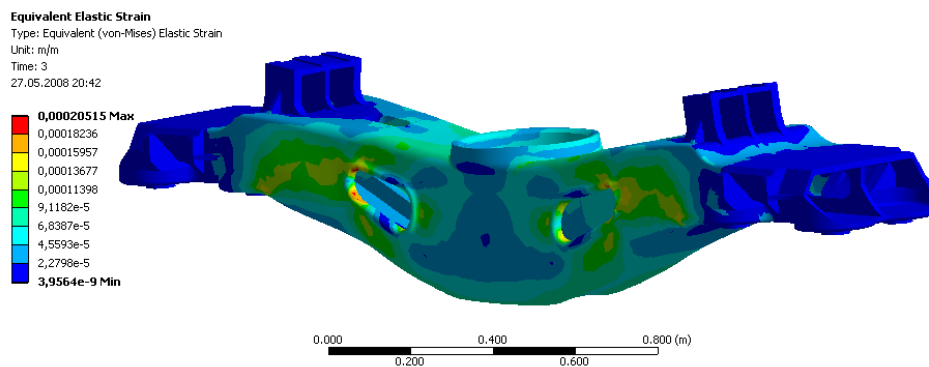


Рис. 9. Эквивалентные напряжения наддресорной балки тележки грузового вагона

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Михалёв М. С. Упрочнение литых несущих деталей вагонов / М. С. Михалёв, В. К. Сотников, С. И. Попов // Железнодорожный транспорт, 1983. – № 10. – С. 45-47.
2. Попов С. И. Повысить прочность литых несущих деталей тележки методом УПД: НИР, 1990.
3. Актуальные проблемы – в центре внимания // Октябрьская магистраль, № 105, 05.11.2005.

Поступила в редколлегию 26.05.2008.