

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Астраханский государственный университет»
(Астраханский государственный университет)

Кафедра английской филологии

Письменный перевод

по книге Mechanical Properties and Working of Metals and
Alloys

название книги на иностранном языке

выходные данные Springer Nature Singapore Pte
Ltd. 2018

перевод стр. с 318 по 323

для сдачи кандидатского экзамена
по иностранному языку
(английскому)

Выполнил:
Гасилин Сергей Геннадьевич
Кафедра материаловедения и технология
сварки

Астрахань – 2021 г.

8.1 Fatigue Failure

Most structural assemblies are subjected to fluctuating or repetitive stresses of sufficient magnitude for sufficient number of times, although the maximum value of this applied fluctuating stress may be considerably less than the static tensile strength of the material.

Such condition of dynamic loading produces a permanent damage to the material that leads to failure after a considerable period of service.

This progressive failure of the material at a stress much lower than that required to cause fracture on a single application of load is called a fatigue failure.

Hence, fatigue can be defined as the phenomenon leading to a progressive fracture under fluctuating or repeated stresses having a maximum value less than the static tensile strength of the material.

8.1 Усталостное разрушение

Большинство конструктивных узлов подвергаются циклическим напряжениям определенной величины в течение некоторого времени, хотя максимальное значение приложенного циклического напряжения может быть значительно меньше предела прочности материала на растяжение.

Подобное динамическое нагружение приводит к необратимому разрушению материала, что приводит к отказу после значительного срока эксплуатации.

Такое последовательное разрушение материала при напряжении, значительно меньшем, чем то, которое требуется, чтобы вызвать разрушение при однократном приложении нагрузки, называется усталостным напряжением.

Следовательно, усталость можно определить как эффект, приводящее к последовательному разрушению при циклических напряжениях, имеющую максимальную величину меньшей пределу прочности материала на растяжение.

Fatigue is encountered in a large number of components, such as aircraft wings, springs, rubber tires, rotating and reciprocating parts in vehicles, turbines, pumps, compressors and all other machines, which are subjected to vibration or repeated loading during service.

It has been estimated that 80–90% of all mechanical failures in service are due to fatigue.

It is to be noted that for fatigue failure to occur, the maximum stress of a time-varying applied stress cycle must be a tensile stress, i.e. if the maximum stress of the applied stress cycle is compressive in nature, fatigue failure would not occur.

A fatigue fracture occurs all of a sudden without an appreciable amount of gross plastic deformation during service life and appears to be brittle.

Усталость встречается во многих деталях, таких как крылья самолетов, пружины, резиновые покрышки, вращающиеся и возвратно-поступательные детали транспортных средств, турбины, насосы, компрессоры и все другие механизмы, которые подвергаются вибрации или многократным нагрузкам в процессе эксплуатации.

Было подсчитано, что в процессе эксплуатации 80-90% всех механических неполадок происходят из-за усталости.

Следует отметить, что для возникновения усталостного разрушения максимальное напряжение изменяющегося во времени цикла приложенных нагрузок должен иметь растягивающее нагружение, то есть усталостное разрушение не произойдет, если максимальное напряжение цикла приложенных напряжений носит сжимающий характер.

Усталостное разрушение происходит внезапно без заметно большой пластической деформации в течение

<p>A fatigue fracture can usually be identified by the characteristic appearance of distinct fracture surface markings.</p> <p>A fatigue failure is initiated from a minute crack.</p> <p>Most cracks originate at the point of stress concentration caused by geometrical discontinuities, such as notches, sharp corners, fillets, holes, screw threads and keyways, or at the point of stress concentration arising from surface roughness and metallurgical stress raisers like blowholes or porosity, inclusions and decarburization.</p> <p>In a fluctuating stress cycle, when the applied cyclic stress reaches the maximum value in tension this minute crack opens up, and when the applied stress diminishes to the minimum value this crack tends to close down.</p>	<p>эксплуатации и кажется происходит хрупкое разрушение.</p> <p>Усталостное разрушение обычно можно определить по характерному внешнему виду отчетливых отметин на поверхности разрушения.</p> <p>Усталостное разрушение начинается с мельчайшей трещины.</p> <p>Большинство трещин возникают в точке концентрации напряжений, вызванной геометрическими неоднородностями, такими как зазубрина, острые углы, галтели, отверстия, винтовые резьбы и шпоночные пазы, или в точке концентрации напряжений, возникающих из-за шероховатости поверхности и металлургических концентраторов напряжения, таких как раковины или пористость, включения и обезуглероживание.</p> <p>В цикле колеблющегося напряжения, когда приложенное циклическое нагружение достигает максимального значения при растяжении, эта мельчайшая трещина открывается, и когда приложенное нагружение уменьшается до минимального</p>
--	--

