

УДК 629.3.027:620.178.324

Вахромеев Александр Михайлович, канд. техн. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, wheeltest@bk.ru

МЕТОДЫ СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ КОЛЕС АВТОМОБИЛЕЙ НА УСТАЛОСТЬ И УДАР

Аннотация. Прочность колес автотранспортных (АТС) средств во многом определяет их безопасность. Многочисленные случаи ДТП, техногенных аварий с тяжелыми последствиями были вызваны разрушениями колес АТС. В связи с этим автомобильные колеса подвергаются обязательным сертификационным испытаниям при различных видах нагрузок, и их установка на транспортное средство требует обязательного получения сертификата соответствия. Источником разрушения всегда являются трещины, возникающие в колесе автомобиля и быстро развивающиеся при перегрузках. Трещины могут возникать из-за накопления усталостных повреждений и при воздействии ударных нагрузок. Таким образом, разрушение колеса происходит либо при исчерпании ресурса, либо при воздействии перегрузки. Поведение колеса при разных видах нагружения зависит от конструкции, материала и технологии изготовления колеса. Таким образом, при проектировании колес важно учитывать все эти факторы. Так как после изготовления колеса подвергаются стендовым испытаниям по программам и при условиях нагружения, соответствующим нормативным требованиям, то и расчетный анализ обычно проводится при так называемых стендовых условиях нагружения. Эти условия содержатся в различных нормативных документах, которые определяются в основном назначением колес. В статье приводится анализ существующих методов испытаний колес легковых автомобилей на усталость и удар.

Ключевые слова: колесо автомобиля, нагрузки на колесо, испытания на усталость, испытания на удар.

Vakhromeev Alexander M., Ph. D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, wheeltest@bk.ru

METHODS OF CERTIFICATION TESTING OF CAR WHEELS FOR FATIGUE AND SHOCK

Abstract. The strength of the wheels of motor vehicles (ATS) largely determines their safety. Numerous cases of road accidents, man-made accidents with severe consequences were caused by the destruction of the wheels of the PBX. In this connection automobile wheels are subjected to obligatory certification tests at different types of loadings, and their

installation on the vehicle demands obligatory obtaining of the certificate of conformity. The source of destruction always are cracks appearing in the wheel of the car and quickly developing during overloads. Cracks can occur due to accumulation of fatigue damages and under impact of shock loadings. Thus, the destruction of the wheel occurs either when the resource is exhausted, or when exposed to overload. The behavior of the wheel under different types of loading depends on the design, material and manufacturing technology of the wheel. Thus, when designing wheels, it is important to consider all these factors. After the construction of the wheel are subjected to a bench test programme and conditions, applicable regulatory requirements and design analysis is usually performed by the so-called poster loading. These conditions are contained in various regulations, which are determined mainly by the purpose of the wheels. The article analyzes the existing methods of testing the wheels of cars for fatigue and impact.

Key words: car wheel, wheel load, fatigue test, impact test.

Введение

Дисковые колеса являются высоконагруженными элементами конструкции транспортных средств. Прочность колес автотранспортных средств (АТС) во многом определяет их безопасность. В связи с этим автомобильные колеса подвергаются обязательным сертификационным испытаниям при различных видах нагрузок, и их установка на транспортное средство требует обязательного получения сертификата соответствия. Источником разрушения всегда являются трещины, возникающие в колесе автомобиля и быстро развивающиеся при перегрузках. Трещины могут возникать из-за накопления усталостных повреждений и при воздействии ударных нагрузок. Таким образом, разрушение колеса происходит либо при исчерпании ресурса, либо при воздействии перегрузки. Поведение колеса при разных видах нагрузок зависит от конструкции, материала и технологии изготовления колеса. После изготовления колеса подвергаются стендовым испытаниям по программам и при условиях нагрузок, соответствующих нормативным требованиям, а расчетный анализ обычно проводится при так называемых стендовых условиях нагрузки. Эти условия содержатся в различных нормативных документах [1–3] и др.

Поэтому выбору их параметров и испытаниям придается особое значение. Необходимость учета сложной конструкции и многомерных стохастических нагрузок (рис. 1) во время эксплуатации затрудняет оптимальный выбор параметров и обуславливает особые требования к экономичной испытательной процедуре.

