РАЗДЕЛ 16

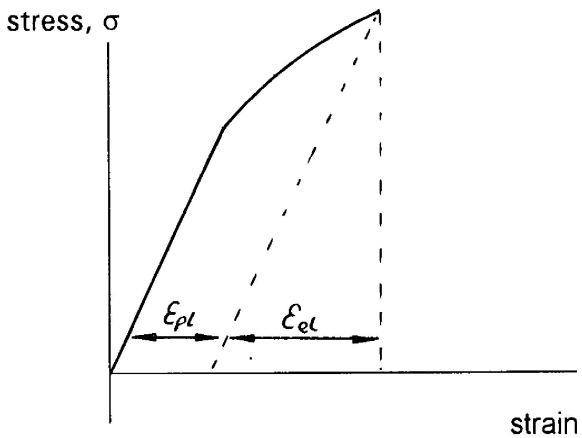
ТЕОРИЯ МЕТОДОВ МНОГОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ

МЕТОД КРИВЫХ УСТАЛОСТИ ВЕЛЛЕРА (МЕТОД S-N КРИВЫХ)

- **Метод S-N кривых используется для оценки суммарной долговечности без разделения на стадии зарождения и роста трещины**
- **Обычно испытывают отдельные части, детали конструкций для того, чтобы учесть вляние геометрии (построенные кривые называются «структурные» S-N кривые - structure S-N curves)**
- **По результатам испытаний гладких образцов строятся S-N кривые материала; они последовательно преобразуются, чтобы учесть влияние концентраторов, условия обработки поверхности и т.д.**

НЕКОТОРЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

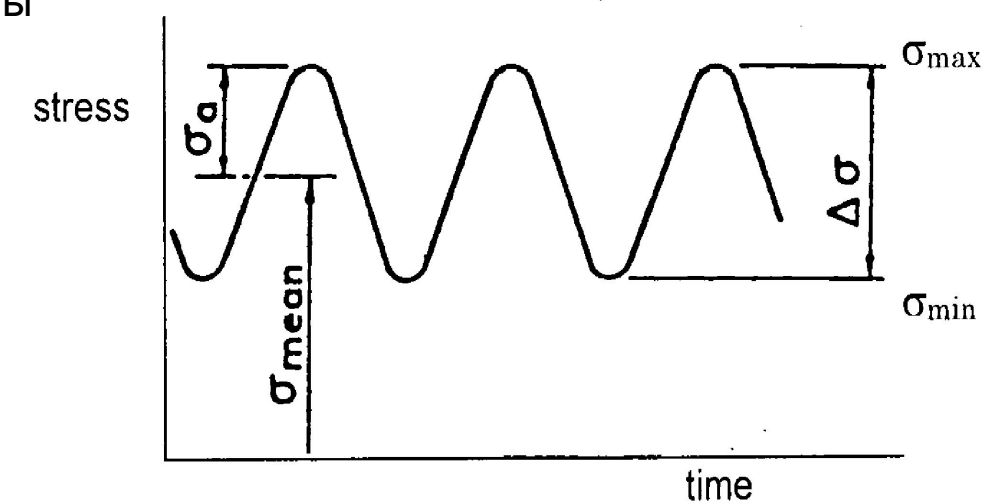
Напряжения и деформации



Амплитудное значение напряжения цикла

Минимальное/максимальное напряжения цикла и размах напряжений в цикле

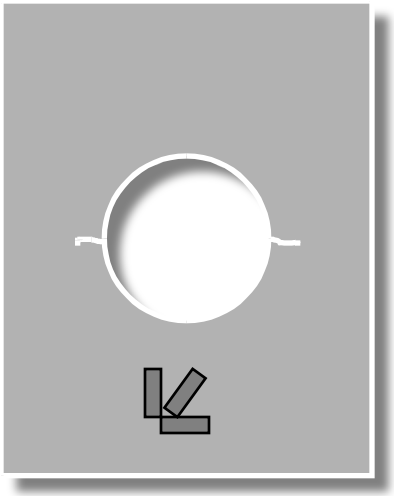
Циклы



Среденее значение напряжения цикла

S-N АНАЛИЗ

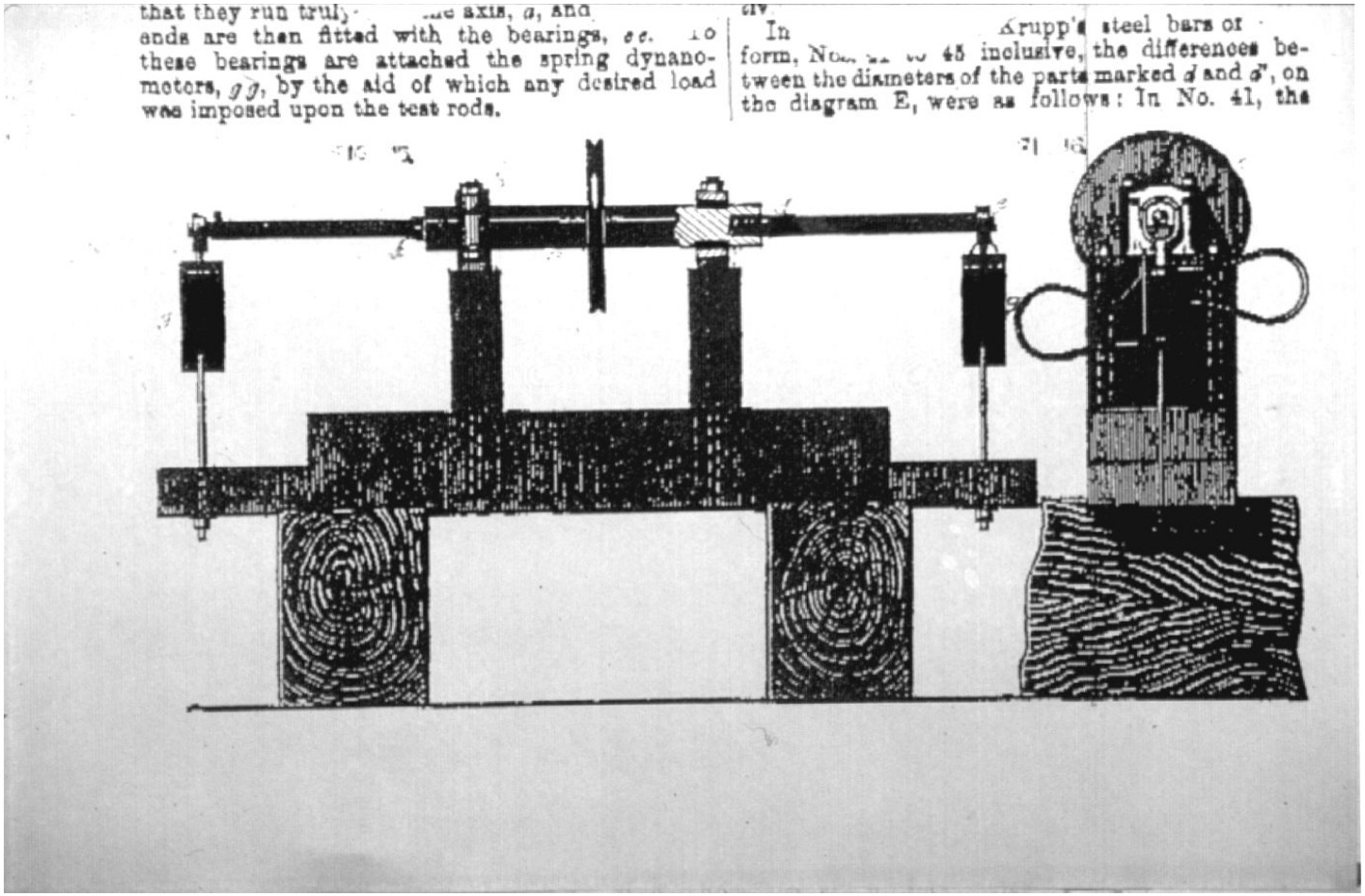
- **Оперирует понятием «циклы напряжений»**
- **Метод известен как «многоцикловая усталость» или «метод номинальных напряжений»**
- **Циклы номинальных напряжений должны дейтсвовать в линейной области (отсюда «много циклов»), хотя локальные напряжения в зонах концентраций могут оставаться пластичными**
- **В MSC.Fatigue SN анализ и линейный статический КЭ анализ используются напрямую без пластической коррекции**



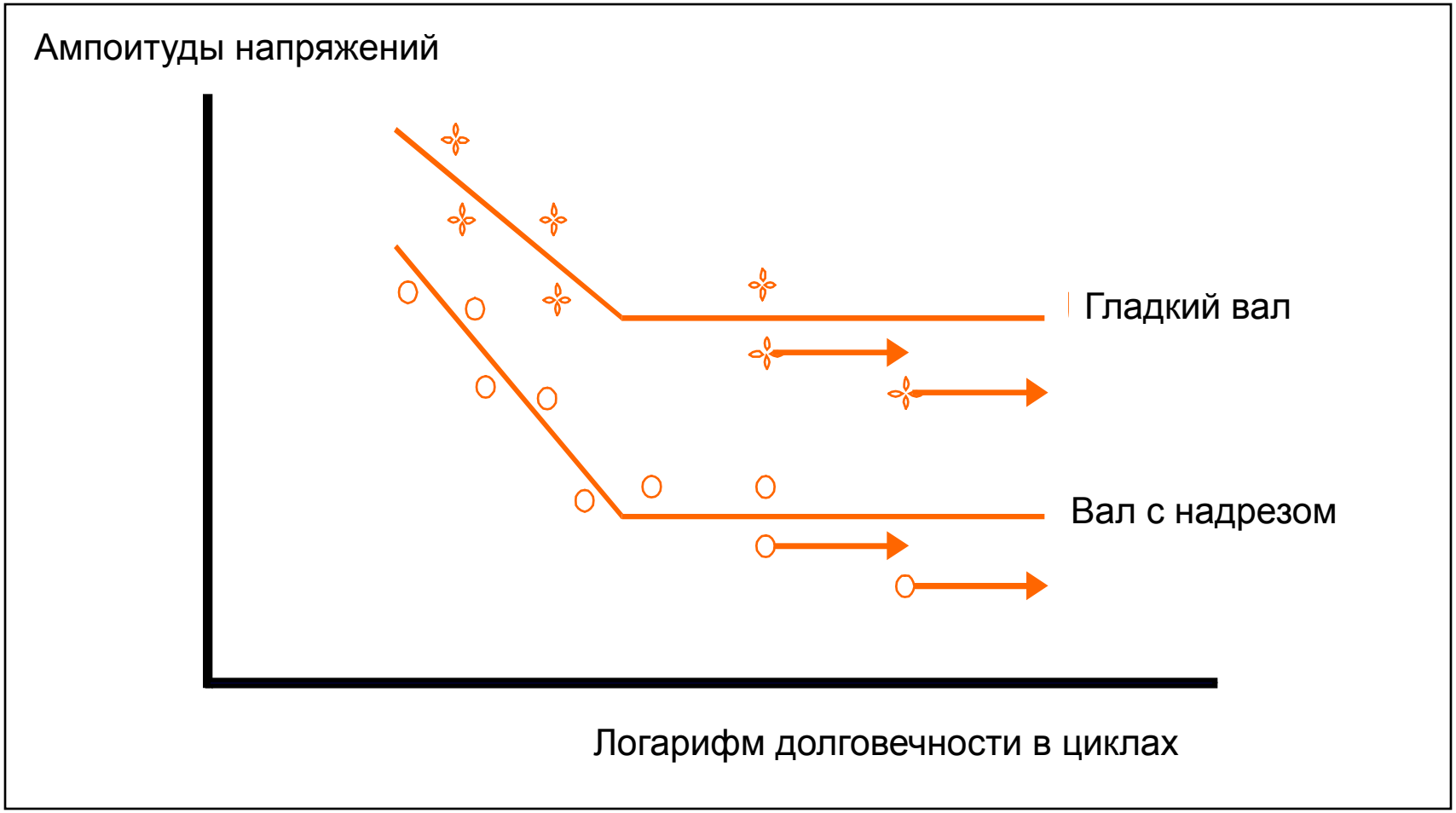
Действующие напряжения в зоне концентрации

Измеренные номинальные напряжения

S-N КРИВЫЕ



Устройтсво Велера для испытания деталей железно-дроржного транспорта на усталость (с 1852 по 1870)



