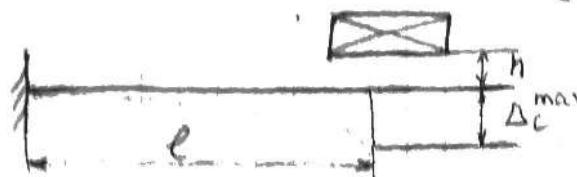


### n. 37. Статически́й узел



$$\Delta c_{\max} = \frac{Ql^3}{3EI_x}$$

$$\Delta c_{\max} = \frac{M_x^{\max}}{W_x} = \frac{Ql}{W_x}$$

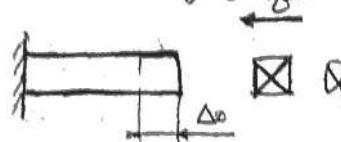
$$k\vartheta = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\Delta c}} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 3hEI_x}{Ql^3}}$$

$$\Delta_D^{\max} = \Delta_c^{\max} \cdot k\vartheta = \frac{Ql}{W_x} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{6hEI_x}{Ql^3}} \right)$$

$$h \gg \Delta_c^{\max}$$

$$\Delta_D^{\max} = \frac{Ql}{W_x} \sqrt{6hEI_x}$$

### n. 38. Определение $k\vartheta$ при горизонтальном угле



Потенциальная энергия, накопленная в системе в момент возникновения начальной деформации до явна кинетической энергии системы в момент конформирования с неё ударающим тела весом  $P$ .

$$T = \frac{mv^2}{2}; \quad \Pi = P_D \Delta_D$$

$$mv^2 = P_D k_D \Delta_D k_D$$

$$m v^2 = mg k_D \Delta_D k_D$$

$$v^2 = g \Delta_D k_D^2 \rightarrow k_D = \frac{v}{\sqrt{g \Delta_D}}$$

**ГЛАВА 9** Расчеты на прочность при циклических изменяющихся напряжениях

**§1 Изление установки материалов**

Большинство деталей машин и механизмов находится в движении, при этом действующие на них нагрузки меняются во времени или меняется положение детали по отношению к нагрузке, это приводит к накоплению циклических (периодически повторяющихся) напряжений в деталях.

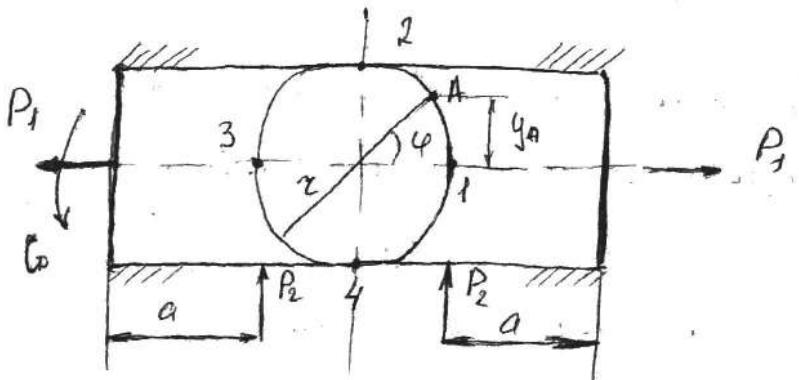
Разрушение деталей под действием переменных напряжений - усталостное разрушение.

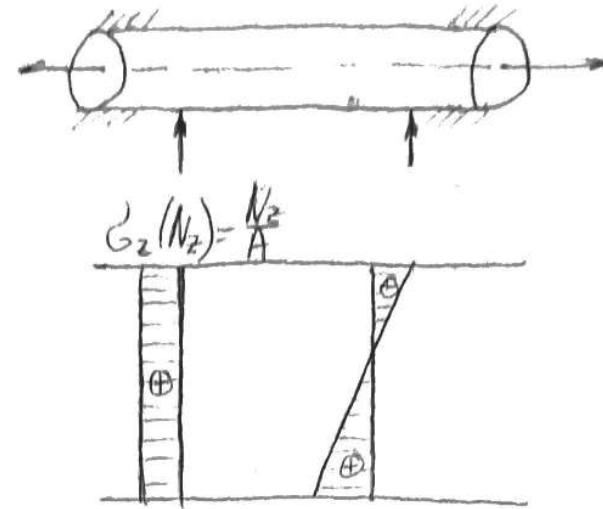
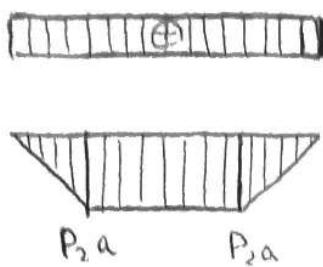
Усталость материала - накопление повреждений при многократном нагружении приводящему к возникновению усталостных трещин как спровоцированное разрушение.