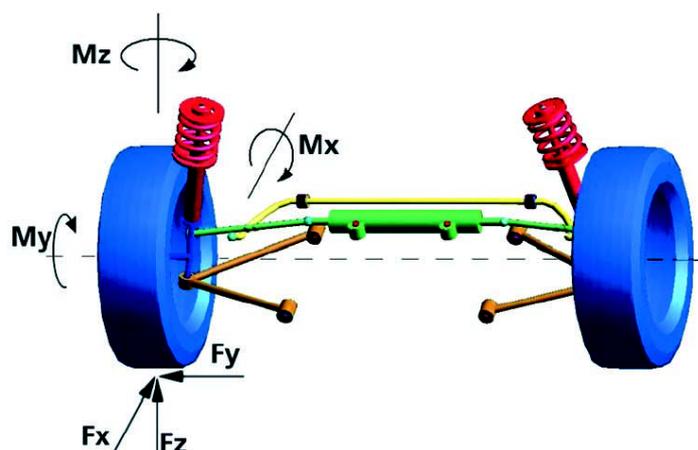


Рис. 1. Силы, действующие на автомобильное колесо

Основные нагрузки в колесах легковых автомобилей вызываются вертикальной силой F_z и боковой F_y на опорной поверхности колеса [4–7]. Окружные силы вследствие ускорений или торможений нужно принимать во внимание только для колес со спицами (спицевые колеса применяются, например, в мотоциклах или лимузинах). Связь между сроком службы колеса, т. е. перенесенным числом циклов нагружений до образования трещины и уровнем нагрузки описывается кривой выносливости. Кроме переменных должны также восприниматься ударные нагрузки (они возникают, например, при наезде на камень или соприкосновении с препятствием при заносе автомобиля) без возникновения трещины на ободе или без утечки воздуха. При этом кинетическая энергия должна преобразовываться в работу упругой или пластической деформации без ущерба для несущей способности колеса. Поэтому перед колесами, особенно из легких металлов, ставят более высокие требования.

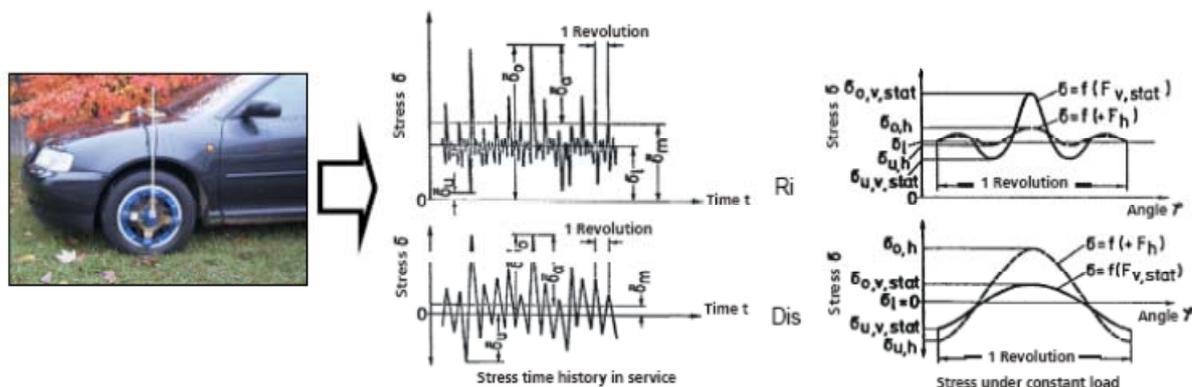


Рис. 2. Характерное изменение напряжений в дисковых колесах легковых автомобилей при медленном качении колеса с радиальной шиной

Методика испытаний на изгиб с вращением

Указанные функциональные связи напряжения–место–время и совокупность нагрузок способствуют пониманию процессов, происходящих в дисковых колесах. Однако при проведении лабораторных испытаний требуется интегрированное упрощение нагрузок, для того чтобы создать эквивалентные условия для испытаний. Это имеет большое значение при проведении испытаний качества первых образцов или колес специального назначения. При этом достаточно сосредоточить испытания на отдельных критических точках колеса, чтобы в этих местах подтвердить достаточный срок службы.