<p>This creates a rubbing action on the surface along which the crack propagates through the section up to a limiting distance.</p> <p>Hence, this rubbing region of the fracture surface becomes smooth and flat indicating the absence of gross plastic deformation and resembling macroscopically to brittle fracture.</p> <p>When the crack becomes sufficiently long so that the remaining cross-section of the member is no longer capable of carrying the applied load, the member fails in a ductile manner creating a rough dull fibrous region.</p> <p>The growth of the crack captures a large part of the total life of the specimen prior to its failure due to fatigue.</p> <p>It is to be noted that the critical (limiting) crack length at which fracture occurs increases with decreasing stress levels.</p>	<p>значения, эта трещина имеет тенденцию закрыться.</p> <p>При этом создается трение на поверхности, по которой трещина распространяется по сечению на предельное расстояние.</p> <p>Следовательно, эта трущаяся область поверхности излома становится гладкой и плоской, что указывает на отсутствие большой пластической деформации и макроскопически напоминает хрупкое разрушение.</p> <p>Когда трещина становится достаточно длинной, так что оставшееся поперечное сечение элемента больше не может выдерживать приложенную нагрузку, элемент выходит из строя из-за пластического разрушения, создавая шероховатую, матовую, волокнистую область.</p> <p>Рост трещины захватывает большую часть общего срока службы образца до его разрушения из-за усталости.</p> <p>Следует отметить, что критическая (предельная) длина трещины, при которой происходит разрушение, увеличивается с уменьшением уровня напряжений.</p>
--	--

<p>On a macroscopic scale, the fracture surface consisting of a rough dull fibrous region and a flat smooth region lies usually at right angles to the applied principal tensile stress.</p> <p>In many cases, particularly when the member fails after a long period of time, the visible examination of smooth region of the fracture surface will often reveal a series of concentric ring of non-uniform colour, which is known in the literature as ‘beach markings’ and/or ‘clamshell markings’.</p> <p>The centre of curvature of these curved markings is the point of initiation of the fracture from which theses marks progress inward.</p> <p>The distances between these markings correspond to different periods of crack growth and do not represent individual load excursions, i.e. they are not a measure of crack extension per fatigue cycle.</p>	<p>В макроскопическом масштабе поверхность разрушения, состоящая из шероховатой, матовой, волокнистой области и плоской гладкой области, обычно лежит перпендикулярно к приложенному основному растягивающему напряжению.</p> <p>Во многих случаях, особенно когда элемент выходит из строя после длительного периода времени, визуальное исследование гладкой области поверхности излома часто обнаруживают серию концентрических колец неоднородного цвета, которые известны в литературе как «следы от пляжа» и / или «следы от раковины».</p> <p>Центр кривизны этих изогнутых отметок является точкой зарождения трещины, от которой эти отметки продвигаются внутрь.</p> <p>Расстояния между этими отметками соответствуют различным периодам роста трещин и не отражают индивидуальные отклонения нагрузки, т.е. они не являются мерой расширения трещины за цикл усталости.</p>
---	---

<p>Rather growing crack advances only microscopic distances on each cycle and the spacing between consecutive 'beach' marks correspond to thousands or even tens of thousands of fatigue cycles.</p> <p>For example, crack extension occurs during the working period of an aircraft or a machine and crack growth stops during the non-operational period of that aircraft or machine, and during these alternate crack growth and dormant periods, areas on the fracture surface are corroded and/or oxidized by varying amounts.</p> <p>This results in the formation of a series of concentric ring of non-uniform colour (beach marks) on the fracture surface. The flat smooth region with characteristic 'beach' markings corresponds to the slow fatigue crack growth while the rough dull fibrous section is the fast-fracture region.</p> <p>A rough measure of the magnitude of material's tensile strength and/or the</p>	<p>Точнее растущая трещина продвигается только на микроскопические расстояния при каждом цикле, а расстояние между последовательными "пляжными" отметками соответствует тысячам или даже десяткам тысяч таких циклов.</p> <p>Например, увеличение трещины происходит во время рабочего периода самолета или машины, а увеличение роста трещины прекращается в периоде простоя самолета или машины, и поверхность излома подвергается коррозией и/или окислению в разной степени во время этих чередующихся периодов. Это приводит к образованию серии концентрических колец неоднородного цвета (пляжных следов) на поверхности излома. Плоская гладкая область с характерными отметинами «берега» соответствует медленному росту усталостной трещины, тогда как шероховатый матово-волокнистый участок является областью быстрого разрушения.</p> <p>Приближенная величина прочности материала на растяжение и/или</p>
---	---

<p>maximum applied cyclic stress may be obtained from the relative areas of the slow- and fast-fracture regions.</p> <p>For example, the fast-fracture region increases with the maximum applied cyclic stress at a given tensile strength, and the region corresponding to the slow crack growth increases with the material's tensile strength for a constant maximum applied cyclic stress.</p> <p>Often microcracks form on separate planes, and subsequently, they link to create a vertical step on the fracture surface.</p> <p>This junction surface between adjacent crack origins is called ratchet line.</p> <p>So, in addition to the set of horizontal beach markings, a second set of vertical ratchet line markings may be observed on the fracture surface. Once the initial cracks originated at adjacent regions</p>	<p>максимального приложенного циклического напряжения может быть получена из приблизительных площадей областей медленного и быстрого разрушения.</p> <p>Например, область быстрого разрушения увеличивается с максимальным приложенным циклическим напряжением при данной прочности на растяжение, а область, соответствующая медленному росту трещины, увеличивается с пределом прочности материала на растяжение при постоянном максимальном приложенном циклическом напряжении.</p> <p>Часто микротрещины образуются на отдельных плоскостях, и впоследствии они соединяются, образуя вертикальную ступеньку на поверхности излома.</p> <p>Эта поверхность стыка между соседними истоками трещин называется линией трещотки.</p> <p>Таким образом, в дополнение к набору горизонтальных разметок пляжа, на поверхности трещин можно наблюдать второй набор вертикальных разметок трещоткой.</p>
--	--

have joined together, the ratchet line disappears.