Некоторые результаты испытаний Велера при изгибно-крутильном нагружении

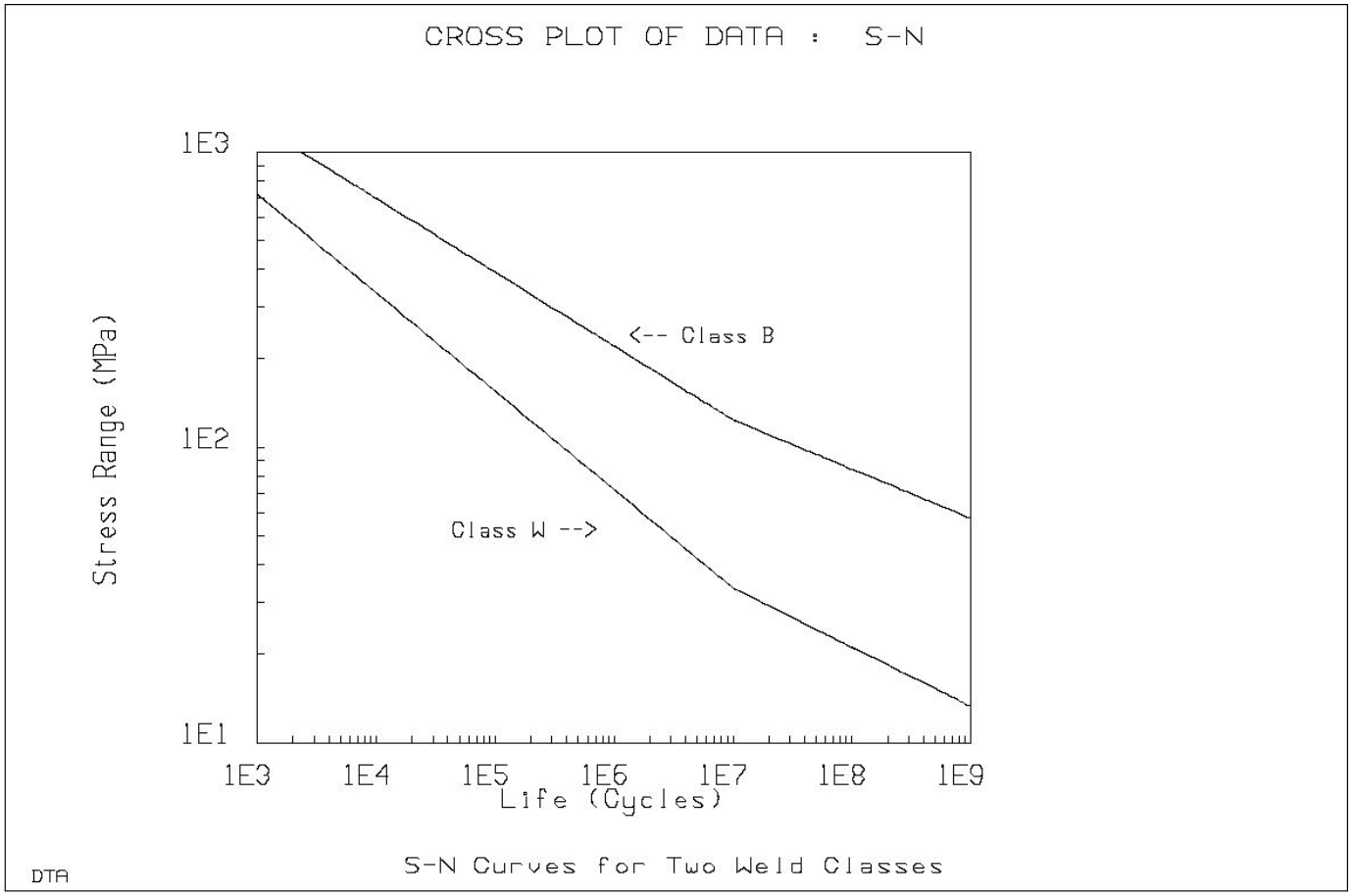
МЕТОД S-N КРИВЫХ

- Метод S-N кривых использует (предполагая упругие) номинальные напряжения (S) в качестве меры соответсвия истинному усталостному нагружению
- В эксперименте фиксируется колическтво циклов до разрушения
- S-N кривую строят на основе испытаний образцов на нескольких уровнях напряжений
- Подобные кривые строятся по результатам испытаний гладких образцов, отдельных деталей, отдельных сборок или даже целой конструкции

МЕТОД S-N КРИВЫХ

- **Использование метода S-N кривых предполагает:**
  - **Выяснение корректной усталостной кривой для анализа**
  - **Определение усталостной прочности для заданной долговечности**
  - **Выявление влияния на долговечность различных факторов, таких как состояние поверхности, внешние условия и т.д.**
  - **Определение, допустимо ли использование выбранного материала в производстве**
  - **Ответы на вопросы, которые возникнут вследствие усталостных разрушений конструкции при эксплуатации**

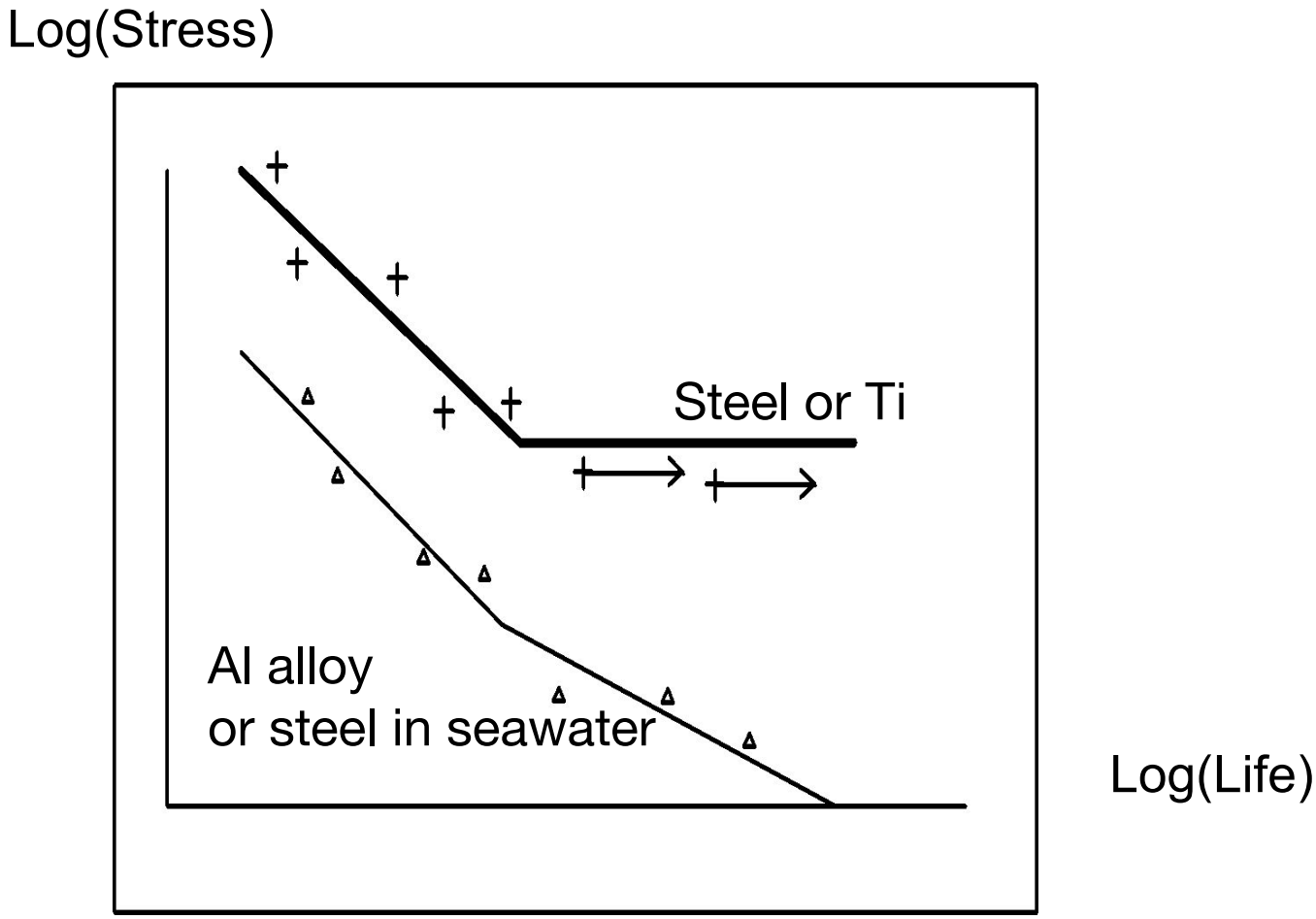
S-N КРИВЫЕ


CROSS PLOT OF DATA : S-N
1E3
1E2
1E1
Stress Range (MPa)
<-- Class B
Class W -->
1E3
1E4
1E5
1E6
1E7
1E8
1E9
Life (Cycles)
DTA
S-N Curves for Two Weld Classes

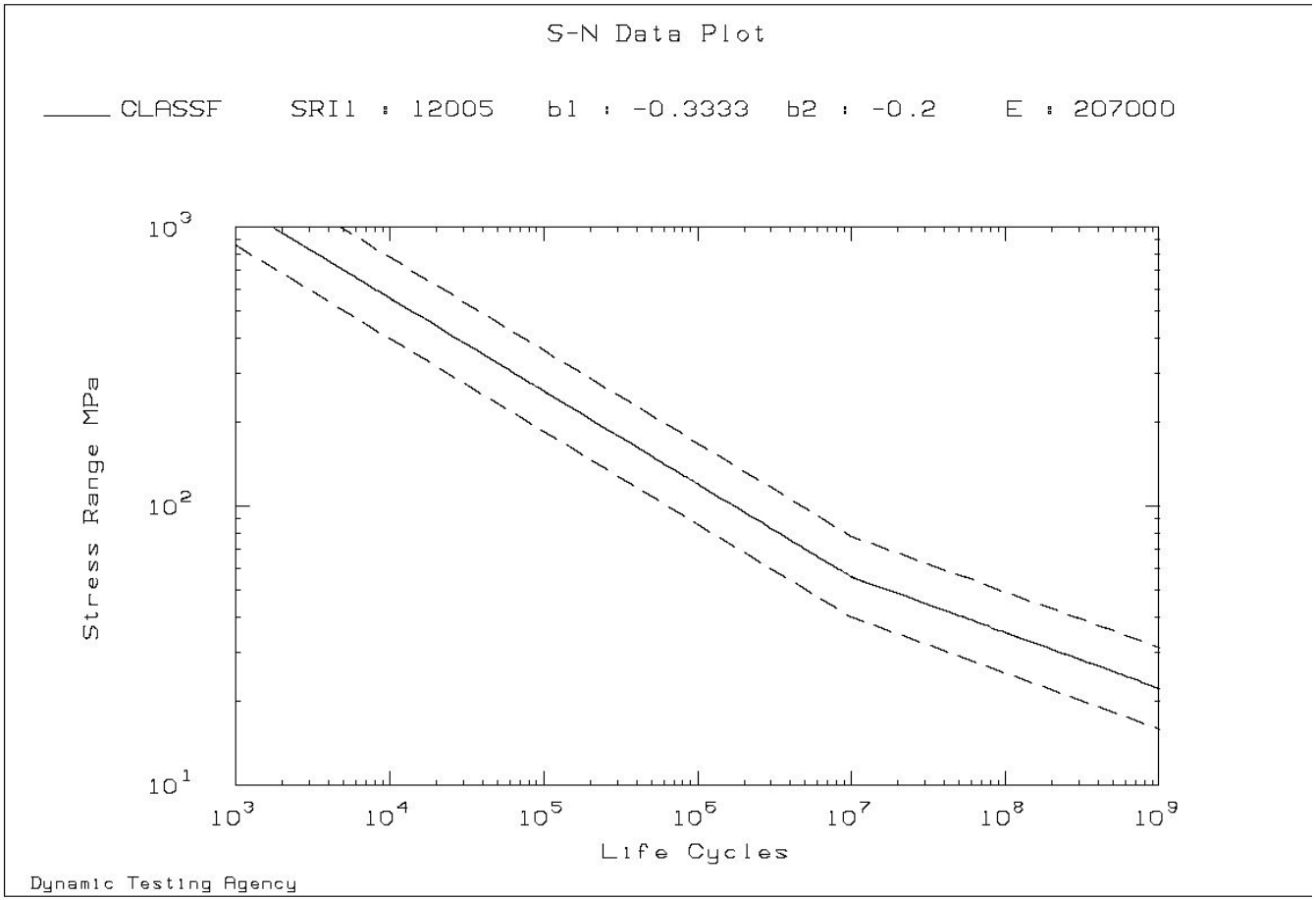
S-N КРИВЫЕ

- При испытаниях сталей на усталость (при постоянной амплитуде нагружения) было выявлено наличие предела выносливости – некотрого уровня напряжений, ниже которого не происходит усталостного разрушения при любом количестве циклов нагружения
- Наличие предела выносливости можно объяснить трудностями прохождения трещины через границы первых зерен металла, либо наличием микроскопических барьеров на пути роста трещины. Со временем предел выносливости может уменьшиться под возлействием растущих нагузок, внешней коррозии и т.д.
- Аллюминиевые сплавы не имеют предела выносливости (для них используется понятие предела ограниченной выносливости)

