

Испытания колесных пар на усталостную прочность

Новый изгибно-вращательный стенд, установленный на заводе в Ильзенбурге, используется для испытания деталей широкого спектра, но прежде всего — колес и осей колесных пар. Его конструкция предусматривает возможность переналадки, что позволяет испытывать детали разнообразной конфигурации.

Европейские стандарты, такие, например, как EN 13260, EN 13261 и EN 13262, предписывают проведение аттестации осей колесных пар и цельнокатаных колес по их техническому состоянию и форме. Оценочные указания Технической спецификации по совместимости систем (TSI) по своему содержанию также основаны на европейских нормативах.

Наряду с предписаниями по геометрии изделий и свойствам используемого материала, а также с требованиями к качеству большое внимание уделяется теме усталостной прочности, важной с точки зрения безопасности движения. Этот показатель зависит от геометрических параметров деталей и свойств материала.

Для полнотелых осей колесных пар и осей с продольным отверстием в указанных стандартах предусмотрено пять геометрических диапазонов (от P1 до P5), в которых для трех испытательных образцов следует определить и подтвердить в

процессе испытаний показатели по усталостной прочности. Аттестация продукции проводится при определенных условиях — например, в случае применения новых материалов или появления нового поставщика, при изготовлении осей колесной пары другого диаметра по сравнению с ранее аттестованными, при изменении технологии изготовления. Для определения размеров оси колесной пары в соответствии со стандартами EN 13103 и EN 13104 следует провести дополнительные испытания в отношении соблюдения допустимых напряжений на образцах малого размера с надпилем и без.

В рамках аттестации продукции по стандарту EN 13262 подтверждение допустимости переменных напряжений ± 240 МПа для обработанного цельнокатаного колеса проводят путем испытания двух образцов. Допустимая величина напряжений для колес с необработанным диском лежит в диапазоне ± 168 МПа. Такой контроль про-

дукции необходим в том случае, если, например, величина расчетных радиальных напряжений находится в пределах 50–100% максимального значения усталостной прочности, повышена шероховатость поверхности или применены новые технологии изготовления. Кроме того, в соответствии со стандартом EN 13979–1 для допуска к эксплуатации цельнокатаного колеса новой конструкции необходимо соблюдение требования о подтверждении величины усталостной прочности. Такое подтверждение получают с помощью специальных технических испытаний.

Если при расчетах конструкции цельнокатаного колеса должен быть получен результат, не превышающий критерия принятия положительного решения ($A = \pm 180$ МПа), испытания на стенде следует проводить для четырех образцов. На них должен быть получен результат, соответствующий 1,4-кратным эквивалентным напряжениям, которые определяют при измерительных поездках и в ходе оценочных машинных расчетов по схеме, приведенной на рис. 1.

Определение значений усталостной прочности в рамках квалификации продукции, задаваемой технологией конкретного изготовителя, в настоящее время проводится на оригинальных деталях с использованием испытательных стендов. Такой способ, как правило, требует значительных расходов и затрат времени. Однако для получения достоверных и лежащих в пределах допусков данных без этого обойтись нельзя. Только по результатам испытаний можно однозначно оценить показатели усталостной прочности, например, для образ-

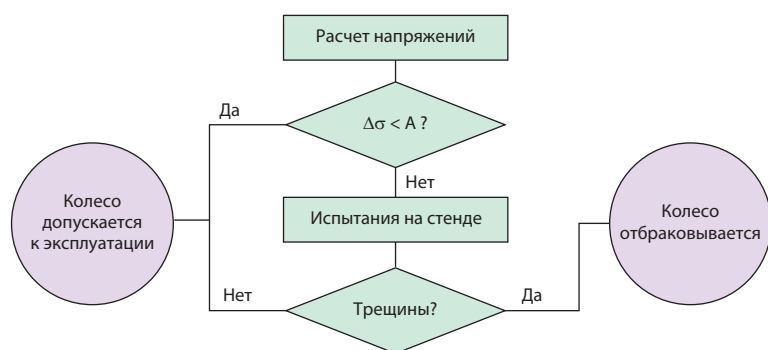


Рис. 1. Схема оценки механических свойств цельнокатаного колеса

цов, предлагаемых новым изготовителем, или для новых видов материалов и конструкций. Любое изменение или усовершенствование, вносимое в указанные ранее нормативные документы, касающиеся рассматриваемой тематики, также должно базироваться на результатах испытаний.