Hence, the neighboring areas where cracks had originated separately are connected by the ratchet lines.

In general, the greater the applied stress and/or the severity of a design-imposed stress concentration, as in the case of a fillet of smaller radius, the more will be the number of crack nucleation sites and associated ratchet lines.

Diagram in Fig. 8.1 shows several patterns of typical fracture surface appearance in fatigue for low and high levels of applied stress and stress concentration.

Any one of these patterns may be exhibited on the fracture surface depending on the magnitude of applied stress and the number of crack nucleation sites.

If possible, the stress concentration must be avoided and the level of stress applied on the component should be maintained to a minimum.

Следовательно, соседние участки, где возникли трещины, по отдельности соединяются трещоточными линиями.

В общем случае, чем больше приложенное напряжение и/или степени концентрации напряжений, как в случае галтели меньшего радиуса, тем больше будет количество мест зарождения трещин и связанных с ними трещоточных линий.

Схема на рисунке 8.1. показывает несколько разновидностей типичного появления усталостного разрушения поверхности при разных степенях приложенных напряжений и концентрации напряжений.

В зависимости величины приложенного напряжения и количества мест образования трещины на любой из этих моделей может проявиться поверхностная трещина.

По возможности следует избегать концентрации напряжений и поддерживать минимальный уровень нагрузки на компонент.

In fact, only one crack nucleation site finally causes total fatigue failure in most services.

The size of this fatigue crack at the point of final failure is related to the fracture toughness of the material and the applied stress level (which becomes fracture stress at the point of fracture) through (9.65), given in Chap. 9.

8.2 Stress Cycles

Since majority of the fatigue failures occurs without an appreciable amount of gross plastic deformation during service life, so the difference between the original and the instantaneous cross-sectional area is insignificant and the engineering stress, S , \approx , the true stress, σ .

Hence, fatigue stresses will be described by the term σ subsequently in this chapter, although initial cross-sectional areas of the members are mostly used to determine the stresses.

Фактически, если только в одном месте зарождается трещина, то в конечном итоге приводит к полному усталостному разрушению в большинстве случаев эксплуатации.

Размер этой усталостной трещины в точке окончательного разрушения связан с вязкостью разрушения материала и уровнем приложенного напряжения (которое становится напряжением разрушения в точке разрушения) выражено формулой (9.65) приведенного в главе 9.

8.2 Циклические напряжения.

Поскольку большинство усталостных разрушений происходит без заметно большой пластической деформации в течение эксплуатации, то разница между начальной и мгновенной площадью поперечного сечения незначительна, и расчетное напряжение S приблизительно равен истинному напряжению, σ .

Тогда, в данной главе усталостные напряжения будем описывать через σ несмотря на то, что начальные элементы площади поперечного сечения в основном используются для определения напряжений.

<p>In fatigue, a fluctuating stress cycle is composed of two components, a steady or mean stress, σ_m, and an alternating or variable stress or stress amplitude, σ_a.</p>	<p>При усталости цикл колебаний напряжения состоит из двух параметров: среднего или постоянного напряжения σ_m и Знакопеременное или Знакопостоянное напряжение или амплитуда напряжения σ_a.</p>
<p>Prior to proceeding for discussion on the general types of fluctuating stresses that can cause fatigue, let us first define the terms and symbols associated with a fluctuating stress cycle:</p>	<p>Прежде чем перейти к обсуждению общих типов колеблющихся напряжений, которые могут вызывать усталость, давайте сначала определим термины и символы, связанные с циклом колебания напряжения:</p>
<p>Maximum stress, σ_{max}, is the highest algebraic value of stress in a cycle.</p>	<p>Максимальное напряжение, σ_{max}, является наивысшим алгебраическим значением напряжения в цикле.</p>
<p>Minimum stress, σ_{min}, is the lowest algebraic value of stress in a cycle.</p>	<p>Минимальное напряжение, σ_{min}, - наименьшее алгебраическое значение напряжения в цикле.</p>
<p>Mean or steady stress, σ_m, is the algebraic mean of the maximum and minimum stresses in a cycle.</p>	<p>Среднее или постоянное, σ_m, - среднее алгебраическое значение максимального и минимального напряжений в цикле.</p>
<p>The oscillating stress is superimposed on it.</p>	<p>На него накладывается колебательное напряжение.</p>
<p>Stress amplitude or alternating stress, σ_a, is the amplitude of superimposed oscillating stress and given by one-half</p>	<p>Амплитуда напряжения или переменное напряжение, σ_a, — это амплитуда наложенного</p>