Способность детали сопротивляться усталостному разрушению - выносливость (циклическая прочность).

Опасность усталостного разрушения в том, что оно происходит при напряжениях меньших  $\sigma_0$  и меньше  $\sigma_t$ .

Возникновение переменных напряжений рассмотрим на примере вала, который вращается с  $\omega$  и подвержен действующим на изгибющим моментом нагрузкам.





$$\sigma_2(N_x) = \frac{N_x}{A} = \frac{M_x}{W_x} y$$

При вращении балки в правильной точке A на ее поверхности в правильном моменте времени t напряжение будет определяться выражением:

$$\sigma_2^A = \frac{N_x}{A} = \frac{M_x}{W_x} y_A = \frac{P_1}{A} \pm \frac{P_{2a}}{W_x} \sin(\omega t) \quad (*)$$

$$\omega t = \varphi, \quad W_x$$

$$W_x = \frac{y_x}{\varphi}$$

$$y_A = \varphi \sin(\omega t)$$

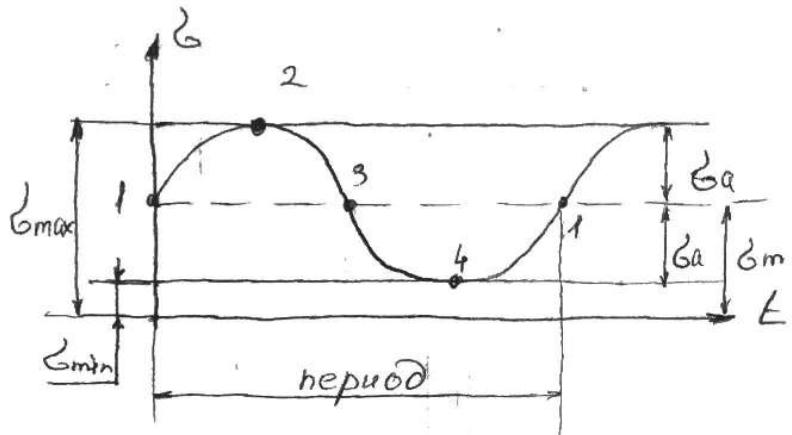
т.о. напряжение в балке изменяется по синусоидальному закону со средним напряжением

$$\sigma_m = \frac{P_1}{A} \text{ и амплитуда } \sigma_a = \frac{P_{2a}}{W_x}$$

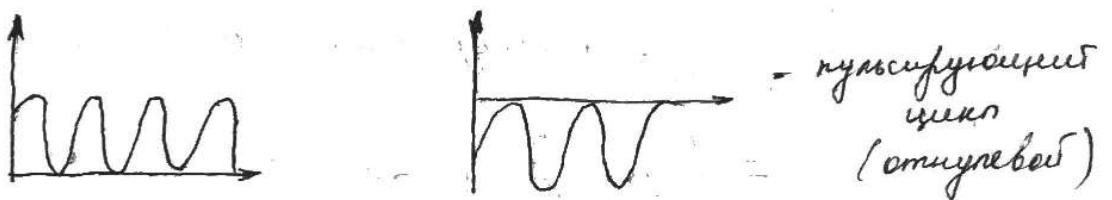
Совокупность последовательных напряжений за период - цикл

Можно построить график изменения напряжения в т. А по выражению (\*) в координатах  $\sigma(t)$