Применяемые методики испытаний

Используемые в настоящее время программы испытаний построены на базе требований о многократном сокращении их длительности и с учетом превышения реальных эксплуатационных нагрузок на испытываемый образец. При этом возможно возникновение повреждений, аналогичных тем, которые могут иметь место в процессе эксплуатации. Обычно при одноступенчатых испытаниях усталостная прочность определяется в результате приложения 10^7 циклов нагрузки.

Для определения усталостной прочности стандарты допускают применение различных способов испытаний и разных видов испытательного оборудования в зависимости от испытываемой детали и возможностей испытательного центра. При этом каждый способ испытаний может иметь свои преимущества и недостатки, которые должны быть учтены при техническом перевооружении испытательных центров.

Для колес железнодорожного подвижного состава испытания проводятся преимущественно вращательно-изгибным методом или на стенде для испытаний по методу Bastenaire. Основные различия заключаются в длительности испытаний, а также в числе и положении нагружаемых поперечных сечений (рис. 2). При испытаниях по способу Bastenaire с помощью действующего в двух направлениях гидrocиллиндра усилием F нагружается только одно поперечное сечение ко-

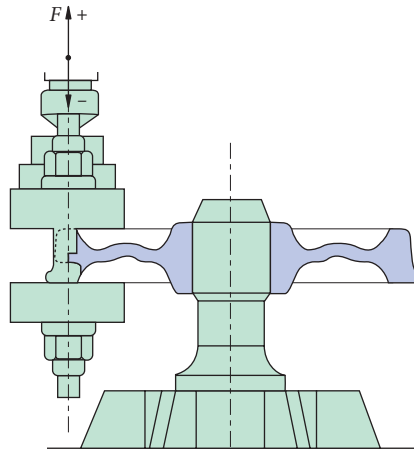


Рис. 2. Стенд для испытаний колеса стохастически действующими нагрузками по методу Bastenaire

леса. В этом случае частота приложения нагрузок значительно ниже, чем при испытании на вращательно-изгибном стенде.

При испытаниях осей колесных пар используют испытательные стенды разных типов. В зависимости от способа испытаний здесь различают варианты с двух-, трех- и четырехточечным изгибом. Выбор схемы приложения нагрузок в решающей мере определяет распределение изгибающего момента по оси колесной пары и в значи-

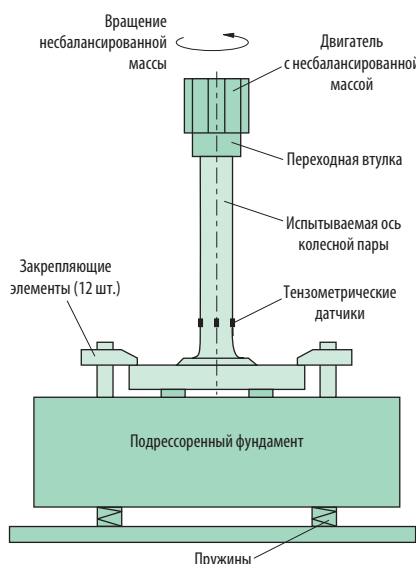


Рис. 3. Схема вращательно-изгибного стенда для испытаний осей колесных пар на усталостную прочность

тельной степени влияет на величину технических затрат для всей испытательной установки.

На рис. 3 схематически представлена вращательно-изгибная испытательная установка с резонансным возбуждением колебаний. Испытываемая половина колесной пары с помощью винтовых прижимов жестко крепится к виброизолированной фундаментной плите. На свободном конце вертикально стоящей полуоси с помощью фланца закреплен электродвигатель, приводящий во вращение несбалансированную массу. При вращении этой массы возникает центробежная сила, которая по всей длине испытываемой полуоси создает изгибающий момент. Величина нагрузки определена частотой вращения электродвигателя и, соответственно, несбалансированной массы.

Конструктивно стенд представляет собой систему масса – пружина, работающую на восходящей ветви резонансного пика. Благодаря этому необходимые амплитуды колебаний могут быть реализованы при относительно небольших энерготратах. Стенд опирается на подпружиненную фундаментную плиту, предотвращающую распространение механических колебаний.