Рекомендуется для определения эквивалентной нагрузки использовать названные ранее основные нагрузки: вертикальную нагрузку на колесо F_z и боковую силу F_y , действующую в контакте колеса с дорогой. Вертикальная нагрузка на колесо F_b на вылете колеса e и боковая сила F_y на динамическом радиусе качения образуют изгибающие моменты. Их сумма и изменение во времени дают результирующий вращающийся изгибающий момент как несложную эквивалентную нагрузку (по уравнению 1):

$$M_{z\max} = n (F_z e + F_z r_{\text{дин}}) = n F_z (e + \mu r_{\text{дин}}). \quad (1)$$

Здесь n – коэффициент нагрузки при движении автомобиля по кривой и μ – коэффициент трения между шиной и дорожным полотном. Согласно [5] для испытания колес легковых автомобилей из легких сплавов для расчета максимального изгибающего момента принимается $n = 2$ и $\mu = 0,9$, для стальных колес – $n = 2$ и $\mu = 0,7$.

Для описания метода испытаний дисковое колесо представляется в виде передаточной системы, входной величиной которой является испытательная нагрузка, а в качестве реакции системы на ее выходе измеряются упругие деформации и соответствующее им число циклов нагружения. Эта реакция на испытательную нагрузку дает важную информацию об изменении прочностных свойств колеса во времени. Основная идея методики испытаний состоит в том, что значение вращающегося изгибающего момента во время всего периода испытаний, от его начала и до разрушения образца, не должно изменяться.

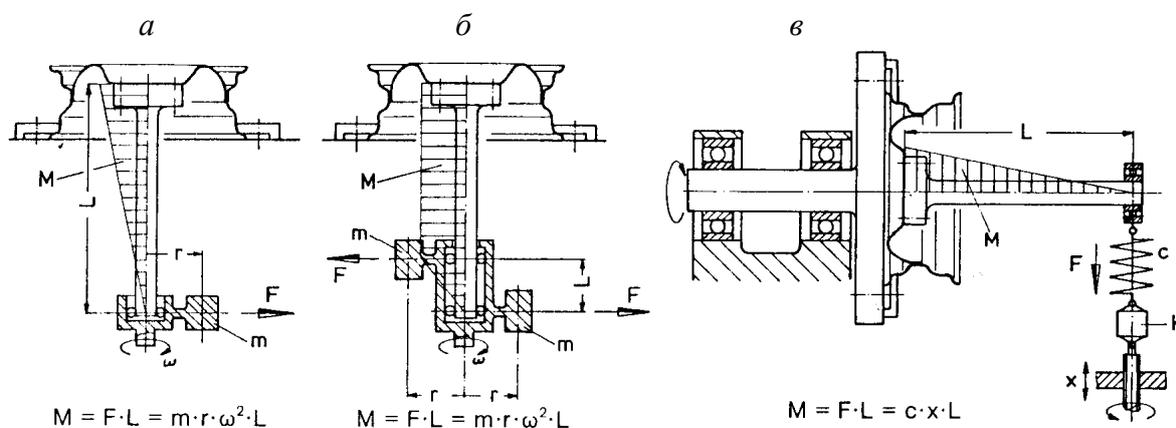


Рис. 3. Принципы образования вращающегося изгибающего момента: а) неподвижное колесо с вращающейся неуравновешенной массой (эксцентриситет – угловая скорость – центробежная – сила, которая на плече рычага-вала образует момент M); б) приложение сил такое же, как и в а), только парой сил с плечом, образующих постоянный по длине рычага-вала момент M ; в) воздействие неподвижного изгибающего момента на вращающееся колесо, приложение силы на плече через пружину с жесткостью C и со свободным ходом (измерение силы осуществляется динамометром K)

В качестве реакции на действие вращающегося изгибающего момента подсчитывается число циклов нагружения до образования

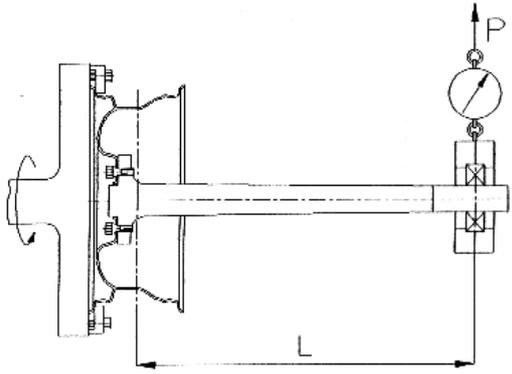
трещины или полного разрушения колеса. Вращающийся изгибающий момент (уравнение 1) может быть получен с помощью испытательных устройств, показанных на рис. 3.