of the algebraic difference between the maximum and minimum stresses in a cycle.	колебательного напряжения, равная половине алгебраической разности между максимальным и минимальным напряжениями в цикле.
Range of stress, σ_r , is the algebraic difference between the maximum and minimum stresses in a cycle.	Диапазон напряжения, σ_r , - алгебраическая разница между максимальным и минимальным напряжениями в цикле.
Stress ratio, R, is the ratio of the minimum to the maximum stress in a cycle.	Коэффициент асимметрии, R, является отношением минимального до максимального напряжения в цикле.
Amplitude ratio, A, is the ratio of the stress amplitude to the mean stress in a cycle.	Амплитудный коэффициент, A, представляет собой отношение амплитуды напряжения к среднему напряжению в цикле.
Hence, the maximum and minimum stress can be expressed in terms of the mean stress and the alternating stress as follows.	Следовательно, максимальное и минимальное напряжение можно выразить через среднее напряжение и переменное напряжение следующим образом.
Typical time-varying fluctuating stress cycles in fatigue are illustrated in Fig. 8.2.	Типичные, изменяющиеся во времени, циклы колеблющегося напряжения при усталости показаны на рис. 8.2.
It may be noted that the tensile stress will be considered as positive and the compressive stress as negative.	Можно отметить, что растягивающее напряжение будет считаться положительным, а сжимающее напряжение - отрицательным.

The simplest type of repeated stress cycle is a completely reversed stress cycle or a purely alternating stress cycle of sinusoidal form like that shown in Fig. 8.2a.

This is an ideal condition which is produced by an R.R. Moore rotating-beam fatigue testing machine.

In service, a rotating axle operating at constant speed without overloads approaches this condition where the bending stresses vary in a completely reversed stress cycle pattern.

Fatigue testing machines, specimens and their preparation, test procedure and technique are described from page 6 to 65 in the reference (ASTM STP 1949).

If a cantilever flexure beam, as shown in Fig. 8.3a, undergoes same amount of deformation alternatively on either side of its equilibrium configuration, the variation of flexural stress will be like that shown in Fig. 8.2a.

Простейшим типом повторяющегося цикла напряжения является полностью обратный цикл напряжения или чисто переменный цикл напряжения синусоидальной формы, изображенный на рис. 8.2а.

Это идеальные условия, которые обеспечивает установка, изобретенная R.R. Moore, для испытаний на усталость с вращающейся балкой.

В процессе эксплуатации вращающаяся ось, работающая с постоянной скоростью без перегрузок, приближается к такому состоянию, когда изгибающие напряжения изменяются в полностью обращенной схеме цикла напряжений.

Машины для испытания на усталость, образцы и их подготовка, процедура испытаний и технология описаны на стр. 6-65 в справочнике (ASTM STP 1949).

Если консольная балка, как показана на рис. 8.3а, попеременно испытывающая одинаковую величину деформации по обе стороны от своей равновесной конфигурации, то изменение

<p>If, however, the same beam carries an additional load or mass, say at its free end, as shown Fig. 8.3b, and is deformed alternatively from its equilibrium configuration without overload to downward direction, then the variation of flexural stress in the top fibre of the beam with overload will be like that shown in Fig. 8.2c.</p> <p>Here, the mean stress is no longer zero but has a positive value resulting from the constant load of additional mass.</p> <p>This mean stress is given by $\sigma_m = \sigma_a = \sigma_{\max}/2$.</p> <p>Figure 8.2c shows a repeated stress cycle varying from a maximum tensile stress σ_{\max} to a minimum stress, $\sigma_{\min}=0$, having $R=0$.</p> <p>Figure 8.2d shows a tension–tension type of repeated stress cycle, where the maximum, the minimum, the mean and the alternating—all stresses—are</p>	<p>напряжения изгиба будет таким, как показано на рис. 8.2 а.</p> <p>Но если та же самая балка имеет дополнительную нагрузку или массу, скажем, на ее свободном конце, как показано на рис. 8.3b, и попеременно деформируется от своей равновесной конфигурации без перегрузки в направлении вниз, то изменение напряжения изгиба в верхнем волокне балки с нагрузкой будет таким же, как показано на рис. 8.2с.</p> <p>Здесь среднее напряжение больше не равно нулю, а имеет положительное значение в результате постоянной нагрузки в виде дополнительной массы.</p> <p>Это среднее напряжение определяется выражением: $\sigma_m = \sigma_a = \sigma_{\max}/2$.</p> <p>На рис. 8.2.с показан повторяющийся цикл напряжения, изменяющегося от максимального растягивающего напряжения σ_{\max} до минимального напряжения, которое равен нулю, отсюда следует $R=0$.</p> <p>На рисунке 8.2d показан тип повторяющегося цикла напряжения «растяжение-растяжение», где максимальное и минимальное,</p>
---	---