Гд. Виды и характеристики  
циклов напряжений



Рассмотренный цикл называют асимметрическим



Цикл полностью характеризует ср. величины:

$$\delta_{\text{max}} = \delta_m + \delta_a$$

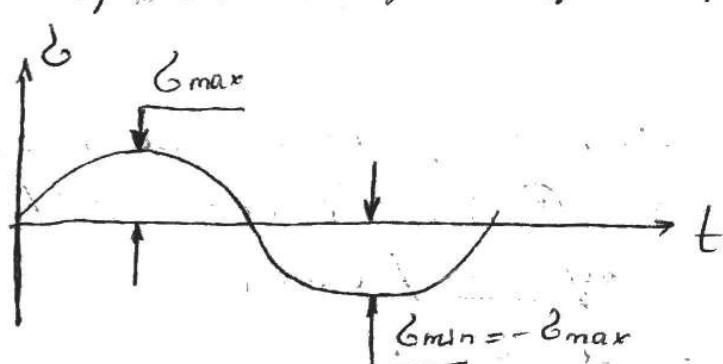
$$\delta_{\text{min}} = \delta_m - \delta_a$$

Число

$$\delta_m = \frac{\delta_{\text{max}} + \delta_{\text{min}}}{2}$$

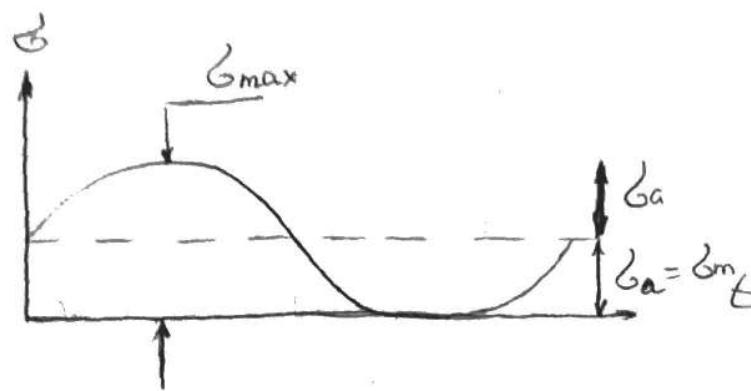
$$\delta_a = \frac{\delta_{\text{max}} - \delta_{\text{min}}}{2}$$

Коф-ф-тн асимметрии цикла:  $R = \frac{\delta_{\text{min}}}{\delta_{\text{max}}}$

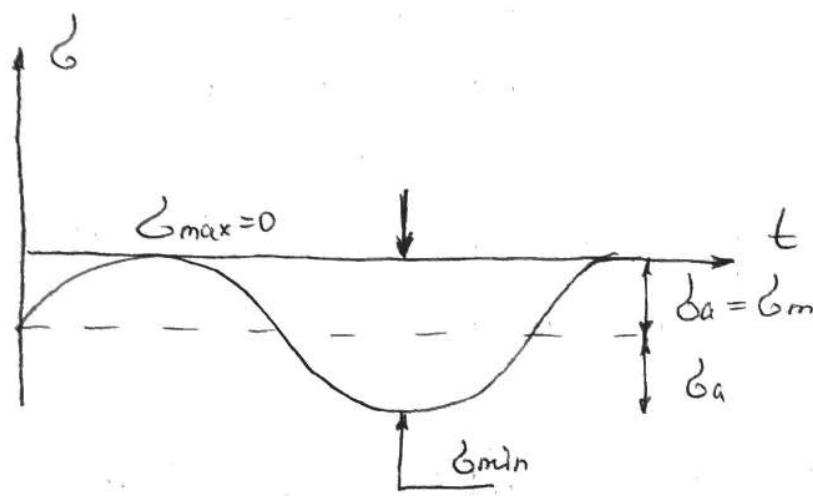


$$\delta_{\text{max}} = -\delta_{\text{min}} = a$$

$$\delta_m = 0, R = \frac{\delta_{\text{min}}}{\delta_{\text{max}}} = -\frac{\delta_{\text{max}}}{\delta_{\text{max}}} = -1$$



$$\sigma_{min}=0, \quad \sigma_m=\sigma_a=\frac{\sigma_{max}}{2}, \quad R=0$$



$$\sigma_a = \sigma_m = \frac{\sigma_{min}}{2} \quad R = -\infty \quad (\text{т.к. } \sigma_{min} \text{ стремится к } 0)$$

образ асимметричного цикла можно представить как  $\Sigma$  симметричного цикла с max напряжением, равным амплитуде гармонического цикла и постоянного напряжения, равного среднему напряжению гармонического цикла

Постоянное напряжение можно представить как случай неравномерного со ст. характеристиками.