Их общими признаками являются постоянный вращающийся изгибающий момент, способ крепления и зажима колес, устройство нагружения, система измерения и контроля вращающегося изгибающего момента, амплитуды колебаний, число циклов нагружений и частоты вращения.

Стенды для испытания колес по методу вращающегося изгибающего момента

Далее будут описаны функции и принципы работы испытательных стендов, схемы которых показаны на рис. 3. На рис. 4 показан испытательный стенд, в основе которого находится схема, представленная на рис. 3 в, который применяется для испытания материала и в опытах с переменным изгибом. Здесь вращающийся изгибающий момент создается не центробежными силами от вращающихся неуравновешенных масс, а приложением испытательной нагрузки на постоянном плече рычага-вала, соединенного с вращающимся колесом.

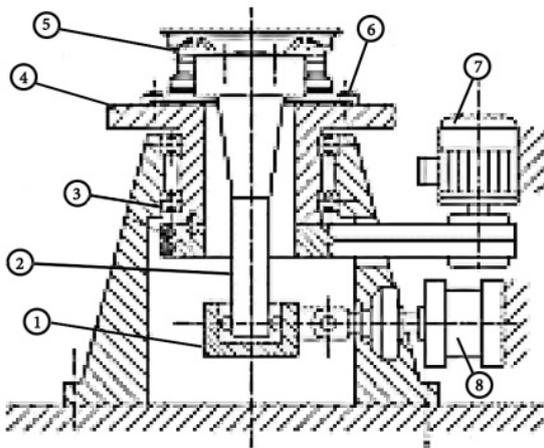
Приложение силы может производиться силами пружин (рис. 4а) или массовым нагружением (рис. 4б). При обоих способах нагружения, однако, необходимо центрирование колеса и рычага-вала с минимальным радиальным биением. Эксцентриситеты рычага-вала в месте приложения нагрузки при массовом нагружении вызывают силы массового ускорения, а при нагружении пружинами – периодические дополнительные силы, которые перераспределяют постоянную поперечную нагрузку. Эти недостатки отсутствуют у стендов, показанных на рис. 4 (в, г).



а



б



в



г

Рис. 4. Принципиальная схема и общий вид стенда для испытаний колес легковых автомобилей по методу вращающегося изгибающего момента по схеме 3 в (а и б) и по схеме 3 а (в и г) – (см. рис. 3)

Методика испытаний на воздействие радиальной нагрузки

Испытания колес при динамической радиальной нагрузке следует проводить на стенде с беговым барабаном для сравнительной оценки усталостной прочности всех элементов колеса в сборе с шиной и определения наименее прочных элементов колеса.

При испытаниях имитируют движение колеса по прямой.

Испытаниям подвергают два колеса.

Схема нагружения колеса при испытаниях должна соответствовать схеме, указанной на рис. 5.