S-N КРИВЫЕ МАТЕРИАЛА



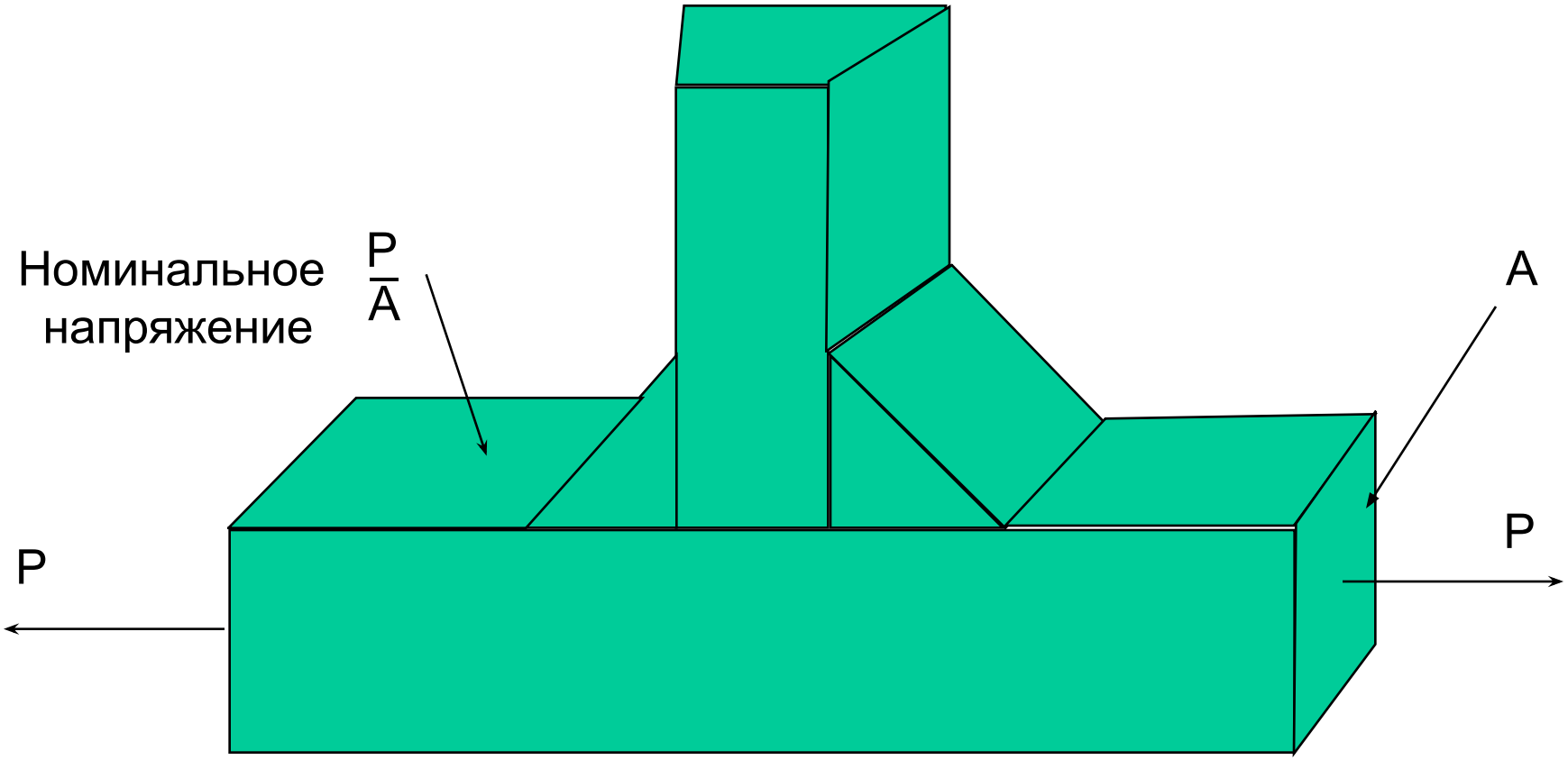
РАССЕИВАНИЕ ЗНАЧЕНИЙ S-N КРИВЫХ



S-N КРИВЫЕ ДЛЯ КОМПОЕНТЫ (ДЕТАЛИ, СБОРКИ, КОСТРУКЦИИ...)

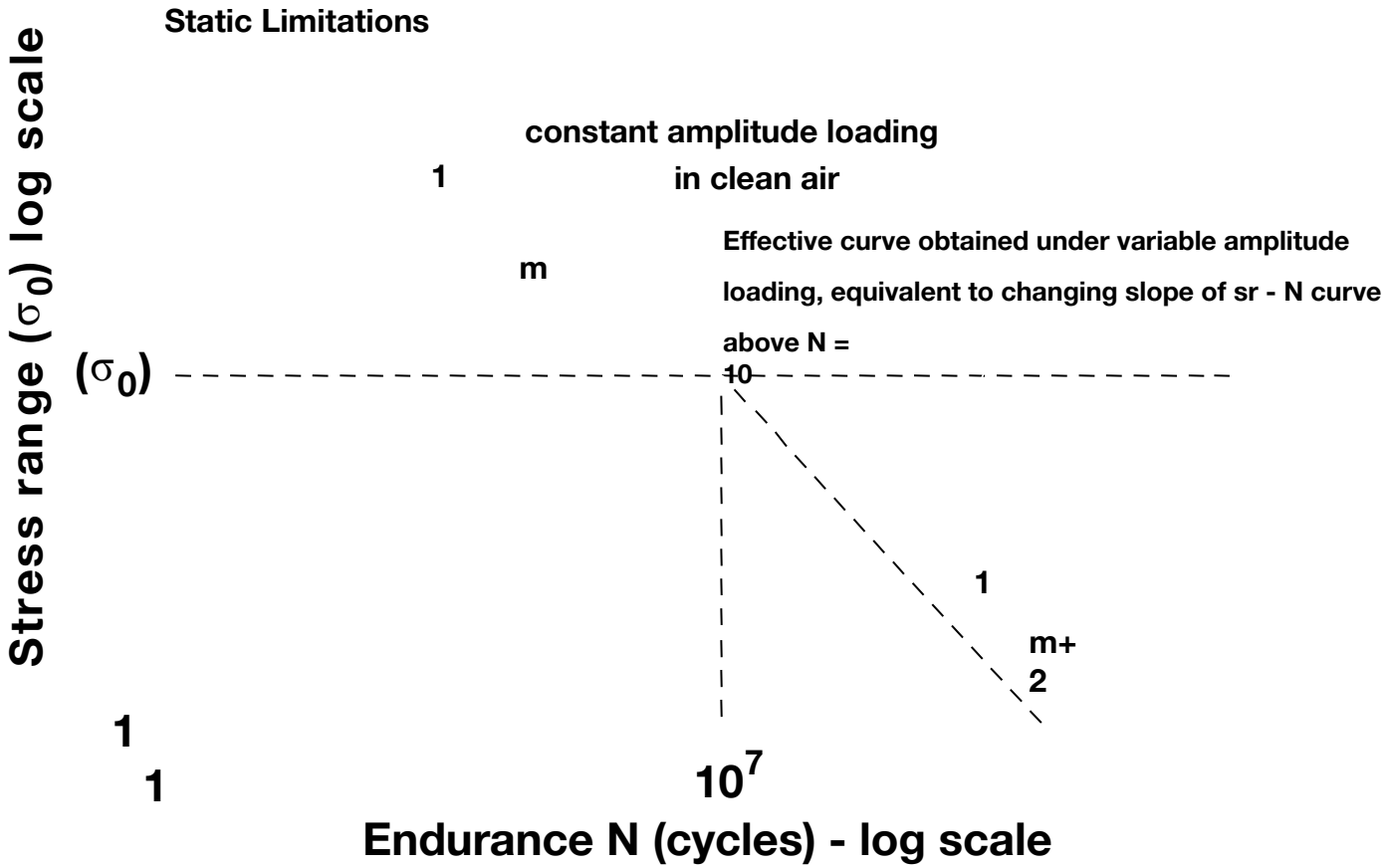
- **Для некоторых элементов конструкции, особенно соединений, например сварных, существует очень много факторов, влияющих на свойства основного материала. Их необходимо учитывать при испольлзовании S-N кривой данного материала.**
- **В подобных случаях лучше использовать S-N кривую, которая была построена по результатм усталостных испытаний компоненты конструкции - S-N кривая компоненты**

S-N КРИВАЯ КОМПОНЕНТЫ СТРОИТСЯ ПО НОМИНАЛЬНЫМ (УДАЛЕННЫМ) НАПРЯЖЕНИЯМ

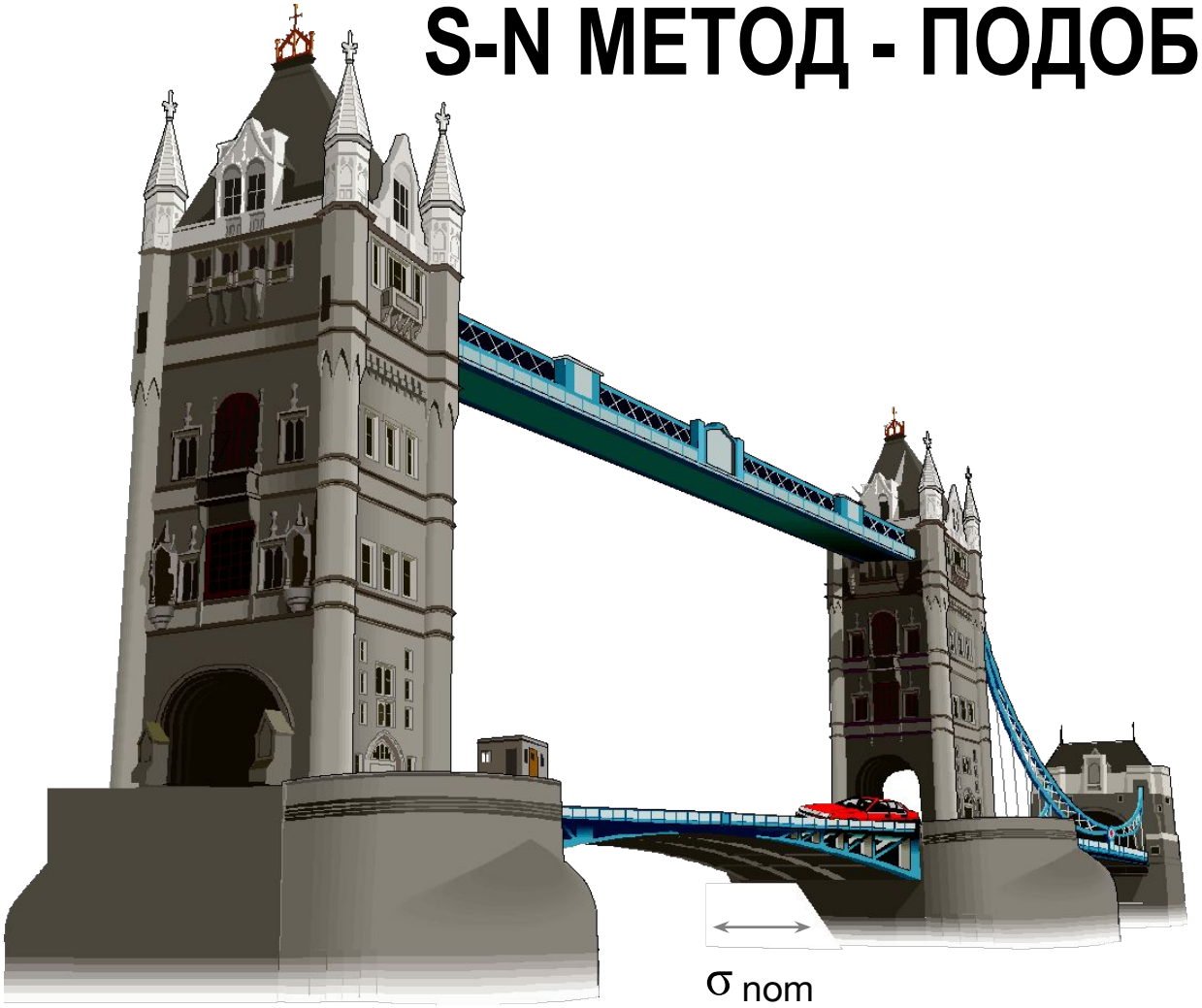


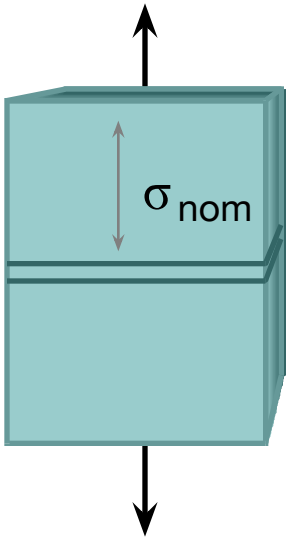
Сваренная деталь класса F (BS7608)

S-N КРИВЫЕ ДЛЯ СВАРЕННОЙ ДЕТАЛИ BS7608



S-N МЕТОД - ПОДОБИЕ





Долговечность здесь . . . . . такая же как в образце . . . . . , номинальные напряжения одинаковы

S-N МЕТОД - ПОДОБИЕ

- В рамках S-N метода предполагается, что долговечность детали или конструкции равна долговечности испытанного в лаборотории образца, если в обоих случаях действуют одинаковые номинальные напряжения
- Если условия испытания образцов не соответсвуют условиям работы изделия, то принцип подобия не работает и необходимо скорректировать некотроые факторы, такие как среднее напряжение цикла, условия окружающей среды, обработка поверхности и т.д.