<p>positive, i.e. tensile, and R lies between 0 and 1.</p> <p>Figure 8.2b shows a partly reversed tension–compression type of stress cycle, where the maximum stress is tensile and the minimum stress is compressive but $\sigma_{\max} > \sigma_{\min}$.</p> <p>This gives a mean stress $\sigma_m > 0$, i.e. tensile with R lying between -1 and 0.</p> <p>The above-mentioned stress variations of sinusoidal form are found to occur in many rotating and reciprocating machine parts.</p> <p>However, there are many examples where fatigue loading may involve complicated stress cycle in which the variation of stress is far from regular.</p> <p>Figure 8.2e shows this kind of an irregular or random stress cycle which may be encountered in an aircraft wing subjected to periodic unpredictable overloads due to storm.</p>	<p>минимальное, среднее и переменное – все напряжения – положительные, т.е. растягивающие, а коэффициент асимметрии находится между 0 и 1.</p> <p>На рис. 8.2.b частично показан обратный тип цикла напряжения – сжатия, где максимальное напряжение – растяжение, а минимальное – сжатие, но $\sigma_{\max} > \sigma_{\min}$.</p> <p>Отсюда следует что среднее напряжение $\sigma_m > 0$, т.е. коэффициент асимметрии растяжение лежит в пределах от -1 до 0.</p> <p>Вышеупомянутые вариации напряжения синусоидальной формы обнаруживаются во многих вращающихся и совершающие возвратно-поступательное движение деталях машин.</p> <p>Однако есть много примеров, когда усталостное нагружение может включать сложный цикл напряжений, в котором изменение напряжения далеко не регулярное.</p> <p>На рис. 8.2e показан этот вид нерегулярного или случайного цикла напряжений, которые могут возникнуть в крыле самолета, подвергающемся периодическим</p>
---	---

<p>The random stress variation may also occur in machines operating intermittently due to occurrence of natural vibrations of variable amplitudes during starting and stopping.</p> <p>This kind of irregular stress cycle must be reduced to a simpler form in order to use in design for fatigue.</p> <p>The usual procedure is to split the actual stress cycle into many sets of simple sinusoidal variations.</p> <p>In each set, the number of oscillations should be the same as that of actual oscillations with nearly the same stress amplitude and mean stress.</p> <p>In this manner, the actual complicated loading spectrum is transformed into an equivalent simplified spectrum of sinusoidal form which can be used in analysis.</p>	<p>непредсказуемым перегрузкам из-за шторма.</p> <p>Случайное изменение напряжения может также происходить в машинах, работающие с перебоями, из-за возникновения собственных колебаний переменной амплитуды во время пуска и остановки.</p> <p>Этот вид нерегулярного цикла напряжений должен быть сокращен до более простой формы, чтобы его можно было использовать в расчетах на усталость.</p> <p>Обычно, процедура состоит в том, чтобы разбить конкретный цикл напряжения на множество наборов простых синусоидальных вариаций.</p> <p>В каждом наборе количество колебаний должно быть таким же, как и количество реальных колебаний с почти такой же амплитудой напряжения и средним напряжением.</p> <p>Таким образом, реальный сложный спектр нагрузок преобразуется в эквивалентный упрощенный спектр синусоидальной формы, который можно использовать в анализе.</p>
---	---

<p>The nature of stress variations is usually designated by either of the following two ways:</p> <p>(1) A statement of the numerical value of the maximum stress, σ_{\max}, together with the stress ratio, R.</p> <p>(2) A statement of the numerical value of the mean stress, σ_m, together with the stress amplitude, σ_a.</p> <p>The kind of stresses in a fatigue stress cycle may be tension, compression or shear, which may be caused by axial, flexural, shearing or torsional loading or by combinations of them.</p> <p>So, for complete definition of a stress condition, the kind of stress must also be stated in addition to designating the degree of stress variation.</p> <p>Three basic factors that are related to the stress cycle are essential for fatigue failure to occur. These are:</p> <p>(1) A sufficiently high value of the maximum tensile stress, σ_{\max}, in the applied stress cycle,</p>	<p>Характер вариаций напряжения обычно определяется одним из следующих двух способов:</p> <p>(1) Сведение о численном значении максимального напряжения, σ_{\max}, вместе с коэффициентом асимметрией напряжений, R.</p> <p>(2) Сведение о численном значении среднего напряжения, σ_m, вместе с амплитудой напряжения σ_a.</p> <p>Напряжениями в цикле усталостных напряжений могут быть растяжение, сжатие или сдвиг, которые могут быть вызваны осевой, изгибной, сдвигающей или скручивающей нагрузкой или их комбинацией.</p> <p>Таким образом, для полного определения напряженного состояния необходимо указать вид напряжения в дополнение к обозначению степени изменения напряжения.</p> <p>Три основных фактора, связанных с циклом напряжения, важны для возникновения усталостного разрушения. Такие как:</p> <p>(1) Достаточно высокое значение максимального растягивающего напряжения, σ_{\max}, в цикле приложенных напряжений,</p>
---	--