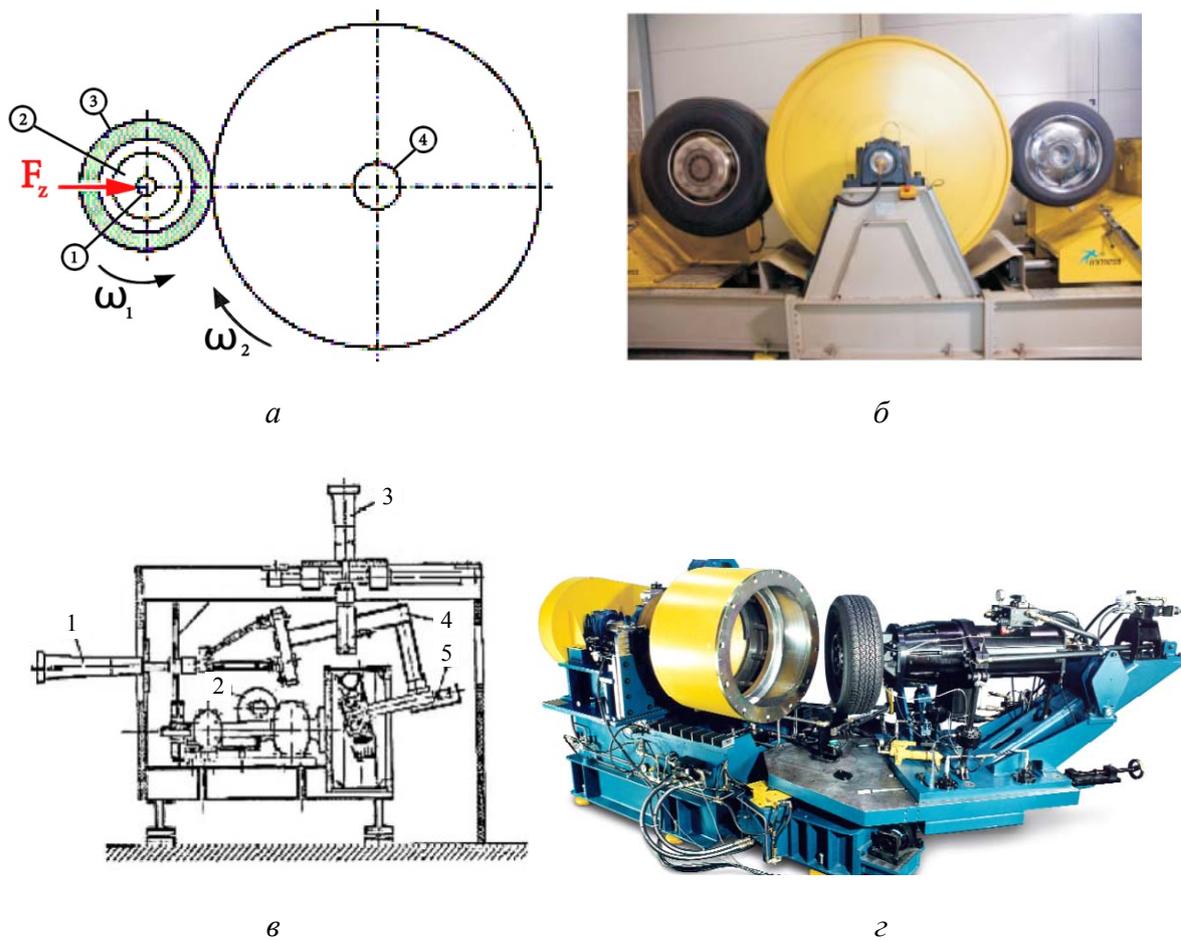


Рис. 5. Принципиальные схемы (а и в) и общий вид стенда для испытаний колес легковых автомобилей на воздействие динамической радиальной нагрузки (б и г):
 1 – детали крепления колеса; 2 – колесо; 3 – шина; 4 – барабан приводной

Испытательный стенд должен быть оборудован устройством, обеспечивающим приложение постоянной радиальной нагрузки при вращении колеса. Стенд должен содержать приводной вращающийся барабан с гладкой поверхностью, ширина которого больше ширины профиля шины под нагрузкой. Диаметр барабана при наружном обегании должен быть не менее 1590 мм, а при внутреннем – не менее 1400 мм. Детали крепления колес должны быть затянуты с моментом, значение которого указано изготовителем транспортного средства, с периодическим контролем усилия затяжки во время проведения испытаний и восстановлением требуемого значения затяжки. Для проведения испытаний на колесо должна быть установлена шина максимального типоразмера, указанного изготовителем транспортного средства

для данного размера колеса. Значения внутреннего давления воздуха в холодных шинах для легковых и грузовых автомобилей перед началом испытаний должны выбираться из табл. 1 в зависимости от давления, рекомендуемого для эксплуатации. В процессе испытаний снижение давления воздуха в шине не допускается.

Таблица 1

Давление при эксплуатации, кПа	Давление перед началом испытаний, кПа
До 160	280
От 161 до 280	450
От 281 до 450	550

Проходимый путь при испытаниях колес легковых автомобилей должен быть не менее 2000 км при скорости от 70 до 100 км/ч с радиальной нагрузкой $2,5 F_z$, где 2,5 – коэффициент перегрузки; F_z – максимальная вертикальная статическая нагрузка на колесо транспортного средства, Н. Отклонения давления в шине и нагрузки не должны превышать $\pm 2,5\%$ для шин легковых автомобилей. Критерием предельного состояния колес является появление усталостных трещин в элементах колес, определяемых рентгеновским контролем или проникающей краской.