$$\sigma_{max} = \sigma_{min} = \sigma$$

$$\sigma_m = \sigma$$

$$\sigma_a = 0$$

$$R = 1$$

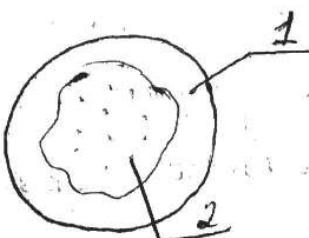
Цикл, у которого  $R$  - единица, — половине

### §3. Краткое усталость перед восстановлением

Число циклов, которое выдерживает деталь до разрушения, называется от 5-10 (при применении однократной цепи пробоек); малоцикловая усталость, до единиц, многоцикловая усталость, в зависимости от  $\sigma_{max}$ , при малых  $\sigma_{max}$  деталь может работать неограниченное время. Причиной усталостного разрушения является возникновение микротрешин в зоне квазивременных напряжений под окном винта/шпильки дефекта.

При статических нагрузках микротрешин не опасны.

При переносных нагрузках микротрешине опасны:

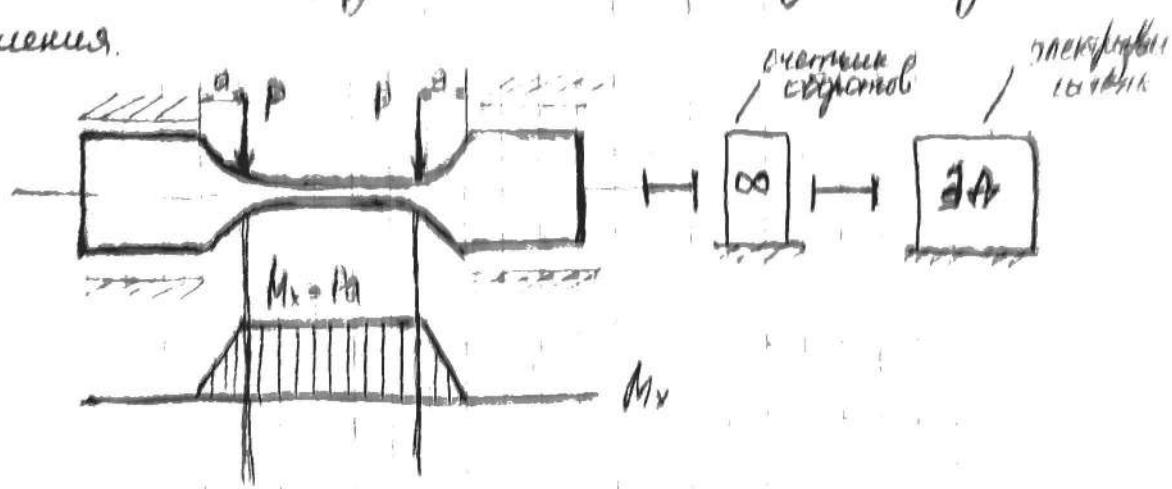


На сущности вана наблюдаются 2 характерные зоны:

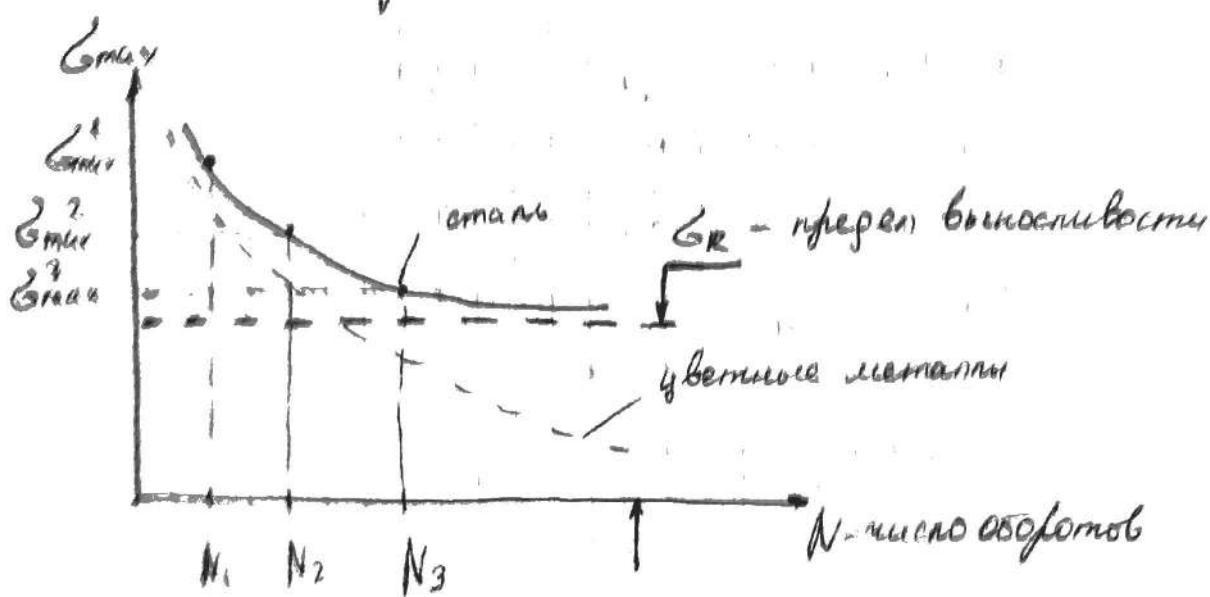
- 1) ядро (приметка) зона разрушения трещин
- 2) периферийная (крупнодернистая) зона видимого разрушения разрушение.

Механическую прочность материала оценивают величиной, которой называют пределом восстановления  $\sigma_R(G_i; G_{00} \Delta)$ ,  $\tau_R$

Величина пределов выносливости определяется из кривой усталости, которую получают экспериментальными путем, где циклы испытанием дают периодичность 10-15 си. соответствует изображенным образцам, вращающимся в условиях циклического нагружения.



Кривая усталости (Волера)



На первом образце создают напряжение

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{M_r}{W_z} = 0.9 \text{ б.}$$

$$\sigma_{\text{max}} < \sigma_1^1, \quad \sigma_{\text{max}} < \sigma_2^1$$

$N = 10^4$  - неиз��нутое испытание до разрушения, базовое число циклов для стали

(если  $\omega_{\text{внеш}} < 10^3$  число оборотов)

Для устойчивости не требуется установление числа циклов, в котором образец не разрушается, в этом случае за базовое число циклов принимают  $N = 10^4$ .

Наибольшее значение максимального напряжения цикла, при котором образец не разрушается за базовое число циклов — предел восприимчивости.

Если дано предположение о  $N$ -циклах работы, после чего ее заменяют, то на кривой восприимчивости можно определить дальнейшие ограничения предел восприимчивости  $\sigma_{-1}$ .

Экспериментально им путем найдено:

$$\sigma_{-1} = (0,4 \div 0,5) \sigma_m - \text{сталь}$$

$$\sigma_{-1} = (0,25 \div 0,5) \sigma_m - \text{чв. Ме.}$$

При кручении для пластичных материалов:

$$\tau_{-1} \approx 0,66 \cdot \tau_0 - \text{пластичные}$$

$$\tau_{-1} \approx 0,88 \cdot \tau_0 - \text{хрупкие}$$

## §4 Диаграмма предельных амплитуд

На известные значения перегородок восприимчивости и коф. асимметрии строится диаграмма предельных амплитуд в координатах  $\sigma_m$ ,  $\sigma_a$ .