Стенд такого типа имеет широкую область применения и представляет собой оптимальную по эффективности испытательную установку. Такую систему характеризуют следующие принципиальные отличительные признаки:

- в системе масса – пружина с резонансным возбуждением испытываемый образец выполняет функции пружины;
- при используемой схеме ввода усилия и обусловленном этим распределении изгибающего момента обеспечивается двухточечный изгиб;
- стенд может быть использован для испытаний как цельнокатаных колес, так и осей колесных пар;

- стенд имеет простую конструкцию и отличается низким потреблением энергии;

- при вращении несбалансированной массы, вызывающем изгиб испытуемого образца, нагружаются все его поперечные сечения.

Система требует обязательной статической и динамической калибровки до начала испытаний, потому что при работе в резонансном диапазоне возможны некоторые отклонения параметров. В ходе испытаний следует учитывать типичную картину распределения момента при двухточечном изгибе оси колесной пары с максимумом в месте закрепления и линейным снижением по длине до нуля в точке приложения силы.

Вращательно-изгибный испытательный стенд

На заводе по производству колесных пар в Ильзенбурге уже в течение многих лет проводятся исследования колес и осей колесных пар на усталостную прочность. Основным инструментом этих исследований служит вращательно-изгибный стенд, на котором испытывают все виды выпускаемых заводом цельнокатаных колес и осей колесных пар. Система управления и регулирования резонансного испытательного стенда выполнена компанией SincoTec в Клаусталь-Целлерфельде в рамках исследовательского проекта, реализованного для железных дорог Германии (DB). Эти системы отвечают современным требованиям к оборудованию для подобных испытаний. Стенд может быть классифицирован как относительно небольшая испытательная установка, однако благодаря целенаправленным мерам по приведению системы масса — пружина в соответствие с планировавшейся номенклатурой деталей, подлежащих испытаниям, все стоящие перед ним испытательные задачи успешно решают-

ся. Этот стенд имеет следующие особенности:

- масса поддрессоренного фундамента относительно невелика и составляет 25 т;

- диаметры круга катания испытываемых колес лежат в диапазоне от 500 до 1250 мм;

- длина испытываемых осей колесных пар составляет 1200–2300 мм;

- частота приложения нагрузки при испытаниях — 15–25 Гц;

- для регулирования и управления испытательным стендом используется система, разработанная компанией SincoTec;

- измерение напряжений в дополнительных точках осуществляется посредством тензометрических датчиков;

- испытания проводятся в одноступенчатом режиме повышения нагрузки, однако в перспективе возможно использование блок-программ.

В зависимости от постановки задачи после каждого цикла нагружения и по окончании испытаний поступающие детали проверяют на отсутствие трещин.

Испытательный стенд на заводе в Ильзенбурге в соответствии со стандартом EN ISO/IEC 17025 сертифицирован и аккредитован как самостоятельный испытательный центр. Это означает, что данный испытательный центр отвечает всем профессиональным, техническим и качественным требованиям, которые могут предъявляться к средствам испытаний на усталостную прочность деталей, важных с точки зрения безопасности. Центр имеет право не только испытывать продукцию своего завода, но и выполнять профильные заказы сторонних предприятий.

Исследования, связанные с реализацией научных проектов

Важной областью задач, решаемых с помощью испытательного стенда, является определение ус-

талостной прочности в рамках аттестации продукции поставщиков. Речь идет о колесах и осях колесных пар, которые изготавливаются из материалов, поставляемых разными металлургическими компаниями. Наряду с такими внутренними исследованиями предполагается в дальнейшем проводить совместные работы по общим проектам с другими поставщиками колесных пар, а также с DB и другими компаниями-перевозчиками.

В рамках проекта министерства образования и исследований (BMBF) «Надежные и экономичные конструкции ходовой части железнодорожного подвижного состава» проводились фундаментальные исследования в отношении усталостной прочности различных конструкционных материалов. Особое внимание при этом было уделено зонам сопряжения закруглений (например, галтель заподступичной части) и подступичной части оси. Это исследование потребовалось для подтверждения значений параметров, которые были получены из разных источников. Анализ этих данных показал, что они частично не совпадают с ожидавшимися, что стало причиной активного обсуждения их специалистами.