Методика испытаний на удар

Определение сопротивления колеса удару под углом 30°. Испытания проводят с целью оценки прочностных характеристик колес при ударе свободно падающим грузом. Испытательный стенд (рис. 6) должен обеспечивать воздействие ударной нагрузки комплекта грузов на бортовую закраину обода колеса в сборе с шиной наименьшего размера из ряда рекомендуемых изготовителем транспортного средства для данного размера обода. Груз должен состоять из двух масс (основной и дополнительной), взаимодействующих между собой через винтовые

пружины. Техническая характеристика комплекта масс груза и винтовых пружин указана в табл. 2.

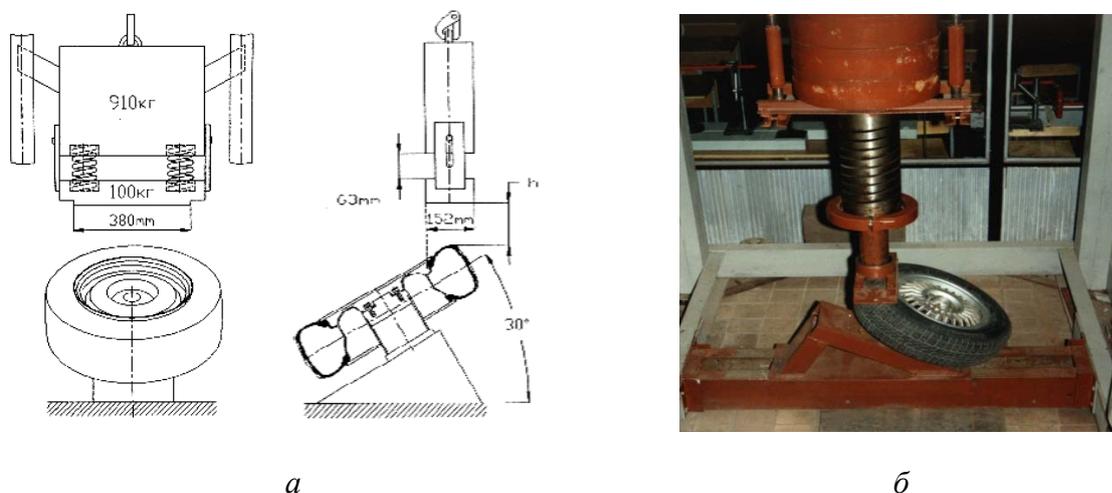


Рис. 6. Принципиальные схемы (а) и общий вид (б) стенда для испытаний колес на удар под углом 30°

Таблица 2

Масса груза, кг		Параметры винтовых пружин		
Основная	Дополнительная	Количество пружин, не менее	Суммарная жесткость пружин, кН/мм (кг/мм)	Предварительное сжатие системы пружин, мм
910±18	100±4,5	2	0,98–1,3	6

Высоту расположения ударного элемента над верхней точкой пневматической шины (h), мм, рассчитывают по формуле: $h = kF_z$, где k – переходный коэффициент, равный 0,03 мм/Н (0,3 мм/кгс) для колес легковых автомобилей; F_z – максимальная вертикальная статическая нагрузка на колесо, Н. Для колес легковых автомобилей высоту расположения ударного элемента h принимают равной 64 мм, если расчетное значение высоты $h \leq 64$ мм. Во время испытаний колесо в сборе с шиной должно быть установлено на опоре стенда под углом $30^\circ \pm 1^\circ$ к горизонтальной плоскости и жестко закреплено деталями крепления, применяемыми на автомобиле, с усилием затяжки, предусмотренным изготовителем транспортного средства. Давление воздуха в шине должно

соответствовать значению, предусмотренному изготовителем транспортного средства. При сложной конструкции центральной части колеса необходимо провести испытания в каждой критической точке окружности обода: в зоне вентильного отверстия обода, на спице и между спицами. Для испытания каждой критической точки окружности обода и элементов диска используют новое колесо. Критериями разрушения является наличие следующих дефектов: видимые трещины, отделение диска от обода, полное падение внутреннего давления воздуха в бескамерной шине в течение одной минуты. Деформацию колеса на ободе в зоне контакта с ударным элементом не считают дефектом.

