

**УДК 620.1:539.4**

**ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ВЕЛИЧИНУ ПРЕДЕЛА  
ВЫНОСЛИВОСТИ МАТЕРИАЛА**

**Алла Борисовна Лыкова**

студент

lukovaalla3@gmail.com

**Михаил Сергеевич Колдин**

кандидат технических наук, доцент

koldinms@yandex.ru

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены виды деформаций материалов под воздействием нагрузок, рассмотрена роль остаточных напряжений и подробно описаны факторы, влияющие на предел выносливости.

**Ключевые слова:** предел выносливости, напряжение, элементы, нагрузка, коэффициент, деформация, машиностроение.

Проектирование - это важнейшая часть создания заготовки или единой конструкции в целом. В её основе лежит принцип конструирования, т.е. определение основных параметров заготовки, её формы, сечения, методом расчёта выдерживаемых нагрузок и деформаций с подбором и определением свойств материала. После проделанных расчётов определяют размеры, состав и форму будущей детали или конструкции. Проектная часть в этом случае делится на элементы, а затем выстраивается полная картина конструкции с выходными данными и значениями её предела прочности, жесткости, устойчивости и других параметров. Если выходной вариант не подходит по параметрам или по значениям выдерживаемых нагрузок, то стоит провести расчёты снова, а данные скорректировать[1,4].

В существующем производстве всё оборудование состоит из тысяч деталей разного размера, формы и материала и у каждой детали есть свои условия внешней нагрузки, работы на определенных оборотах, температурного режима и взаимодействия с другими узлами. Эти параметры составляют основу работы аппарата и совершить ошибку считается недопустимым, иначе все устройство просто перестанет работать. Однако, проводить расчёт каждой детали – нецелесообразно и экономически невыгодно. Поэтому расчёты проводят только для самых нагруженных узлов, которые представляют наибольшую опасность при работе устройства[2,3].

Плавно переходя к практической части необходимо рассмотреть виды деформаций, которые могут быть вызваны разными факторами.

Деформация - это изменение формы и размеров тела (или части тела) вследствие воздействий, которые оказывают на него окружающие тела. Материалы способные сопротивляться разрушению чаще всего имеют высокие механические свойства. Сильная деформация заготовки может привести к её разрушению и выхода из строя целого звена конструкции.

Качество техники при ее работе определяется надежностью работы и ресурсным запасом, данные характеристики являются показательными для высоконагруженных узлов и деталей, так как их прочность зависит от

конструкторско-технологических и эксплуатационных аспектов. Одной из важных составляющих для сопротивления усталости является её физическо-механическое состояние. Особенно если это касается зон с повышенной концентрацией напряжений.

При переменнo-поступающих внешних нагрузках и постоянной эксплуатации изделия возникает изнашивание поверхностного слоя детали и как следствие его износ. Помимо упругих деформаций есть и остаточные напряжения, которые влекут за собой неизменяемую деформацию в поверхностном слое тела[1].

Деформации имеют разный характер воздействия на конструкцию. Одни работают преимущественно по касательной составляющей напряжения, а другие по нормальной составляющей.

Виды деформаций по характеру приложения к объекту (рисунок 1):

1. деформация растяжения;
2. деформация сжатия;
3. деформация сдвига (или среза);
4. деформация при кручении;
5. деформация при изгибе.

Самыми распространёнными для металлов деформациями являются упругие и пластические, которые имеют разный характер действия.

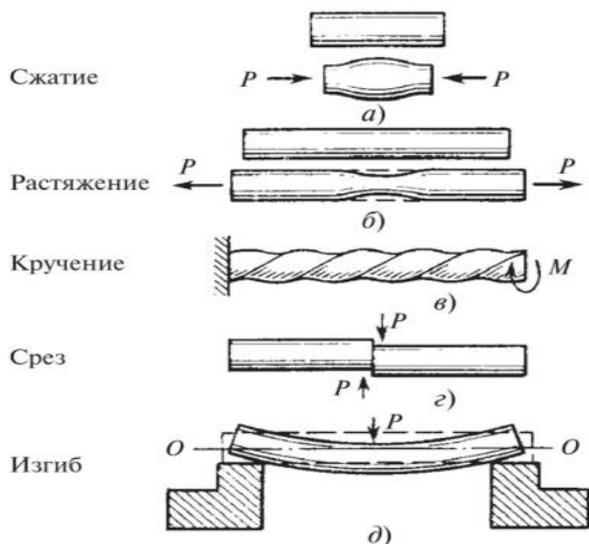


Рисунок 1 - Виды деформаций материала

Действие упругой деформации необходимо для проверки конструкции на прочность, так как после снятия нагрузки видимых изменений в форме быть не должно. Происходит лишь незначительные смещения атомов кристаллической решётки.