В следующем проекте «Надежная и экономичная эксплуатация ходовой части железнодорожного подвижного состава» проводилось исследование полнотелых и полых осей колесных пар из стали марки A4T. Удалось установить, что наличие сквозного отверстия снижает усталостную прочность оси колесной пары. В принципе подтвердились заложенные в расчетные методики пониженные допустимые напряжения для пустотелых осей колесных пар. В каждом из опытов на стенд устанавливали половину оси с напрессованным колесом и прикладывали нагрузку к свободному концу полуоси. В ходе дополнительных исследований в рамках данно-

го проекта влияние пустотелости на усталостную прочность при отверстии уменьшенного диаметра планировалось рассмотреть более подробно и разработать оценочные методики.

Другие исследовательские проекты имеют целью повышение усталостной прочности деталей за счет упрочняющей обработки поверхности осей колесных пар, например, путем ионного имплантирования или нанесения различными способами поверхностного слоя соответствующего металла. В этой области уже проведены некоторые исследования, подтвердившие принципиальную целесообразность применения таких технологий.

Другие возможности применения

Представленные исследования в основном проводились на деталях серийного изготовления. Качество их поверхностей и геометрические параметры были выдержаны в соответствии с требованиями чертежей. В будущем программой научных исследований и испытаний предусматривается оценка состояния деталей, которые работали в условиях регулярной эксплуатации. Особое внимание будет уделено влиянию на усталостную прочность повреждений покрытий или основного материала, связанных с ударами камней или воздействием коррозии.

Большое значение придается также исследованию повышенной шероховатости изготовленных осей, которая обеспечивает улучшение адгезии наносимого поверхностного покрытия. Целью испытаний на усталостную прочность является

получение доказательств соблюдения соответствующих нормативов в тяжелых условиях эксплуатации. Что касается повышенной шероховатости, то современная технология нанесения покрытий предусматривает ее искусственное увеличение путем предварительной струйной обработки поверхности.

Другая область исследования — изучение места напрессовки зубчатого колеса редуктора. Здесь особенно важно учитывать, что фрикционная коррозия в месте напрессовки зубчатого колеса с избыточным положительным допуском снижает усталостную прочность оси. При разработке схемы таких испытаний важно учитывать проблему, связанную с созданием изгибающего момента достаточно большой величины в месте напрессовки зубчатого колеса (обычно посередине оси колесной пары). При этом важно не допустить возникновения чрезмерной перегрузки и преждевременного разрушения испытуемой оси в этом месте. При сохранении самого принципа испытаний на вращательно-изгибном стенде в данном случае следует считаться с определенными отличиями геометрических параметров испытываемого образца. Все отклонения от базовой геометрии в ходе испытаний особым образом учитываются.

Важным упрощением является проведение испытаний без учета действующих по всей длине оси тормозных и тяговых моментов, которые в действительности представляют собой довольно существенную компоненту общей нагрузки для осей моторных колесных пар. В дальнейшем эти торсионные моменты приближенно учитываются

расчетным путем, при этом величину изгибающих моментов принимают повышенной по сравнению с реальной.

Еще одна актуальная в будущем область применения вращательно-изгибного испытательного стенда — исследование развития трещин для оценки существующих начальных трещин с точки зрения механики разрушения. Такого рода исследования до сих пор выполнялись на идеализированных образцах в масштабе 1:3. Для полной гарантии достоверности полученных этим способом результатов необходимы испытания на натуральных образцах компонентов колесных пар. Для выполнения такой задачи требуется оснащение испытательного стенда системой управления и регулирования более высокого технического уровня, поскольку во время проведения испытаний длину и глубину трещины, а также ее форму необходимо непрерывно контролировать. Имеющаяся на сегодня система управления выполнена таким образом, что в момент появления трещины ввиду изменения при этом резонансной частоты испытательный стенд выключается. Параметрами, зафиксированными именно на этот момент, определяется значение усталостной прочности. Оценка процесса механического разрушения должна проводиться на усовершенствованном стенде, который продолжает работать в момент появления трещины и в период ее развития.

M. Schwartze. Eisenbahningenieur, 2010, № 2, S. 42–45; материалы компании Radsatzfabrik Ilsenburg (www.rafil-gmbh.de).