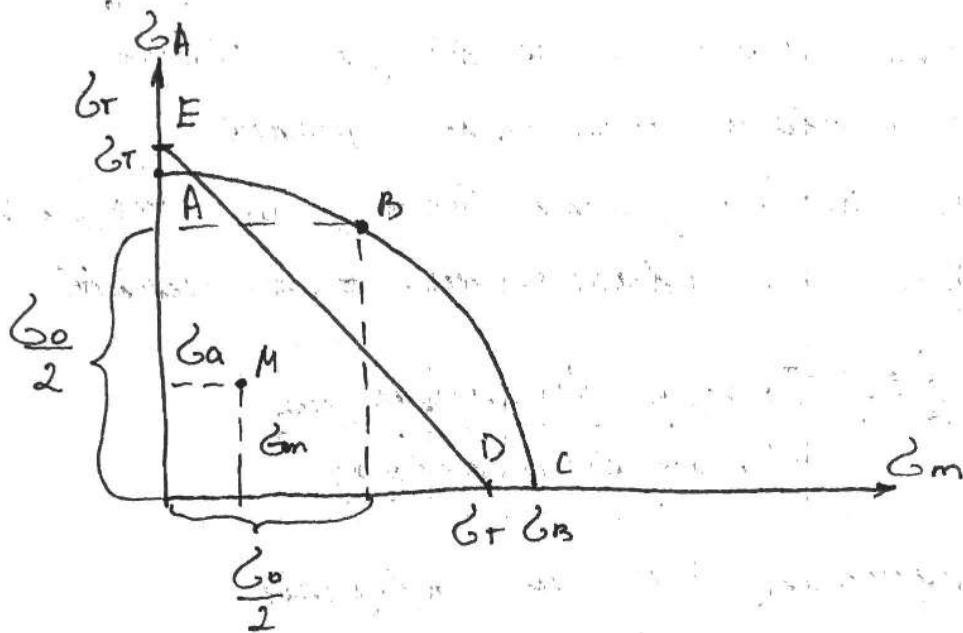


Диаграмма предельных амплитуд - явле. механической характеристики устойчивости прочности материала при стандартных образцов.

$$\sigma_a$$

$$\sigma_m$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_R$$

$$\sigma_{\min} = R\sigma_{\max}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_R(1+R)}{2}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_R(1-R)}{2}$$

Обычно диаграмма строится по 3-и точкам:

т. А - симметричный цикл  $R=0$

т. С - цикл прочности при статической нагрузкенности

$$\sigma_m = \sigma_m^*, k=1, \delta$$

т. В - положительно-пulsационный цикл

$$R=0, \sigma_a = \sigma_m = \frac{\sigma_R}{2}$$

Для пластичных материалов максимальное напряжение не должно превышать предел текучести  $\sigma_{max} = \sigma_a + \sigma_m \pm \sigma_t \rightarrow DE$

Слово диаграмма!

Если т. М со своими параметрами  $\sigma_m, \sigma_a$  расположена ниже линии ABC, то образец выдержит неограниченное число циклов

(не менее базового), если больше, то разрушение произойдет при ограниченном числе циклов

### § 5. Ракорды влияющие на пределы восприимчивости

При этом показывается, что на пределы восприимчивости существенно влияют следующие факторы:

1) концентрации напряжений

2) размеры детали

3) состояние поверхности

4) характер технологической обработки

и др. Вследствие чего предел восприимчивости реальной детали оказывается ниже, чем предел восприимчивости образца из того же материала.

1) Резкое уменьшение формоизменения (отверстия, щели и т. п.) значительно уменьшает предел восприимчивости, по сравнению с гладкими, чистотермическими образцами. Почему?

снижение оценивается коэффициентом концентрации напряжений, получаемого экспериментально. Для этого испытывают 2 серии образцов: с концентратором; без концентратора.

$$k_d = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1k}} \geq 1 \quad k_r = \frac{\tau_{-1}}{\tau_{-1u}} \geq 1$$

Во многих случаях при статической нагрузке концентрация напряжений не так опасна.

Статически разумнаясьшая сила для пластинок с отверстием и без него будет одинакова, при одинаковой площади сечения; при переменных напряжениях в зоне концентрации будут возникать и развивающиеся микротрещины, приводящие к разрушению.

2) Влияние абсолютных размеров поперечного сечения на предел прочности - масштабный фактор (масштабный эффект)

Чем больше размер поперечного сечения, тем меньше предел прочности.

Это явление объясняется тем, что в большем объеме увел. вероятность появления дефекта материала, дефекта поверхности, наличие ящиков снижается.

$$d, d_0 = 6 \div 10, \quad k_d = \frac{d_{-1d}}{d_{-1d_0}}$$

$$k_d = \frac{(d_{-1d})_d}{(d_{-1d_0})_0} < 1$$

При этом, чтобы избежать разрывов, до достижения этого поребок неизменной формы.

Исследование показывает, что глубина обработки снижает прочность. Влияние на величину поверхности связана с влажностью, изменением микро-геометрии, шероховатостью и состоянием материала поверхности слоя.

Для оценки связь имеет вид

$$K_p = \frac{\zeta_{-1}}{\zeta_{-1}^0}$$

$\zeta_{-1}$  - признак влажности с данным шероховатостью

$\zeta_{-1}^0$  - признак влажности конкретного образца

Изучение высокопрочной стали, работающей в условиях циклического нагружения выявляет особенности технологичности обработки.