Пластическая деформация является необратимой, потому что после снятия нагрузки она остаётся и сильно воздействует на кристаллическую решётку. В свою очередь пластическая деформация делится на деформацию скольжения и двойникования.

Здесь стоит ввести понятие прочности как одной из 3 главных составляющих проектирования. Прочность – это сопротивление разрушению материала.

Большинство металлов выдерживают лучше растяжение и сжатие, чем сдвиг. Именно поэтому пластическая деформация действует по плоскостям скольжения, где концентрация атомов больше и соответственно меньше сопротивление сдвигу. Результат скольжения на кристаллическое строение движущихся частей не имеет никакого влияния.

Двойникование представляет из себя процесс, происходящий при низких температурах и высоких скоростях повышения нагрузки. Обычно процесс сдвига в двойниковании сильнее чем при скольжении и возникает, когда скольжение затруднено.

Предел выносливости это – способность материала выдерживать переменные нагрузки, которые вызывают напряжения в нем. Предел выносливости также называют пределом усталости, и он является одним из прочностных характеристик изделия.

Зависимость предела выносливости определяется, отталкиваясь от таких параметров как:

1. размеры конструкции или детали;
2. поверхностный слой материала;
3. наличие локальных напряжений;
4. используемого материала.

Для учета местных напряжений в областях размещения концентратора вводится понятие эффективного коэффициента концентрации напряжений  $K_{\sigma}$  для нормальных напряжений и  $K_{\tau}$  - для касательных.

Эффективный коэффициент концентрации напряжений представляет собой отношение предела выносливости стандартного образца без концентратора к пределу выносливости образца такого же размера, но с концентратором:

$$K_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1c}}; K_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\tau_{-1c}}; \quad (1)$$

Значения  $K_{\sigma}$  и  $K_{\tau}$  можно определить через теоретические коэффициенты концентрации  $\alpha_{c\sigma}$  и  $\alpha_{c\tau}$ , которые равны отношениям соответствующих наибольших местных напряжений к номинальным. Тогда имеем

$$K_{\sigma} = 1 + q(\alpha_{c\sigma} - 1); K_{\tau} = 1 + q(\alpha_{c\tau} - 1); \quad (2)$$

где  $q$  - коэффициент чувствительности материала к концентрации напряжений. Формула (2) является результатом обобщения экспериментальных данных о влиянии местных напряжений на усталостную прочность. Исследования[1] показали, что коэффициент чувствительности материала  $q$  зависит исключительно от химического состава этого материала, и для практических расчетов можно воспользоваться усредненными значениями, приведенными в таблице 1. Однако этот способ довольно грубый, и ошибка при его применении достигает 25%.

Таблица 1

Рекомендуемые значения коэффициента чувствительности материала  $q$

Материалы	$q$
литые материалы	0,1÷0,2
среднеуглеродистые и низколегированные стали	0,4÷0,6
легированные стали	0,6÷0,7
высоколегированные стали	0,9

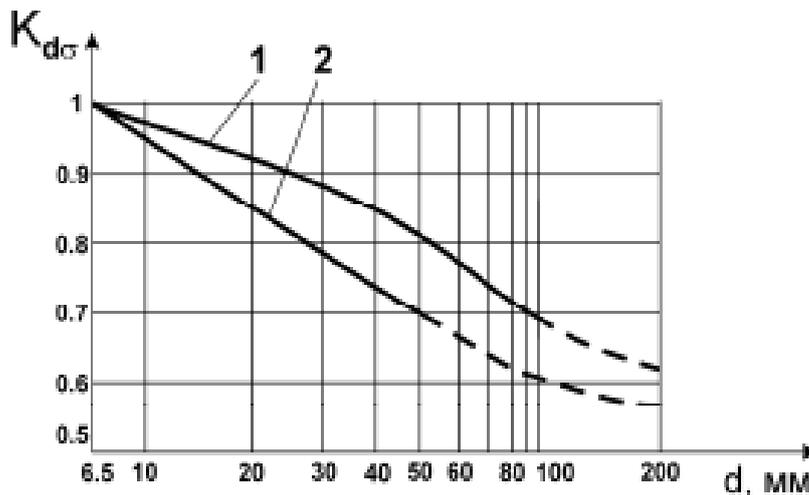
Значения коэффициентов  $\alpha_{c\sigma}$  и  $\alpha_{c\tau}$  рассчитываются методами теории упругости либо определяются экспериментально. Кроме того, возможно

нахождение этих величин при помощи систем конечно-элементного анализа, реализуемых на компьютере.

С увеличением линейных размеров детали вероятность появления усталостных трещин также увеличивается, что предлагается учитывать введением масштабного коэффициента:

$$K_{d\sigma} = \frac{\sigma_{-1d}}{\sigma_{-1}}, \quad (3)$$

где  $\sigma_{-1d}$  - предел выносливости образца заданного размера;  $\sigma_{-1}$  - предел выносливости эталонного образца диаметром  $7 \div 10$  мм. Как показали многочисленные эксперименты, для работающих на изгиб геометрически подобных образцов имеют место зависимости, приведенные на рисунке 2.