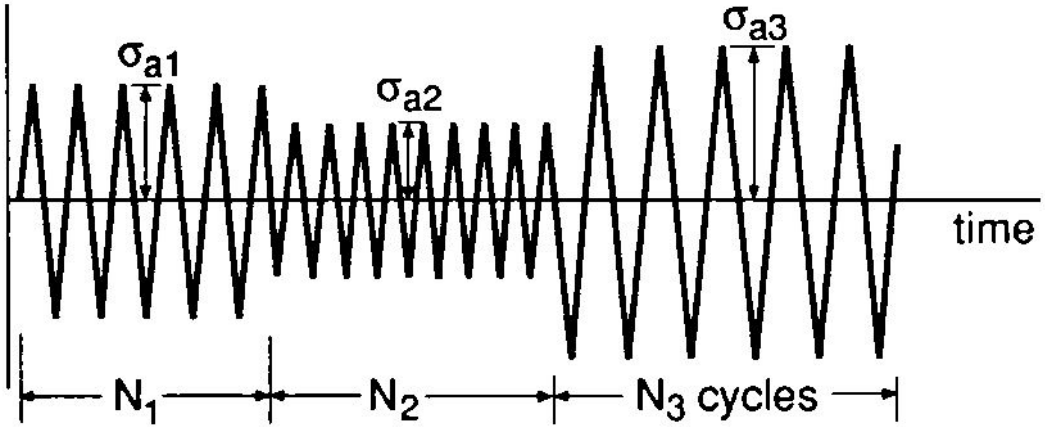
Нагрузки переменной амплитуды – правило Майнера и метод падающего дождя

MSC SOFTWARE
SIMULATING REALITY

Правило Майнера – Блочное нагружение

Правило Майнера назначает каждому циклу «долю повреждения» равную 1/Nf, где Nf – это количество циклов до разрушения для определенного уровня нагружения (определяется по S-N кривой)

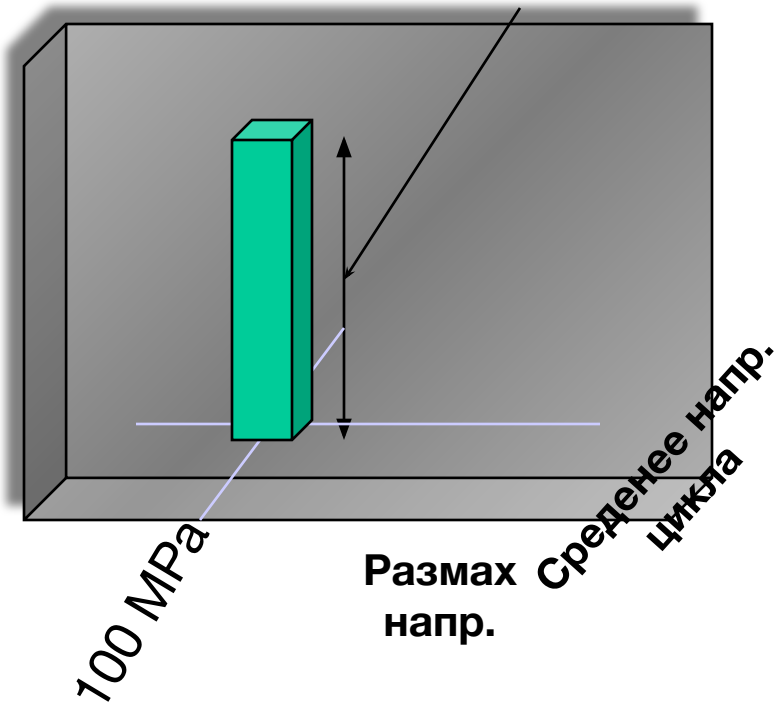
Предполагается, что разрушение произойдет, когда сумма повреждений вносимых всеми циклами будет равна 1. Если суммарное повреждение для заданного количества блоков нагружения D < 1, то долговечность определяется как 1/D – количество повторений блоков



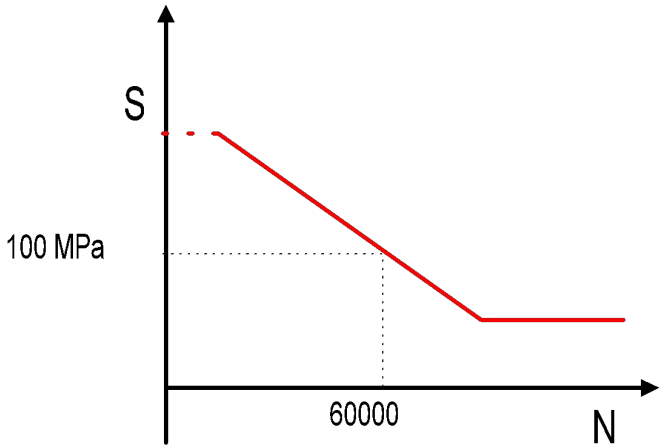
$$\frac{N_1}{N_{f1}} + \frac{N_2}{N_{f2}} + \frac{N_3}{N_{f3}} + \ldots = 1$$

ПОДСЧЕТ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПО МАЙНЕРУ

300 Циклов



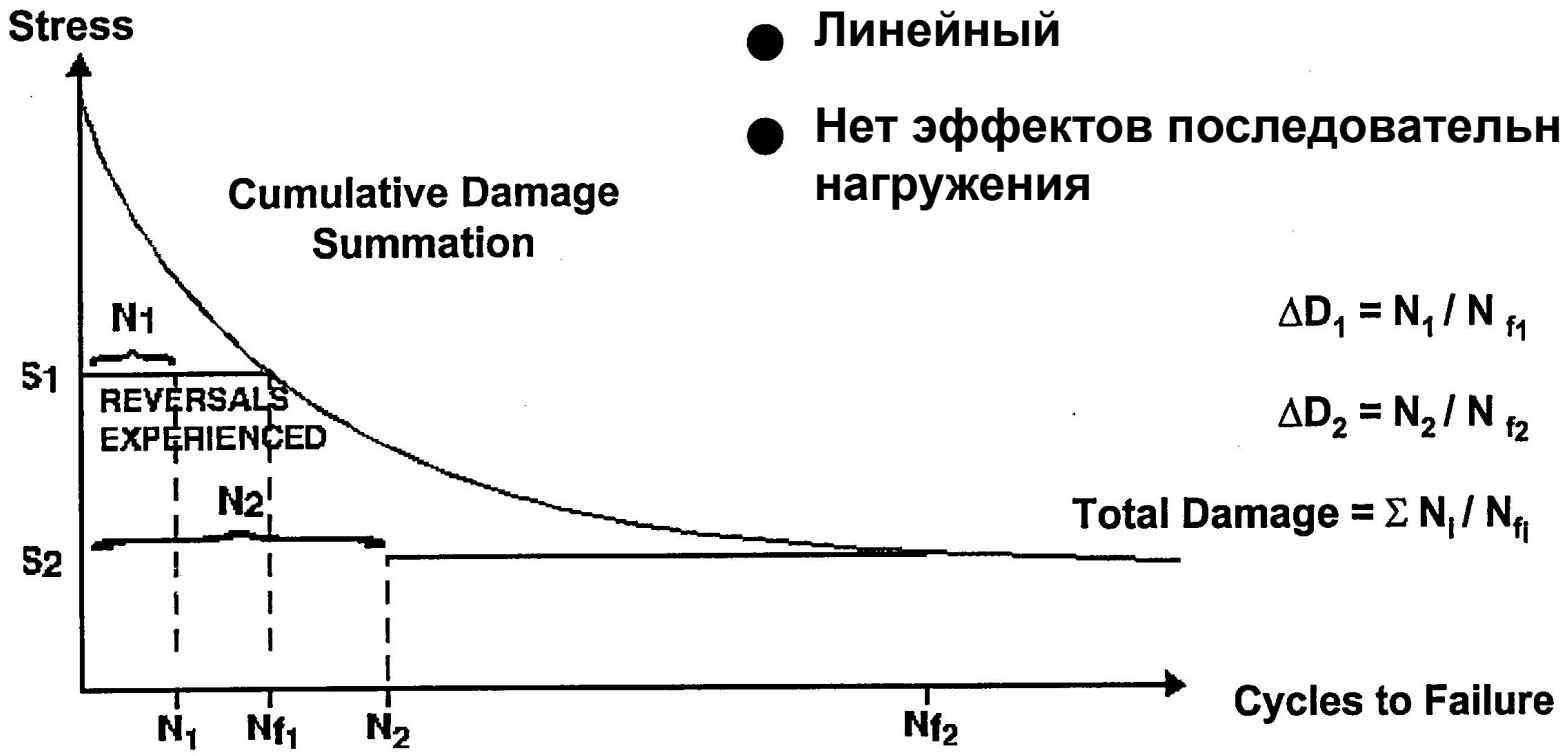
Кривая усталости материала



$$\text{повреждение} = \sum_i \frac{N_i}{N_f}$$

$$\therefore \quad \text{Накопленное повреждение} = \frac{300}{60000} = 0.5\% \ \text{ресурса}$$

ПРАВИЛО ЛИНЕЙНОГО СУММИРОВАНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ (ПРАВИЛО ПАЛМГРЕНА-МАЙНЕРА)



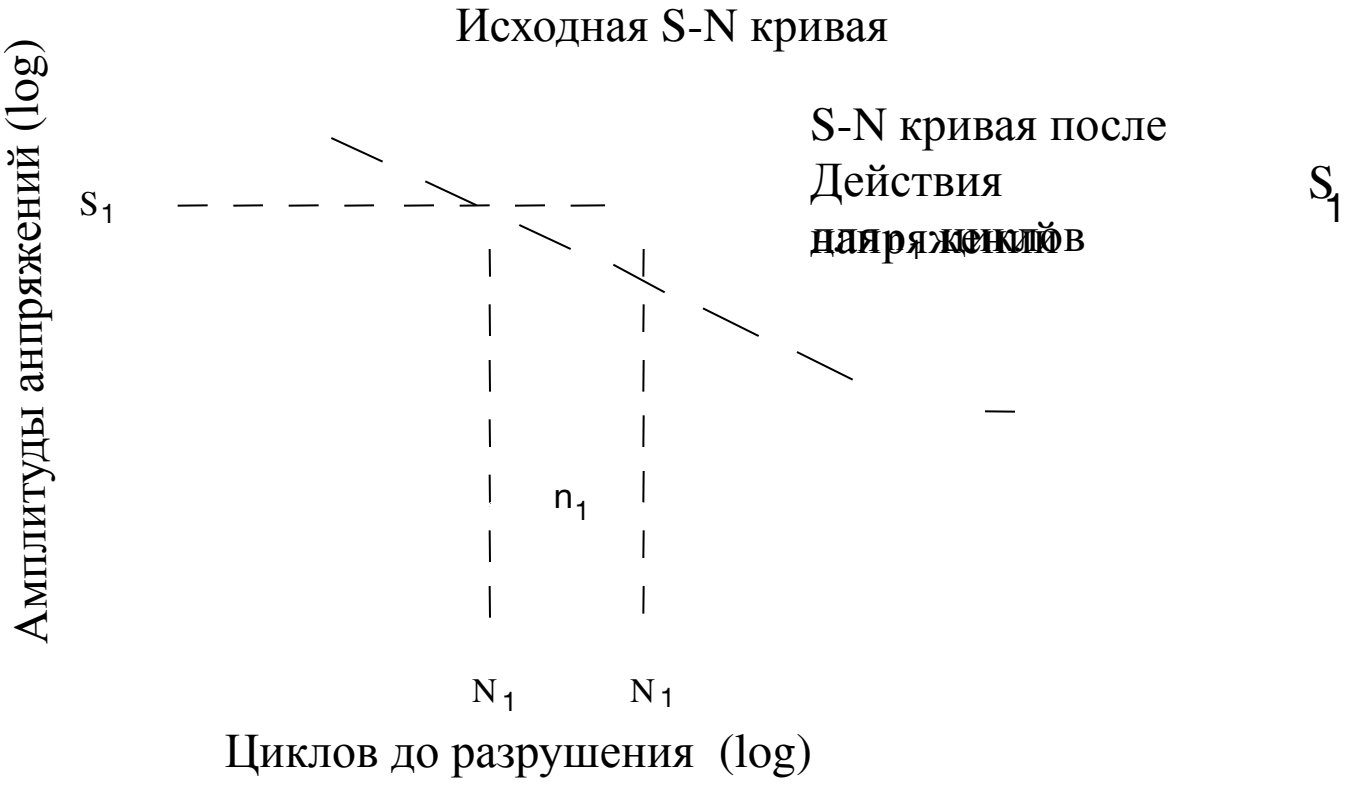
- Линейный
- Нет эффектов последовательности нагружения

$\Delta D_1 = N_1 / N_{f1}$

$\Delta D_2 = N_2 / N_{f2}$

Total Damage = $\Sigma N_i / N_{fi}$

ПРАВИЛО МАЙНЕРА И НА S-N КРИВОЙ



ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ТЕОРИИ ЛИНЕЙНОГО СУММИРОВАНИЯ

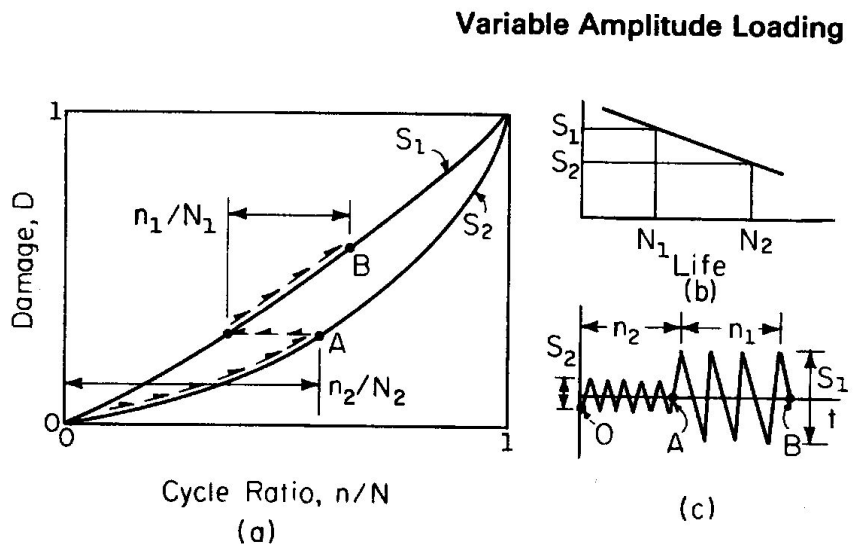
Преимущества:

1. Простота
2. В общем хорошее совпадение с большим количеством тестов

Недостаток:

Не учитывается влияние последовательности нагружения на величину повреждения. Например: испытания показывают, что циклы с большей амплитудой напряжений следующие за циклами с меньшей амплитудой напряжений вносят повреждений больше, чем в случае обратной последовательности

НЕЛИНЕЙНАЯ ТЕОРИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ



<u>Преимущества</u>: - $D = (n_f/N_{f_i})^p$ **-** закон учитвыает как последовательность так и уровень нагрузок.