Различные методы (накатка, цементация, шлифование, зачистка, полировка) также влияют на стойкость инструмента.

Увеличение признака влажности

$$K_g = \frac{\zeta_{-1}^0 + \Delta_g}{\zeta_{-1}}$$

Связь между признаком влажности конкретного изучения полированного и того же образца.

$$\zeta_{-1}^{u_g} = \frac{\zeta_{-1}}{K}$$

$$\zeta_{-1}^{u_g} = \frac{\zeta_{-1}}{k}$$

$K$  - коэф. сопротивления перехода вспомогательности  
отрицательно влияние основных факторов

$$K = \left( \frac{K_G}{K_d} + \frac{e}{K_F} - 1 \right) \frac{1}{k_g k_a}$$

$k_A$  - коэф-т учитывает технол. амплитудное  
изменение

В результате обработки возникает первоначальное

### § 6 Рассчет деформации

#### на циклическую прочность

Рассчет на вспомогательность обычно сводится к  
определению коэф. запаса цикл. прочности и  
сравнению его с нормативами допустимые деформации.

коэф. запаса цикл. прочности можно определить  
с помощью диаграммы пред. амплитуды.

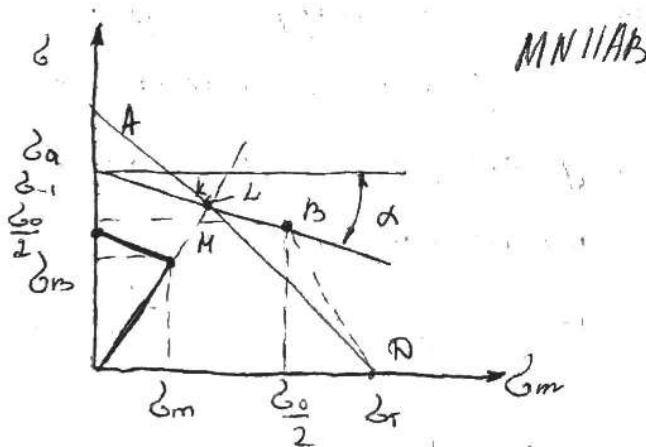


Диаграмма показывает кривую  $AB$  и заменяющую  
прямую.

т. чго  $OM$  соотв-т короткому циклу

Цикл изображенный точкой  $L$  наз-ся предельным

Т.к. max напряжение цикла фактически вспомогательное

Три условия подобия гармонического и предельного цикла, котр. зависят от усредненной производной будет

таким:

$$n_d = \frac{\partial L}{\partial M} = \frac{\partial A}{\partial N} = \frac{b_1}{2a + \psi_d} \text{ см}$$

$\psi_d = f_{pd}$  - котр. характеризует максимум по ампл. цикла напряжения.

Две оставшиеся котр. можно определить из эмп. формулы:  $\psi_d = 0,02 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \delta_B$

$$\psi = \frac{\psi_d}{2} = 0,5 \psi_d \quad \delta_B \rightarrow 6 \text{ МН/м}$$

$$n_x = \frac{\gamma_1}{2a + \psi_d \gamma_m}$$

$$n_d = \frac{\delta_T}{2a + \delta_m}$$

Две конкретные гармоники спереди уменьшают влияние котр. ампл. предела вспомогательного цикла. Эксперимент показывает, что этот котр. оказывает влияние только на перегибную составляющую цикла, поэтому он называется формула индукции бига:

$$n_d \gamma_a = \frac{\delta_1 - \psi_d (n_d \delta_m)}{k}$$

$$n_d = \frac{\delta_1}{k \delta_a + \psi_d \delta_m}$$

$$n_d = \frac{\delta_1}{k \delta_a + \delta_m} - \text{котр. гармоника перегиба}$$

$$n_2 = \frac{\tau_r}{k\tau_a + \tau_m}$$

$$n_2 = \frac{\tau_r}{k\tau_a + \tau_m}$$

$$\boxed{n = \frac{n_2 \cdot n_a}{\sqrt{n_2^2 + n_a^2}}}$$

φ-на рабт. - Помыка

Наше практическое изучение

$$1,3 \leq n \leq 2,0.$$