Испытания для определения сопротивления колеса легкового автомобиля удару под углом 13° проводят с целью оценки прочностных характеристик колес при ударе свободно падающим ударным элементом. Испытательный стенд (рис. 7) должен иметь устройство, создающее ударную нагрузку на бортовую закраину обода колеса в сборе с шиной. Колесо во время испытания устанавливают под углом к опорной поверхности стенда. Угол между осью колеса и вертикальной плоскостью должен составлять $13^\circ \pm 1^\circ$. Минимальные размеры рабочей поверхности ударного элемента должны быть 125×375 мм. При приложении контрольной вертикальной статической нагрузки, равной 1000 кг, через тарировочный переходник, расположенный в середине пролета стоек, вертикальный прогиб опорной плиты по центру ступичной опоры не должен быть более $7,5 \pm 0,75$ мм.

Колесо в сборе с радиальной бескамерной шиной с наименьшей шириной профиля для данного колеса должно быть надежно закреплено на опоре стенда, имитирующей ступицу, деталями крепления с усилием затяжки, предусмотренным изготовителем транспортного средства. Давление воздуха в шине должно соответствовать значению, предусмотренному изготовителем транспортного средства, а при

отсутствии такого указания давление должно составлять 200 кПа. Высота расположения ударного элемента над верхней точкой бортовой закраины должна быть (230 ± 2) мм. Ударный элемент должен располагаться над шиной, перекрывая бортовую закраину обода на (25 ± 1) мм.

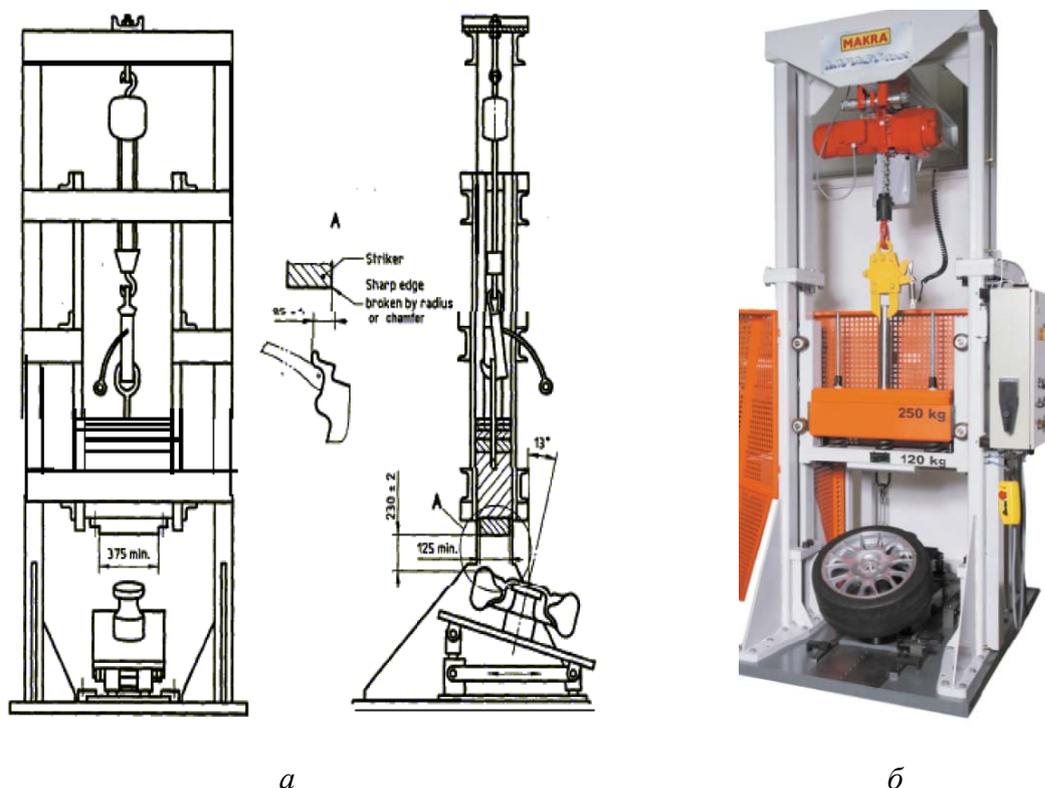


Рис. 7. Принципиальные схемы (а) и общий вид (б) стенда для испытаний колес на удар под углом 13°