1 - углеродистые стали; 2 - легированные стали

Рисунок 2 – зависимость образцов работающих на изгиб

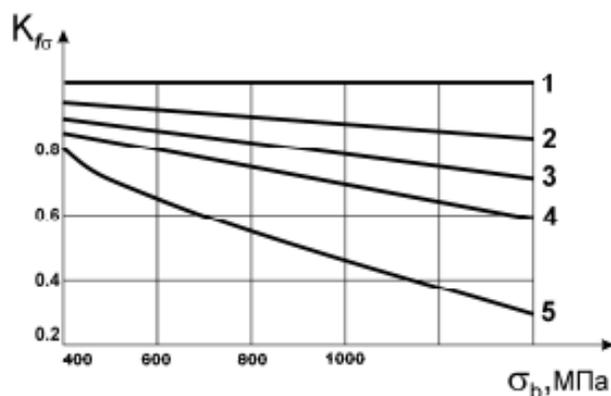
Влияние состояния поверхности на величину предела усталостной прочности характеризуется коэффициентом качества поверхности, который численно равен отношению предела выносливости образца с фактическим состоянием поверхности к пределу выносливости геометрически подобного образца с полированной поверхностью:

$$K_{F\sigma} = \frac{\sigma'_{-1}}{\sigma_{-1}}; K_{F\tau} = \frac{\tau'_{-1}}{\tau_{-1}}; \quad (4)$$

Экспериментально установлены следующие соотношения для расчета коэффициентов качества поверхности стальных образцов ( $Rz \cong 4Ra$  — высота шероховатости поверхностного слоя):

$$K_{F\sigma} = 1 - 0,22 \lg R_z \left( \lg \frac{\sigma_b}{20} - 1 \right), R_z > 1 \text{ мкм}; K_{F\sigma} = 1, R_z < 1 \text{ мкм}; \frac{1}{K_{F\tau}} = 0.575 \frac{1}{K_{F\sigma}} + 0.425. \quad (5)$$

Чем прочнее материал, тем более он чувствителен к состоянию поверхности (рисунок 3).



1 - полирование; 2 - шлифование; 3- тонкое точение;

4 - грубое точение; 5 - необработанная после прокатки

Рисунок 3- График зависимости прочности материала на состояние поверхности

В заключении хочется сказать, что, предел выносливости как физико-механическая характеристика материала зависит от концентрации напряжений, масштабных факторов, состояния поверхности и внешней среды.

В настоящее время испытания на усталость следует подразделять на три основные вида: малоцикловую усталость (база испытания  $5 \cdot 10^4 - 10^5$  циклов нагружения), многоцикловую усталость (база испытания  $10^7 - 10^8$  циклов) и гигацкловую усталость (база испытания  $> 10^7 - 10^8$  циклов). При проведении каждого из этих видов испытаний, как правило, требуется использовать различные методики. Поскольку проведение первых видов испытаний нормированно стандартами, то, по-видимому, получаемые характеристики следует называть нормированными. Например, для многоцикловой усталости – нормированный условный предел выносливости (в том случае, когда на кривой усталости нет горизонтального участка на стандартной базе испытания) и просто нормированный предел выносливости (когда на кривой усталости есть горизонтальный участок).

### Список литературы:

1. Шелофаст В.В. Основы проектирования машин. // М.: Изд-во АПМ. 472 с.
2. Александров А. В., Потапов В. Д. Основы теории упругости и пластичности // Высшая школа. 1990. С. 400.
3. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин // Наука. 1988. С. 640.
4. Манаенков К.А., Колдин М.С. Подготовка инженерных кадров для реализации программ научно-технического развития АПК. // Интеллектуальные технологии и техника в АПК. Материалы международной научно-практической конференции 18-20 октября 2016 г. Мичуринск: Изд-во «БИС». 2016. С. 26-37.

**UDC 620.1:539.4**

### **THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON THE VALUE OF THE ENDURANCE LIMIT OF THE MATERIAL**

**Alla B. Lykova**

student

lukovaalla3@gmail.com

**Mikhail S. Koldin**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

koldinms@yandex.ru

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

**Abstract.** This article discusses the types of deformations in mechanical engineering, the role of residual stresses and describes in detail the limit of endurance (fatigue).

**Keywords:** endurance limit, stress, elements, load, coefficient, deformation, mechanical engineering.

Статья поступила в редакцию 05.09.2023; одобрена после рецензирования 16.10.2023; принята к публикации 27.10.2023.

The article was submitted 05.09.2023; approved after reviewing 16.10.2023; accepted for publication 27.10.2023.