<p>(2) A high stress amplitude, σ_a, in the applied stress cycle,</p> <p>(3) A sufficiently large number of oscillations in the applied stress cycle.</p> <p>In addition to the above factors, fatigue failure is influenced by many other variables, such as stress concentration, residual stresses, overstressing, temperature, corrosion and metallurgical structure.</p> <p>The relationship between each of these factors and fatigue will be discussed subsequently.</p> <h3>8.3 Standard Fatigue Test</h3> <p>Many different kinds of fatigue testing machines developed so far (the ASTM Manual on Fatigue Testing refers to more than thirty) may be classified with respect to the type of applied load and the way of its application.</p> <p>The basic types of loading used in the laboratory fatigue tests are rotating</p>	<p>(2) Высокая амплитуда напряжений, σ_a, в цикле приложенного напряжения,</p> <p>(3) Достаточно большое количество колебаний в цикле приложенных напряжений.</p> <p>Помимо перечисленных выше факторов, на усталостное разрушение влияют многие другие переменные, такие как концентрация напряжений, остаточные напряжения, перенапряжение, температура, коррозия и металлургическая структура.</p> <p>Взаимосвязь между каждым из этих факторов и усталостью будет обсуждаться позже.</p> <h3>8.3 Стандартные испытания на усталость.</h3> <p>В настоящее время разработано множество различных машин для испытания на усталость (Руководство ASTM по испытания на усталость упоминает более чем тридцати) могут быть классифицированы по типу приложенной нагрузки и по способу ее приложении.</p> <p>Основными видами нагружения, применяемыми при лабораторных</p>
--	--

bending, reversed-flexure bending, tension–tension or tension–compression type of axial loading (push–pull type of loading), torsion and combinations of them.

Specimens are loaded by applying either a constant maximum load or moment or a constant maximum displacement or strain.

In constant-load machines, although the specimen is subjected to a fixed cycle of loading throughout the experiment, its deflection usually increases as it becomes weaker.

In constant-displacement machines, a fixed alternating deflection is imposed on the specimen and the resulting stress may change as fatigue progresses.

When fatigue tests are conducted with a fixed cycle of load or stress limits, it is called a stress-controlled fatigue.

испытания на усталость, являются вращательное изгибание, обратное изгибание, растяжение–растяжение или растяжение–сжатие, осевое нагружение (двухтактный тип нагружения), кручение и их комбинации.

Образцы нагружаются либо постоянной максимальной нагрузкой или моментом, либо постоянным максимальным смещением или деформацией.

В машинах с постоянной нагрузкой обычно прогиб образца увеличивается по мере ослабления, хотя он подвергается фиксированному циклу нагружения на протяжении всего эксперимента.

В машинах с постоянным перемещением на образец накладывается фиксированное переменное отклонение, и результирующее напряжение может изменяться по мере прогрессирования усталости.

Когда испытания на усталость проводятся с определенным числом циклом предельных нагрузок или напряжений, это называется

<p>It is a high-cycle fatigue (often simply termed as fatigue) because fatigue failure takes place at high numbers of stress cycles, usually more than 10^4 cycles.</p> <p>When fatigue tests are conducted with a fixed cycle of elastic plus plastic strain limits, it is called a strain-controlled fatigue or a low-cycle fatigue because fatigue failure takes place when the number of cycles necessary to cause fatigue failure, $N < 10^3$ cycles.</p> <p>Since majority of the fatigue failures in service occurs at $N > 10^4$ cycles, the fatigue in the high-cycle region (stress-controlled fatigue) has received an engineering importance and our present discussion is restricted to this.</p>	<p>усталостью, управляемой напряжением.</p> <p>Это многоцикловая усталость (часто называемая просто усталостью), потому что усталостное разрушение происходит при большом количестве циклов нагрузки, обычно более 10^4 циклов.</p> <p>Когда усталостные испытания проводятся с фиксированным циклом пределов упругой и пластической деформации, это называется усталостью с управляемым деформацией или малоцикловой усталостью, поскольку усталостное разрушение происходит, когда количество циклов, необходимых для возникновения усталостного разрушения при $N < 10^3$ циклов.</p> <p>Поскольку большинство усталостных разрушений при эксплуатации происходит при $N > 10^4$ циклах, усталость в многоцикловой области (усталость, управляемая напряжением) приобрела механическое значение, и наше настоящее обсуждение ограничивается этим.</p>
---	---

The cyclic strain-controlled or low-cycle fatigue will be considered subsequently in Sect. 8.16.

One of the earliest investigations of stress-controlled cyclic loading effects on fatigue life was conducted by Wöhler (1860), who studied the fatigue failure of the wheel axles of the railway cars.

Wöhler designed the first ‘rotating bending’ fatigue tester to determine the fatigue strength of the railway axles under alternating stress condition.

Among different types of fatigue testing machines/methods used to analyse the fatigue properties of materials, rotating bending is the most widely used standard method of testing, which is used exclusively for applying constant-stress amplitude with condition of zero mean stress.

Циклическая усталость с контролируемой деформацией или малоцикловая усталость будет рассмотрена далее в разделе 8.16.

Одно из первых исследований влияния циклического нагружения, управляемого напряжением, на усталостную прочность было проведено Велером (1860), который изучал усталостное разрушение колесных осей железнодорожных вагонов.

Велер разработал первый прибор для испытания на усталость с вращающимся изгибом для определения усталостной прочности железнодорожных осей в условиях переменного напряжения.

Среди различных типов машин / методов для испытаний на усталость, используемых для анализа усталостных свойств материалов, изгиб при вращении является наиболее широко используемым стандартным методом испытаний, который используется исключительно для приложения постоянной амплитуды напряжения с условием нулевого среднего напряжения.