При сложной конструкции центральной части колеса необходимо провести испытания в каждой критической точке окружности бортовой закраины обода: в зоне вентиляционного отверстия колеса, на спице и между спицами. Для каждого испытания используют новое колесо. Массу ударного элемента D , кг, рассчитывают по формуле:

$$D = 0,6F_z + 180,$$

где F_z – максимальная масса, приходящаяся на колесо, установленная изготовителем транспортного средства, кг. Допустимое отклонение величины D – $\pm 2\%$. Критериями разрушения является наличие следующих дефектов – видимые трещины, проходящие через радиальное сечение

диска колеса; отделение диска от обода; падение внутреннего давления воздуха в бескамерной шине в течение одной минуты. Деформацию колеса или появление трещины в ободке в зоне контакта с ударным элементом не считают дефектом.

Заключение

В дальнейшем следует разработать рекомендации по применению методов испытаний на удар под углом 13 и 30 градусов, а также разработать метод лабораторных испытаний на фронтальный удар внешней и внутренней закраин колес из легких сплавов.

Список литературы

1. ГОСТ Р 52390-2005. Транспортные средства. Колеса дисковые. Технические требования и методы испытаний. – М.: Госстандарт, 2007. – 30 с.
2. ГОСТ Р 50511-93. Колеса из легких сплавов для пневматических шин. Общие технические условия. – М.: Госстандарт, 1993.
3. ЕК ООН. Правила 124. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения колес для легковых автомобилей и их прицепов (E/ECE/324, E/ECE/TRANS/505, Rev.2/Add.123).
4. Динамика системы дорога – шина – автомобиль – водитель / под ред. А.А. Хачатурова. – М.: Машиностроение, 1976. – 535 с.
5. Раймпель, И. Шасси автомобиля. Амортизаторы, шины и колеса / И. Раймпель. – М.: Машиностроение, 1986. – 320 с.
6. Вахромеев, А.М. Определение предела выносливости автомобильного колеса при изгибе с вращением / А.М. Вахромеев // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2015. – № 2 (4). – С. 5.
7. Вахромеев, А.М. Обеспечение надежности и качества колес автотранспортных средств / А.М. Вахромеев // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2015. – № 3 (5). – С. 1.

References

1. *GOST R 52390-2005. Transportnie sredstva. Kolesa diskovie Tekhnicheskie trebovaniya metodi ispitaniy* (State standard p 52390-2005. Means of transport. The wheel disc. Technical requirements and test methods), Moscow, Gosstandart, 2007, 30 p.
2. *GOST R 50511-93. Kolesa iz legkih splavov dlia pnevmaticheskikh shin Obschie technicheskie uslovia* (State standard P 50511-93. Light alloy wheels for pneumatic tyres. General specifications), Moscow, Gosstandart, 1993.
3. *EK OON. Pravila 124. Edinoobraznie predpisaniya, kasaushiesya utvergdenia koles dliay legkovih avtomobiley i ih pricepov (E/ECE/324, E/ECE/TRANS/505, Rev.2/Add.123)* (UN / EC. Rules 124. Uniform provisions concerning the approval of wheels for passenger cars and their trailers (E / ECE / 324, E / ECE / TRANS/ 505, Rev.2/Add. One hundred twenty three)).
4. *Dinamika sistemy doroga – shina – avtomobil' – voditel'* (Dynamics of the road – rail – car – driver), Moscow, Mashinostroenie, 1976, 535 p.
5. Rajmpel' I. *Shassi avtomobilya. Amortizatory, shiny i kolesa* (Car chassis: shock Absorbers, tires and wheels), Moscow, Mashinostroenie, 1986, 320 p.
6. Vakhromeyev A.M. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*, 2015, no. 2 (4), pp. 5.
7. Vakhromeyev A.M. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*, 2015, no. 3 (5), pp. 1.