The most popular standard rotating bending machine is the R.R. Moore rotating-beam fatigue testing machine.

Its popularity is due to its simplicity of operation, inexpensiveness and the fact that it produces a commonly observed condition of stress.

Schematic diagram of this machine is presented in Fig. 8.4, and a diagram of rotating-beam fatigue test specimen in the form of a simple beam used for this machine is shown in Fig. 8.5 (Richards 1961).

The cross-section of specimen used for this machine must always be circular so that its section modulus remains constant as it rotates.

Fatigue specimens must have very smooth surfaces and be carefully prepared to avoid stress concentrations and tensile residual stresses.

Самый популярный стандартный станок для гибки с вращающейся балкой — это установка для испытания на усталость с вращающейся балкой, изобретенным RR Moore.

Его популярность объясняется простотой эксплуатации, дешевизной и тем фактом, что он вызывает обычно наблюдаемое состояние напряжения/

Принципиальная схема этой машины представлена на рис.8.4, а схема образца для испытаний на усталость с вращающейся балкой в виде простой балки, используемой для этой машины, показана на рис.8.5 (Richards [1961 г.](#)).

Поперечное сечение образца, используемого в этой машине, всегда должно быть круглым, чтобы его модуль упругости оставался постоянным при вращении.

Образцы на усталость должны иметь очень гладкую поверхность и быть тщательно подготовлены, чтобы избежать концентраций напряжений и остаточных напряжений при растяжении.

Between both grip ends of the specimen, a reduced section is formed by using a constant curvature from end to end without the necessity of using any fillet so that undesirable stress concentrations are avoided.	Чтобы избежать нежелательных концентраций напряжений, между обоими концами захвата образца образуется уменьшенное сечение с использованием постоянной кривизны от конца к концу без необходимости использования какого-либо скругления.
The diameter of the specimen at the centre of the reduced section will be the minimum at which the specimen is supposed to fracture.	Диаметр образца в центре уменьшенного сечения будет минимальным, при котором предполагается, что образец разрушится.
Both ends of the specimen are rigidly held between the ends of two shafts, and thus, the specimen becomes part of a long beam which is subjected to pure bending.	Оба конца образца жестко удерживаются между концами двух валов, и, таким образом, образец становится частью длинной балки, которая подвергается чистому изгибу.
The specimen is loaded through two ball bearings on the shaft extensions (equidistant from the centre of the span) so that it can rotate freely around its axis.	Образец нагружается через два шариковых подшипника на концах вала (на равном расстоянии от центра пролета), так что он может свободно вращаться вокруг своей оси.
Equal loads on these two bearings are applied by means of deadweights so that the specimen between the loaded bearings is subjected to a uniform bending moment and bending takes place in a vertical plane.	Равные нагрузки на эти два подшипника прикладываются посредством противовесов, так что образец между нагруженными подшипниками подвергается действию равномерного

<p>To apply cycles of stress, a motor directly connected to one of the shaft extensions rotates the specimen at speeds varying from 3000 to 10,000 rpm and the rotation continues until the specimen fractures.</p> <p>Since the topmost fibres of the specimen are always in compression while the bottom fibres are in tension, it is obvious that a complete cycle of reversed stress of sinusoidal form with zero mean stress is produced at each point on the surface of the specimen during each revolution.</p> <p>A counter is provided with this machine for recording the number of revolutions, i.e., stress cycles applied.</p> <p>There is a switch or some device that disengages the counter and stops the testing machine automatically when the specimen breaks.</p> <p>This machine loaded with a simply supported beam specimen can be used</p>	<p>изгибающего момента, а изгиб происходит в вертикальной плоскости.</p> <p>Для приложения циклической нагрузки двигатель, непосредственно связанный с одним из выступов вала, вращает образец со скоростью от 3000 до 10 000 об/мин, и вращение продолжается до тех пор, пока образец не сломается.</p> <p>Поскольку самые верхние волокна образца всегда находятся в состоянии сжатия, а нижние волокна - в растяжении, очевидно, что полный цикл обратного напряжения синусоидальной формы с нулевым средним напряжением создается в каждой точке на поверхности образца во время каждого оборота.</p> <p>Счетчик оснащен этой машиной для записи числа оборотов, т. е. приложенных циклических нагрузок. Есть переключатель, который отключает счетчик и автоматически останавливает испытательную машину, когда образец ломается.</p> <p>Эта машина, загруженная образцом балки с простой опорой, может использоваться для получения</p>
--	---

to produce either unnotched or notched test data.

For unnotched test data, the specimen has to be smooth, whereas for notched test data, a circumferential notch is introduced in the gage section of specimen to create stress concentration.

However, the limitations of the rotating bending machine are that the test data cannot be used in applications where mean stresses are not zero and the necessity to use a specimen of circular cross-section.

Instead of a simply supported beam specimen as described above, a cantilever round specimen, for which the loading condition is shown in Fig. 8.6, can also be used by one variant of the rotating bending machine, which has been shown schematically in Fig. 8.6b.

A gravity load is applied to the free end of the cantilever specimen while it is rotating.

данных испытаний без надреза или с надрезом.

Для данных испытаний без надреза образец должен быть гладким, тогда как для данных испытаний с надрезом в измерительной части образца вводится круговой надрез для создания концентрации напряжений.

Однако ограничения вращающегося гибочного станка заключаются в том, что данные испытаний нельзя использовать в приложениях, где средние напряжения не равны нулю, и необходимость использования образца только круглого поперечного сечения.

Вместо образца балки с простой опорой, как описано выше, консольный круглый образец, условия нагружения которого показаны на рис.8.6, также можно использовать в одном варианте вращающейся гибочной машины, схематично показанной на рис.8.6b.

К свободному концу консольного образца во время его вращения прилагается гравитационная нагрузка.

In this case, bending moment is not uniform rather increases linearly with increasing distance from the point of applied load along the gage length of the specimen.

If the gage length of the specimen is of uniform cross-section as shown in Fig. 8.6, then the bending moment and thereby the bending stress will be the maximum at the base of the fillet at the end of the gage section where fatigue failure will take place.

In fact, this produces a notched fatigue test since the test results will strongly depend on the geometry of fillet.

For an unnotched test data, the specimen is tapered to obtain the condition of constant bending stress along the gage length of the specimen.

Rotating bending fatigue test with cantilever specimen also represents conditions of zero mean stress just like test with simple beam.

В этом случае изгибающий момент не является равномерным, а увеличивается линейно с увеличением расстояния от точки приложения нагрузки по измерительной длине образца.

Если измерительная длина образца имеет однородное поперечное сечение, как показано на рис. [8.6](#), то изгибающий момент и, следовательно, напряжение изгиба будут максимальными у основания галтеля в конце участка датчика, где произойдет усталостное разрушение.

Фактически, это испытание на усталость с надрезом, поскольку результаты испытаний будут сильно зависеть от геометрии галтели.

Для данных испытаний без надреза образец сужается, чтобы получить условие постоянного напряжения изгиба по измерительной длине образца.

Испытание на усталость при вращающемся изгибе с консольным образцом также представляет условия нулевого среднего напряжения, как и испытание с простой балкой.

<p>Reversed bending fatigue testing machine with fixed displacement can be used to overcome the above-mentioned limitations of rotating bending machine.</p> <p>A schematic diagram of reversed bending fatigue testing machine is shown in Fig. 8.7.</p> <p>This machine can test either a cantilever or a simply supported beam specimen with a variety of shapes instead of only circular section as required by rotating bending machine.</p> <p>This machine can test flat and square bars and sheet metals.</p> <p>In this machine, an arm is attached to the specimen, which is mounted as a stationary beam.</p> <p>A crank or eccentric drive the arm and produces a constant alternating deflection.</p> <p>A variety of alternating and static loads can be provided by adjusting the arm length.</p>	<p>Машина для испытания на усталость при обратном изгибе с фиксированным смещением может использоваться для преодоления вышеупомянутых ограничений вращающейся гибочной машины.</p> <p>Принципиальная схема машины для испытаний на усталость при обратном изгибе показана на рис. 8.7.</p> <p>Эта машина может испытывать либо консольный образец, либо образец балки с простой опорой различных форм, а не только круглого сечения, как требует вращающийся гибочный станок.</p> <p>Такая машина может проверять плоский и квадратный прутки и листовой металл.</p> <p>В этой машине к образцу прикрепляется рычаг, который устанавливается как неподвижная балка.</p> <p>Кривошипный или эксцентриковый привод приводит в движение рычаг и производит постоянное переменное отклонение.</p> <p>Регулируя длину рычага, можно обеспечить множество переменных и статических нагрузок.</p>
--	---

The above modes of loading may be suitable when a component is subjected to rotating or reversed loads.

However, it is often more appropriate to use the axially loaded specimen for applications involving direct loading, where steady stress is not zero, rather an important variable.

For example, in aircraft wing, fluctuating stresses are superimposed on both tensile mean stress acting on the lower wing skin and compressive mean stress acting on the upper wing skin.

The specimen in the axial loading (push– pull) type fatigue tester is held at two ends and subjected to pure axial loading of tension–tension or tension–compression type in which the load varies cyclically between two extreme (maximum and minimum) values.

Вышеупомянутые режимы нагружения могут быть подходящими, когда компонент подвергается вращающим или обратным нагрузкам.

Однако часто более целесообразно использовать образец с осевой нагрузкой для приложений, связанных с прямым нагружением, где установившееся напряжение не равно нулю, а является важной переменной.

Например, в крыле самолета колеблющиеся напряжения накладываются как на среднее напряжение растяжения, действующее на нижнюю обшивку крыла, так и на среднее напряжение сжатия, действующее на верхнюю обшивку крыла.

Образец в приборе для испытания на усталость с осевым нагружением (двухтактным) удерживается за два конца и подвергается чистой осевой нагрузке типа растяжение-растяжение или растяжение-сжатие, при котором нагрузка циклически изменяется между двумя крайними (максимальным и минимальным) значениями.

<p>The configuration of such axial loading is shown in Fig. 8.8.</p>	<p>Схема такой осевой нагрузки показана на рис.8.8.</p>
--	---