-если **p** достоверно известно из экспериментов, то можно получить лучший результат

<u>Недостатки</u>: - **p** необходимо определять на основе большого количества экспериментов, что часто является затруднительным

- в большинстве случаев истории нагружения псевдослучайные, то есть заранее неизвестны .

- поиск **p** – трудоемкий процесс, требующий проведения большого количества тестов на разных уровнях напряжений цикла-

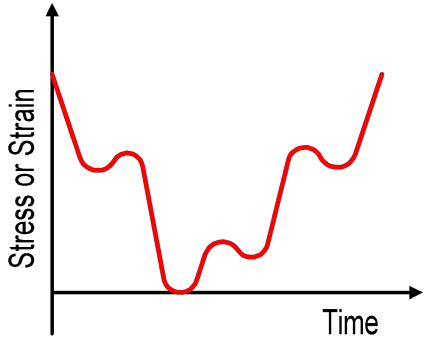
<u>Вывод</u>: Нелинейная теория очень затруднительна для применения и не дает существенных преимуществ в расчетах.

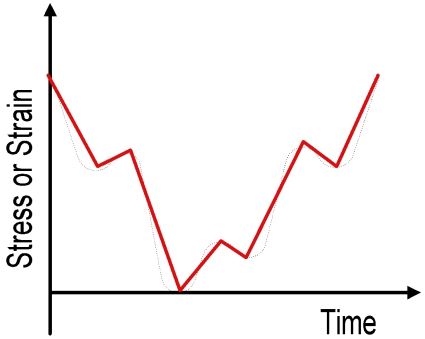
На практике эта теория не применяется. Поэтому не применяется и в MSC.Fatigue.

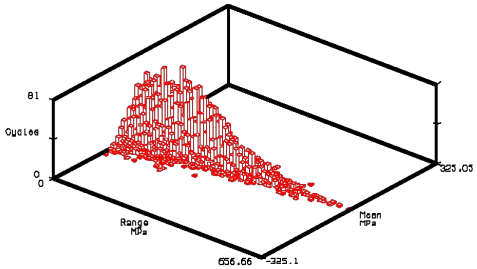
Нагрузки переменной амплитуды – прогнозирование долговечности

ЧТО ЯВЛЯЕТСЯ ПРИЧИНОЙ ПОЯВЛЕНИЯ И РОСТА УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН?

- Циклы напряжений или деформаций:



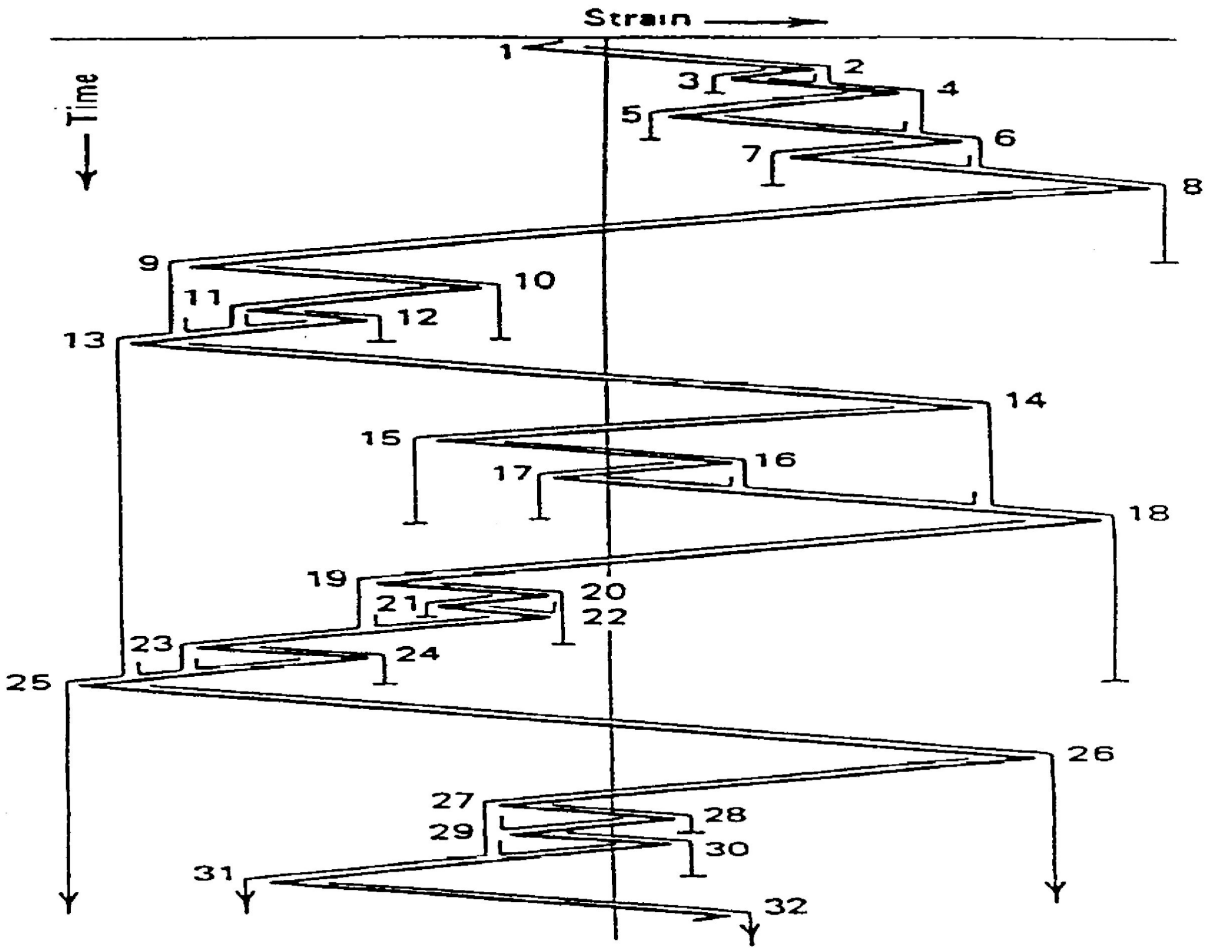




История нагружения → Поиск всплесков и провалов → Схематизация цикла

- Диапазоны размаха цикла и среднее напряжение

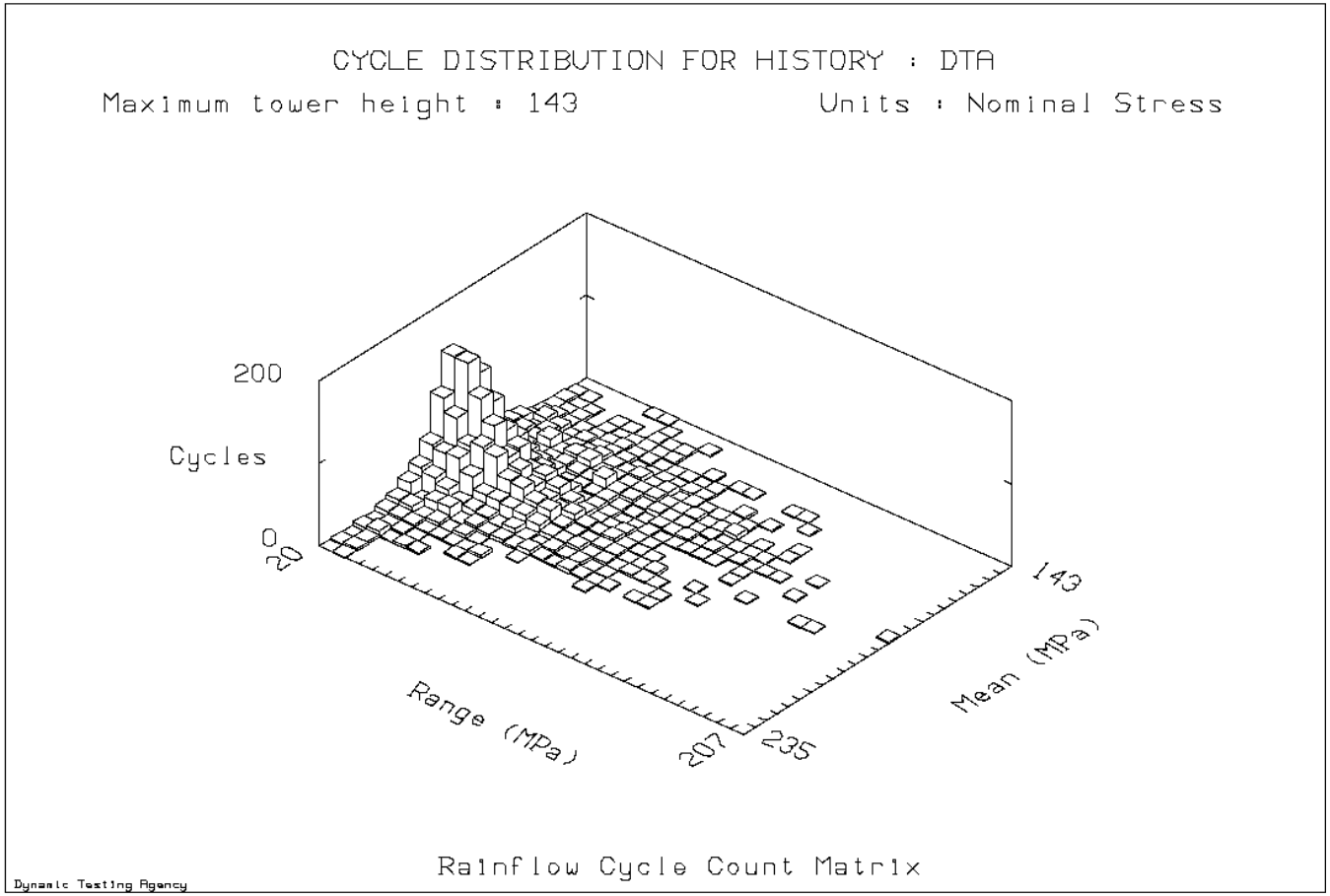
МЕТОД ПАДАЮЩЕГО ДОЖДЯ



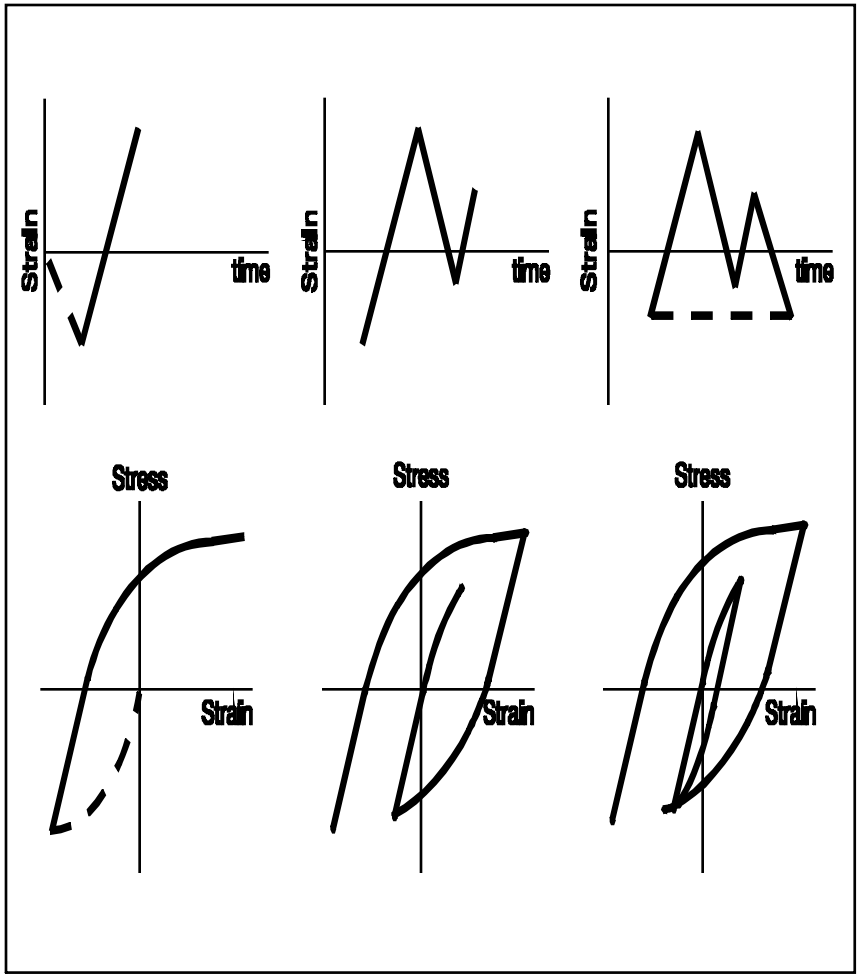
СХЕМАТИЗАЦИЯ ЦИКЛА НАГРУЖЕНИЯ МЕТОДОМ ПАДАЮЩЕГО ДОЖДЯ

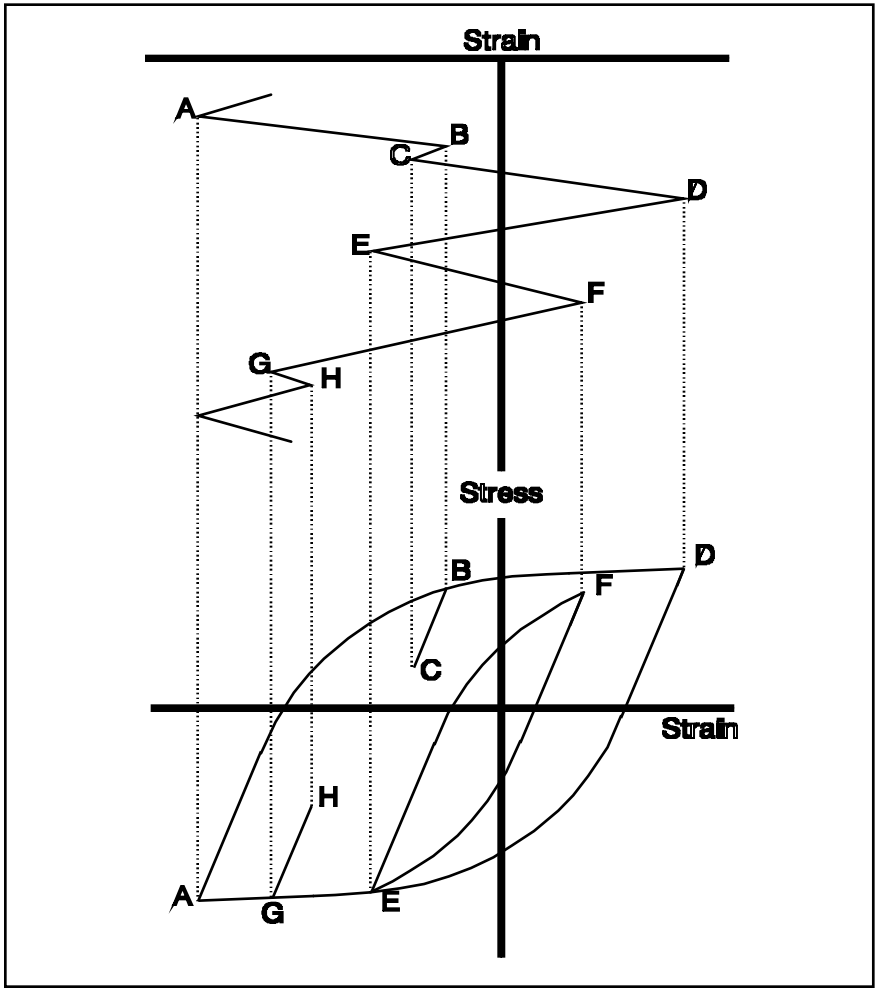
- **Идея метода зародилась независимо у Матсуиши и Эндо по аналогии с падающим дождем с крыши пагоды.**
- **<u>Основные правила</u>: капли дождя стекают вниз на каждом повороте и продолжают свое движение только в случае либо:**
  - **Если поток сверху прерывает движение капли или**
  - **Если капля достигает поворот (пик), который больше предыдущего**
- **Очень хороший способ графического представления результатов работы алгоритма падающего дождя – это гистограмма Rainflow Cycle Count Matrix**

МАТРИЦА ПОДСЧИТАННЫХ ЦИКЛОВ



МЕТОД ДОЖДЯ И ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ/ДЕФОРМАЦИЙ



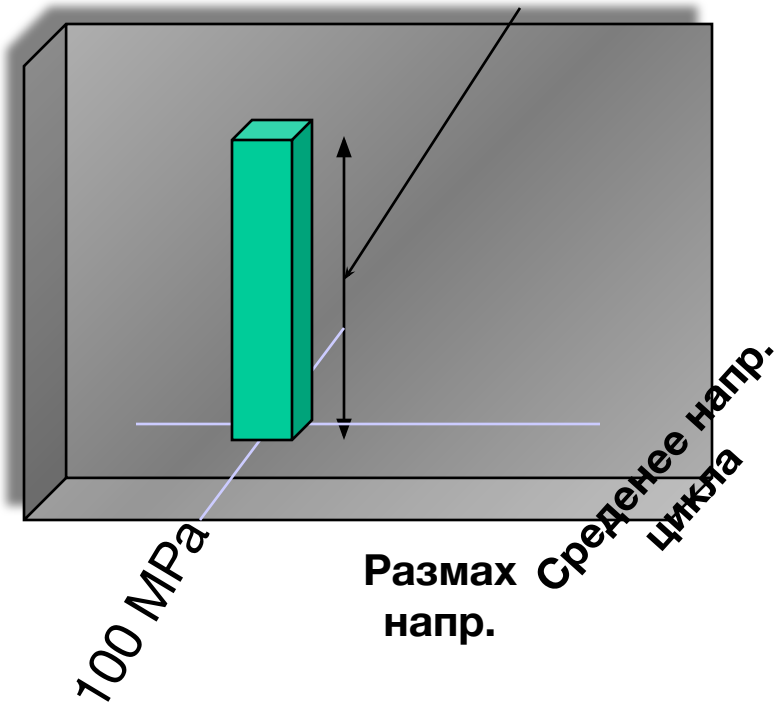


МЕТОД ДОЖДЯ И ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ/ДЕФОРМАЦИЙ

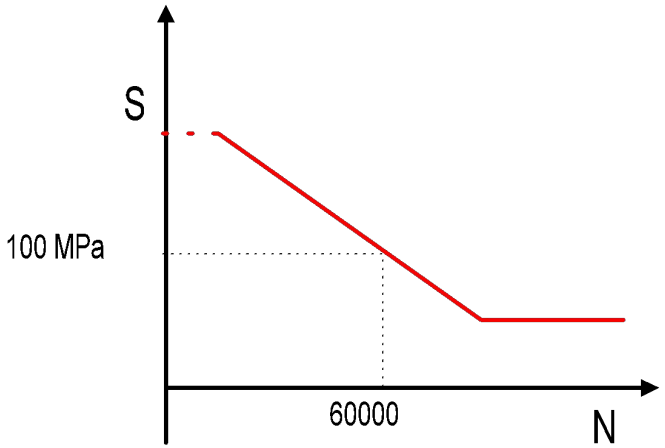
- **Материалы в условиях циклического нагружения обнаруживают «эффект памяти» (они «помнят» наибольшие достигнутые в процессе нагружения уровни напряжения и деформаций)**
- **Кривая деформирования материала в условиях циклического нагружения описывает петлю гистерезеса**
- **Метод дождя выявляет «закрытые» петли гитерезеса, образованные циклическим нагружением**

ПОДСЧЕТ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПО МАЙНЕРУ

300 Циклов



Кривая усталости материала



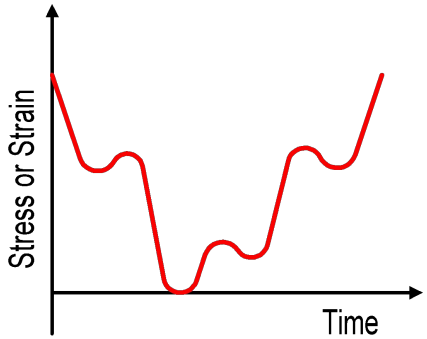
$$\text{повреждение} = \sum_i \frac{N_i}{N_f}$$

$$\therefore \quad \text{Накопленное повреждение} = \frac{300}{60000} = 0.5\% \ \text{ресурса}$$

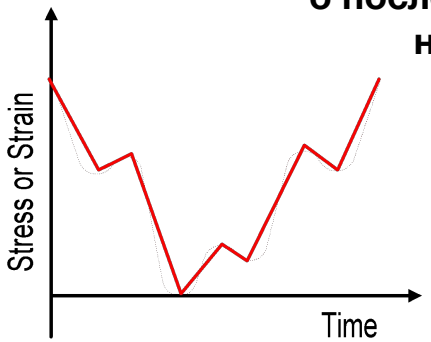
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ АНАЛИЗА – ОБЗОР

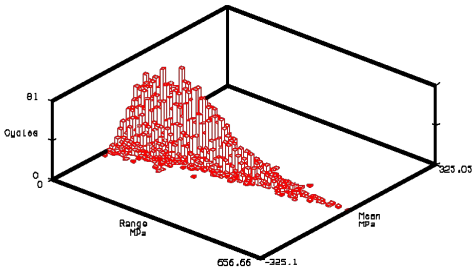
История нагружения → Поиск всплесков и провалов → Подсчет циклов

Потеря информации о частоте

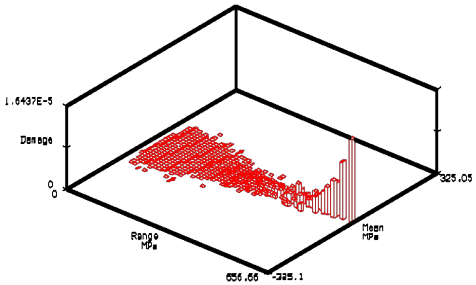


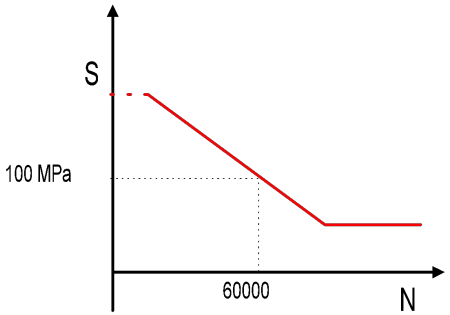
Потеря информации о последовательности нагружения





LIFE





Гистограмма распределения повреждений ← Подсчте повреждений

долговечность ←

MSC SOFTWARE SIMULATING REALITY

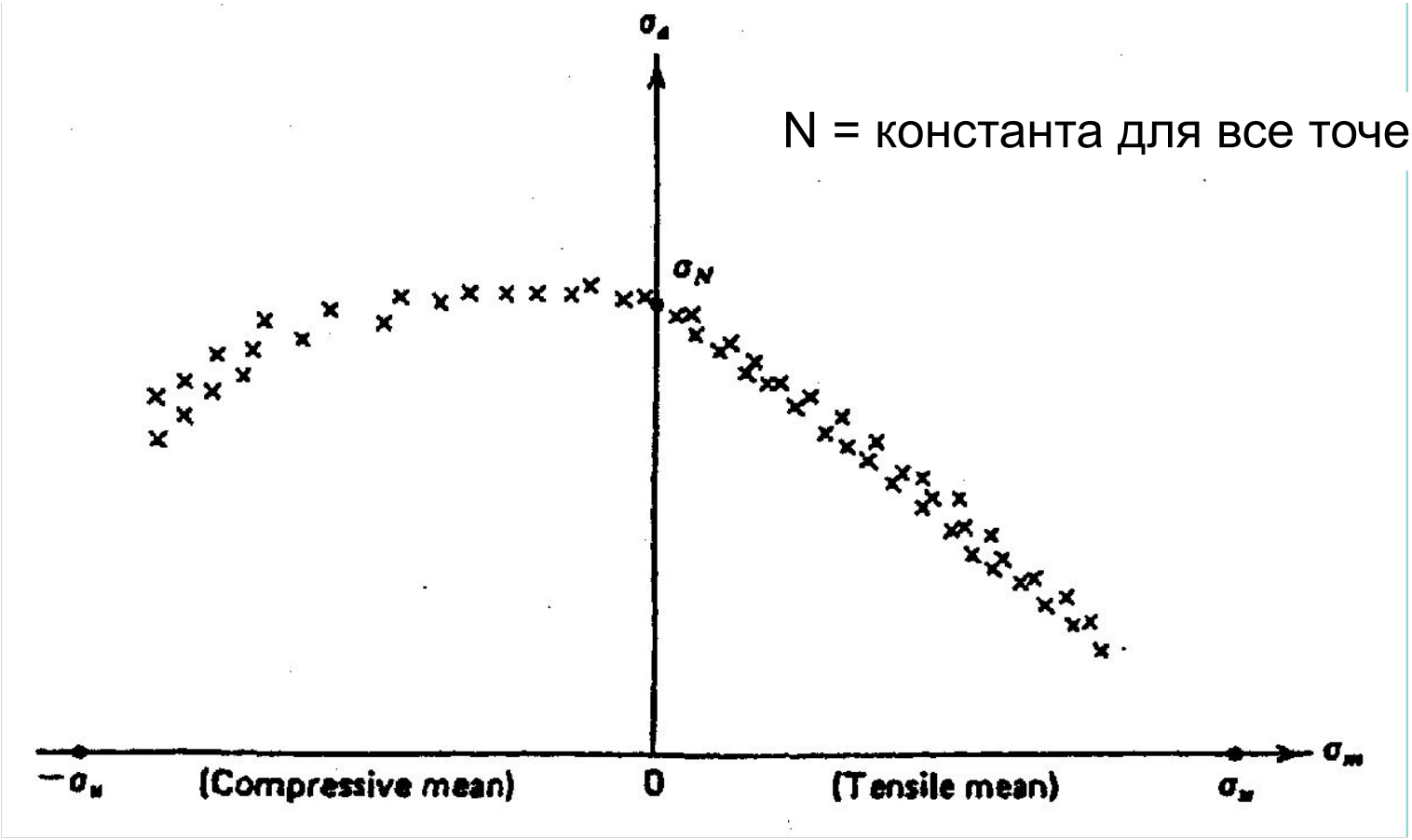
ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

ФОАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

- **Среднее напряжение цикла**

MSC SOFTWARE
SIMULATING REALITY

СРЕДНЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ ЦИКЛА

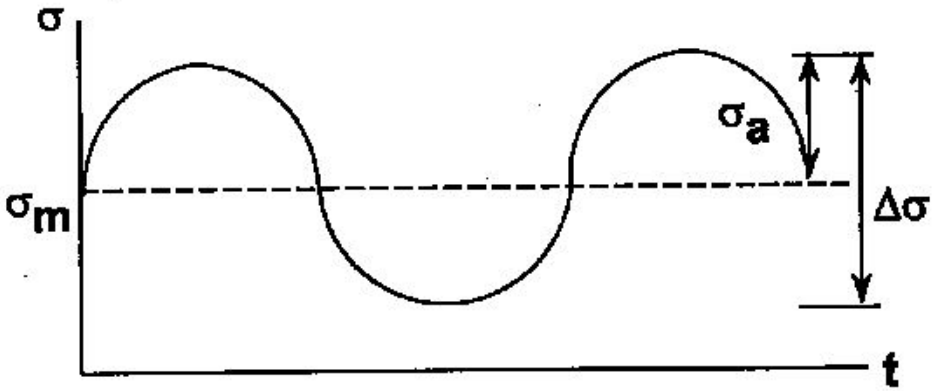


N = константа для все точек

СРЕДНЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ ЦИКЛА

- **Коэффициент асимметрии: $R = \sigma_{min}/\sigma_{max}$**
- **Большинство испытаний образцов на усталость проводится для значений R = -1 (симметричный цикл)**
- **Если имеются циклы с другим значением R, то необходимо провести коррекцию уровня напряжений с тем, чтобы можно было сравнить циклы нагружения со стандартной S-N кривой, полученной рпи R=-1**
- **Замечание: среднее напряжение сжатия не сильно влияет на усталость материала**

КОРРЕКЦИИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ЦИКЛА



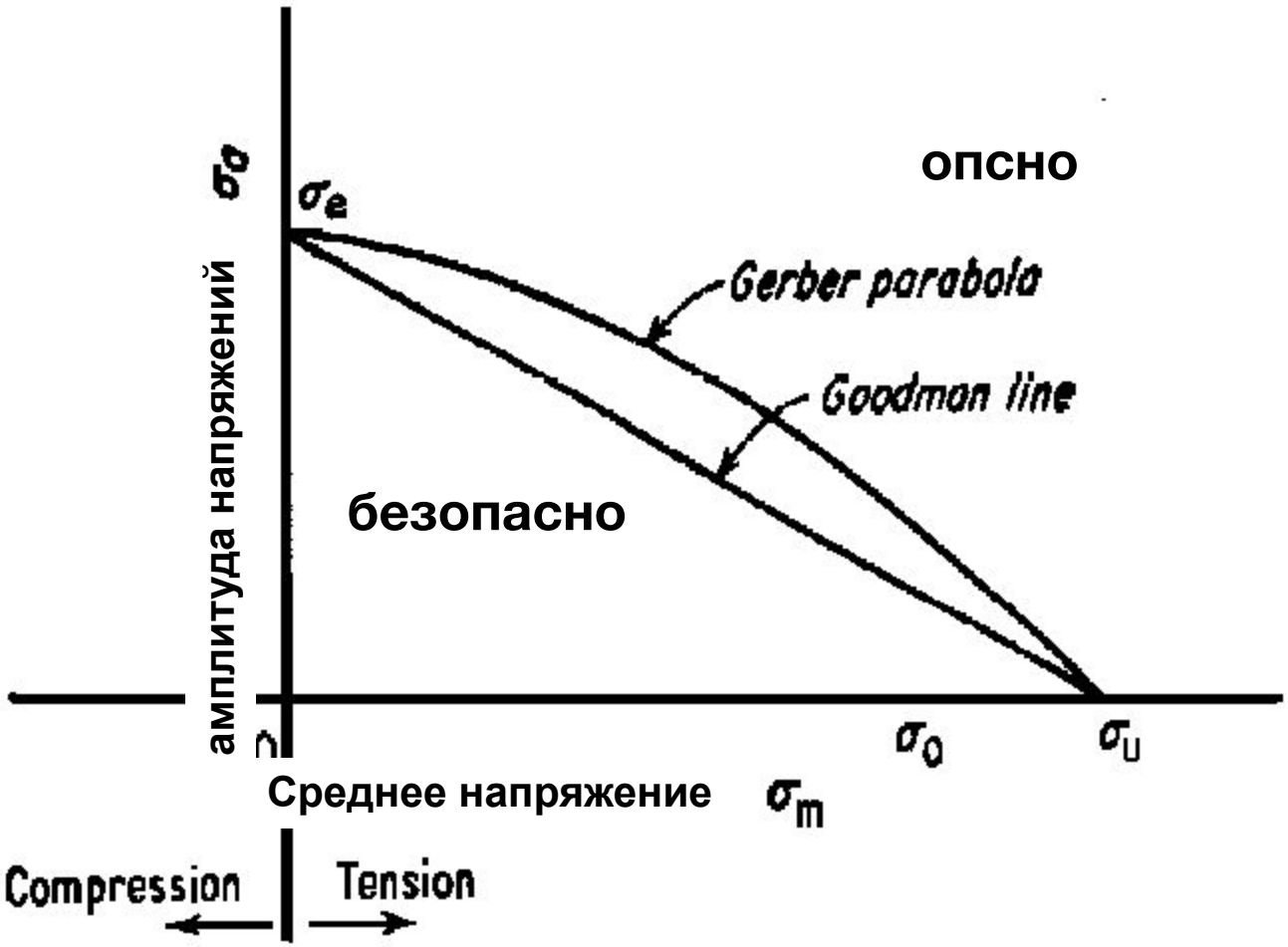
$$\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$$ **Stress Range**

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$ **Amplitude**

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$ **Mean**

$R = \sigma_{min}/\sigma_{max}$ = Stress Ratio; ($R = -1$ fully reversed; $R = 0$, zero to max; $R=\infty$ zero to min)

КОРРЕКЦИИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ЦИКЛА



Диаграммы Гербера и Гудмана

КОРРЕКЦИИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ЦИКЛА

- **Чаще всего для коррекции уровня средних напряжений применяются методы Гудмана и Гербера (так называемые диаграммы Гудмана и Гербера)**
- **Результаты тестов находятся между кривыми Гудмана и Гербера, но метод Гудмана более надежный**

КОРРЕКЦИИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ЦИКЛА

- Метод Гудмана

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_u} = 1$$

- Метод Гербера

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \left(\frac{\sigma_m}{S_u}\right)^2 = 1$$

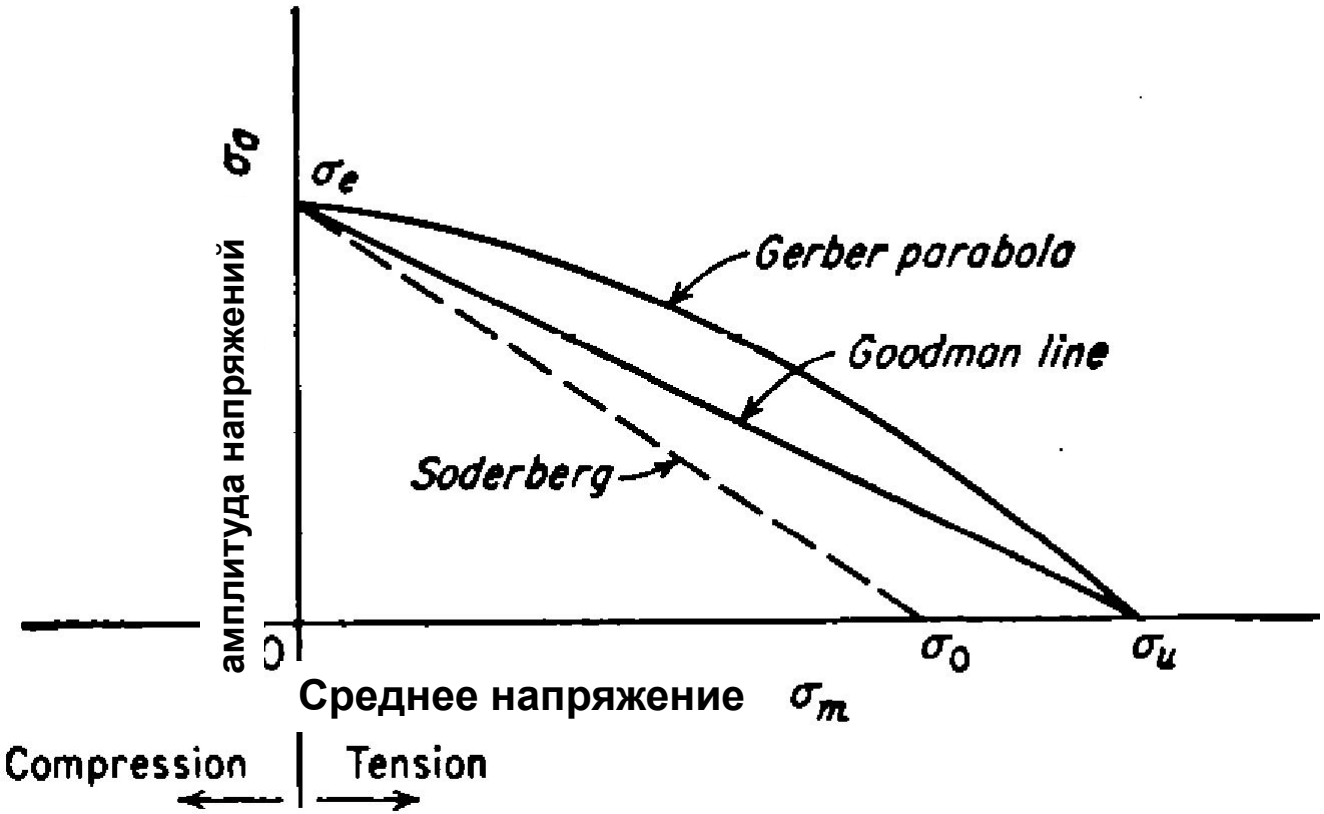
σ_a = *амплитуда напряжений*

σ_m = *среднее напряжение*

S_u = *предел прочности на растяжение*

S_e = *эквивалентоне напряжение для* $\sigma_m = 0$

КОРРЕКЦИИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ЦИКЛА



Диаграммы Гербера и Гудмана в сравнении с диаграммой Зодерберга

ФОАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

- Среднее напряжение цикла
- Геометрические размеры

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РАЗМЕРЫ

Малые лабороторные образцы и большие инженерные сооружения

Вляние размеров образцов на предел выносливости:

Diameter (in)	Endurance Limit (ksi)
0.3	33.0
1.5	27.6
6.75	17.3

Source: J. H. Faupel and F. E. Fisher, *Engineering Design*, John Wiley and Sons, New York, 1981.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РАЗМЕРЫ

Предел выносливости используемый при проектировании (S_e) может быть получен из экспериментального предела выносливости (S'_e) для разных размеров образцов: $S_e = S'_e\, C_{size}$

$$C_{size} = \begin{cases} 1.0 & \text{if } d \le 0.3\text{ in.} \\ 0.869 d^{-0.097} & \text{if } 0.3\text{ in.} \le d \le 10\text{ in.} \end{cases}$$

В единицах СИ:

$$C_{size} = \begin{cases} 1.0 & \text{if } d \le 8\text{ mm} \\ 1.189 d^{-0.097} & \text{if } 8\text{ mm} \le d \le 250\text{ mm} \end{cases}$$

ФОАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

- Среднее напряжение цикла
- Геометрические размеры
- Тип нагружения

MSC SOFTWARE
SIMULATING REALITY

ТИП НАГРУЖЕНИЯ

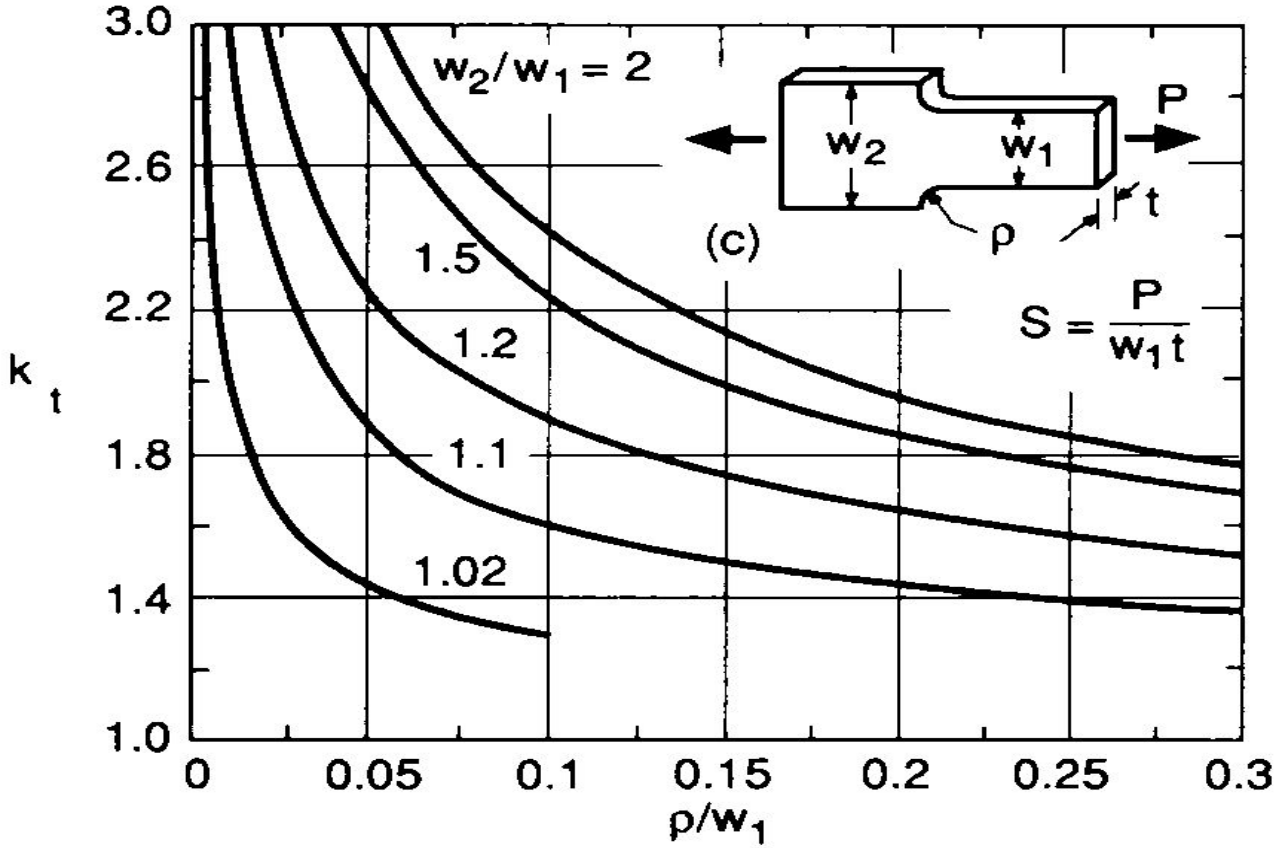
Задача:

- **Есть данные испытаний образцов при кручении - изгибе**
- **Конструкция работает в условиях растяжения – сжатия**

ФОАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

- Среднее напряжение цикла
- Геометрические размеры
- Тип нагружения
- Выточки и неоднородности

ВЫТОЧКИ

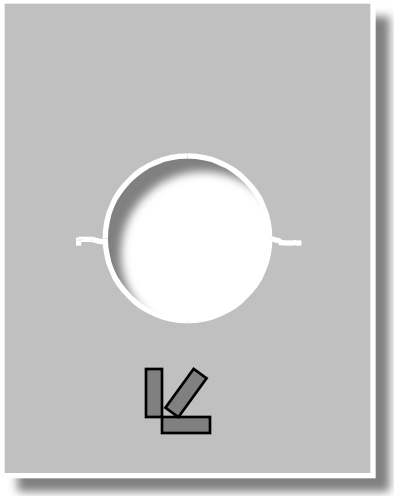

3.0
2.6
2.2
1.8
1.4
1.0
k_t
0
0.05
0.1
0.15
0.2
0.25
0.3
ρ/w_1
$w_2/w_1 = 2$
1.5
1.2
1.1
1.02
(c)
w_2
w_1
P
t
ρ
$S = \frac{P}{w_1 t}$

ВЫТОЧКИ

- Другим фактором уменьшающим долговечность конструкции являютя всякого рода вырезы, т. е. концентраторы напряжений
- Обычно, если материал не обладает повышенной прочностью, предел выносливости детали уменьшается не так сильно, как можно было бы ожидать учитывая коэффициент концентрации K_t
- Различие между теоретическим коэффициентом концентрации K_t и эффективным K_f состоит в чувсвительности к действию концентраторов, котрая повышается с увеличением прочности материала

КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ

- **Иногда бывает возможным расположить датчик деформаций рядом с критическим местом**
- **В этом случае на практике поступают так: монтирую датчики рядом с критическим местом, а для получения истинного критического напряжения используют коэффициент концентрации ‘ K_t’**



Действительное напряжение в критическом месте
$\sigma = S \,.\, K_t$

Измеренное номинальное напряжение = S

ДВА СПОСОБА ПРИМЕНЕНИЯ K_t (SN АНАЛИЗ)

Модификация истории нагружения

- Расчет новой истории умножением старой на *Kt*.
- Это простейший способ, но может занять много времени для умножения нагрузок, представленных большим числом файлов нагружения

Модификация кривой усталости

- Уменьшает предел выносливости материала
- При этом используется коэффициент *Kf*.
- *Kf* есть функция от *Kt* и является мерой восприимчивости материала к концентрации напряжений
- Безопасней использовать *Kf* = *Kt*

MSC SOFTWARE SIMULATING REALITY

ЭФФЕКТ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В УСТАЛОСТИ

Эффект действия концентрации напряжений в усталости таков, что для заданной долговечности уменьшается разрушающее усталостное напряжение. Это явление харктеризуется «Коэффициентом уменьшения усталостной прочности» - K_f . K_f может быть определен только на основе длительных усталостных испытаний и определяется как соотношение:

усталостная прочность без концентратора

$$K_f = \frac{\text{усталостная прочность без концентратора}}{\text{усталостная прочность с концентратором}}$$

усталостная прочность с концентратором

Этот коэффициент зависит от материала и от геметрии. В общем случае меньше, чем K_t .

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ K_f и K_t

K_t зависит только от геометрии концентратора и относительно просто определяется, но K_f зависит также от материала и, теоретичесеки, должен быть измерен для всех возможных комбинаций материал-концентратор. Можно ли определить K_f по K_t ?
Для начала ввдем параметр q – коэффициент чувствительности:

$$q = (K_f - 1) / (K_t - 1)$$

Для материалов не чувствительных к концентраторам K_f =1 и q=0.
Для материалов абсолютно чувствительных $K_f = K_t$ и q=1.

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ K_f и K_t

Имперически было определено, что:

$$q = 1 / (1 + a / r)$$

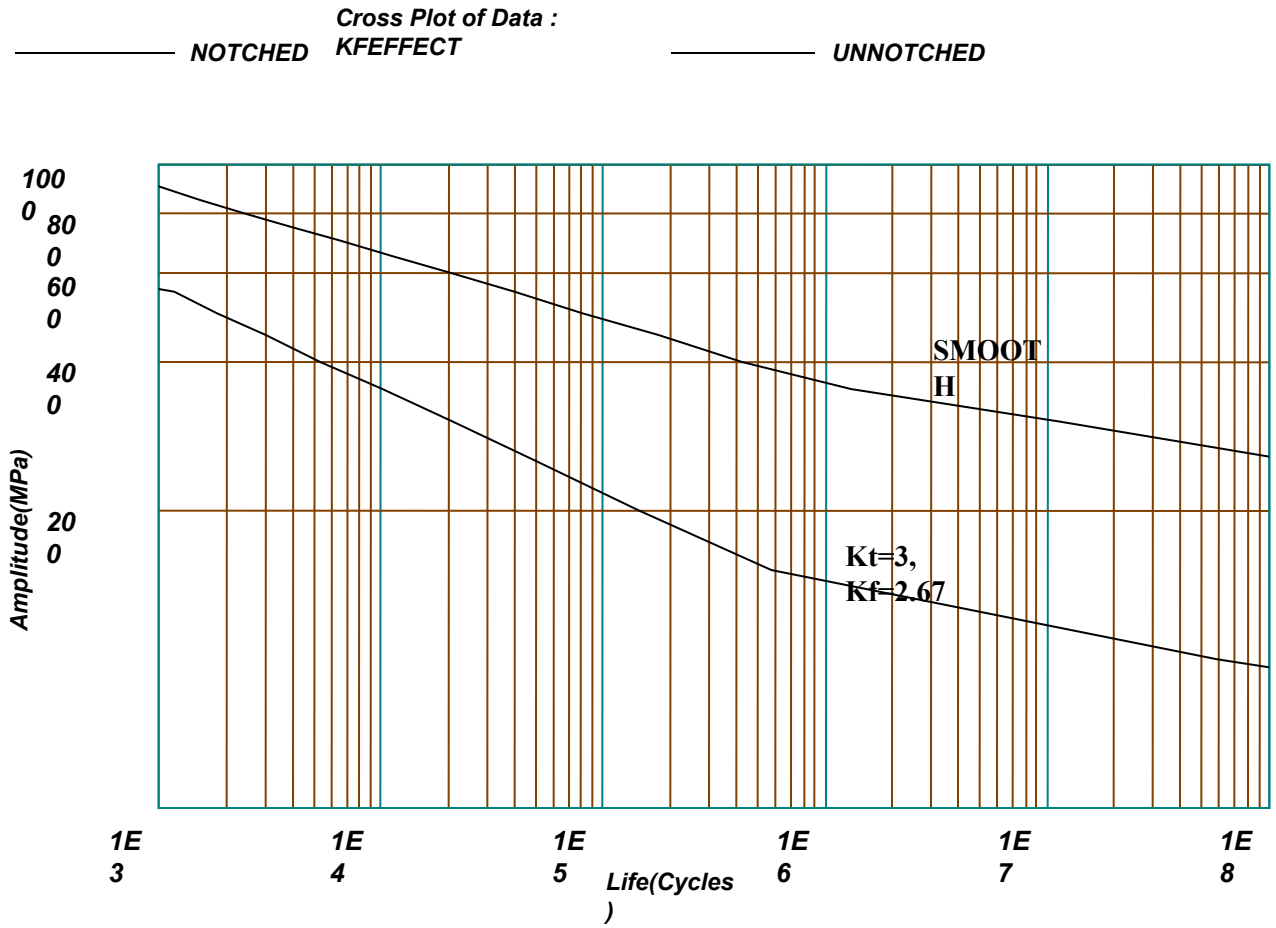
Где r – это радиус вершины надреза и “a” – функция предела прочности материала:

$$a = 0.0254 (2079 / UTS)^{1.8}$$ ***единицы - МПа и мм***

Таким образом получим зависимость Kf от Kt:

$$\boxed{K_f = 1 + (K_t - 1) / (1 + a / r)}$$

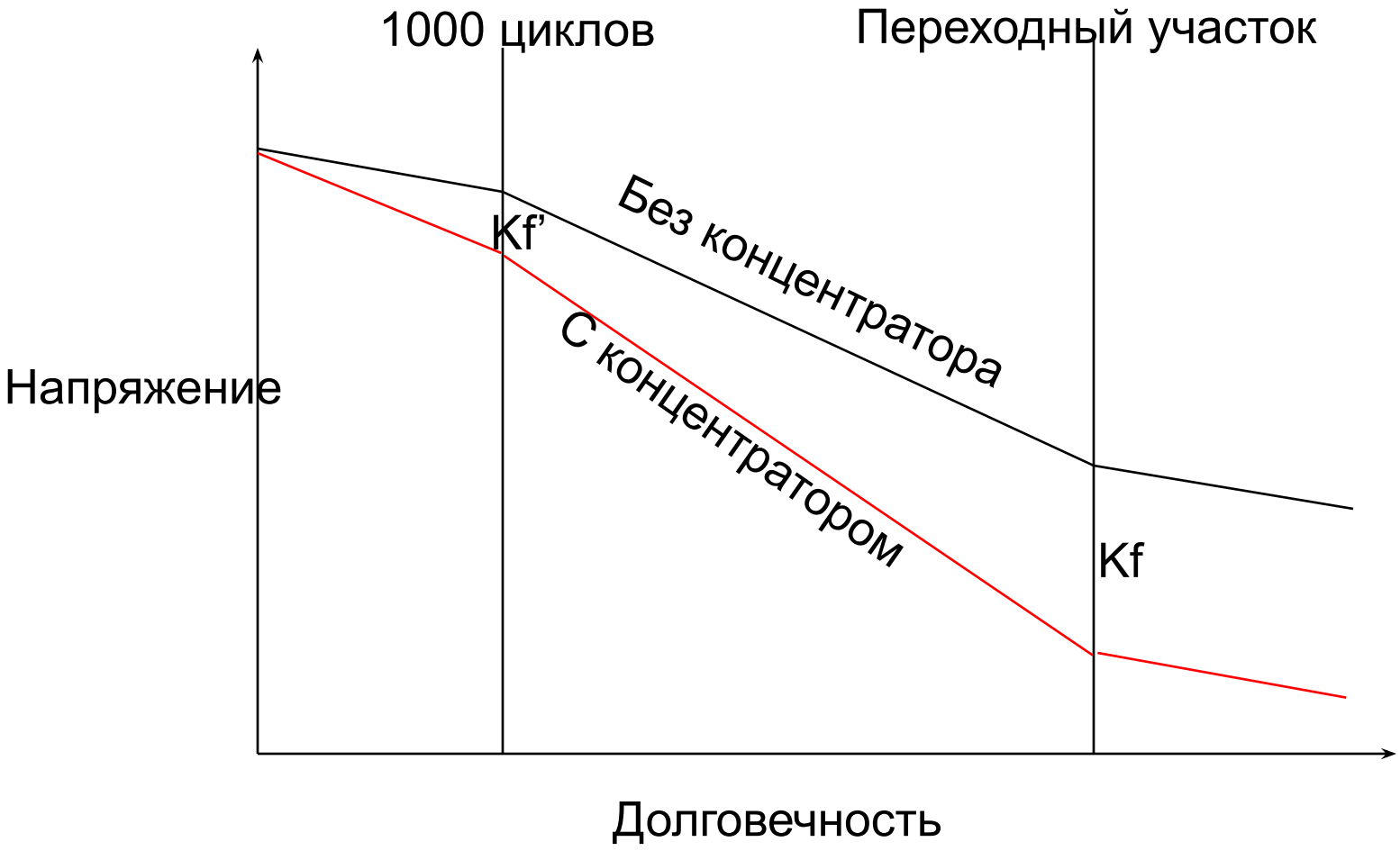
ВЛИЯНИЕ K_t и K_f НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ



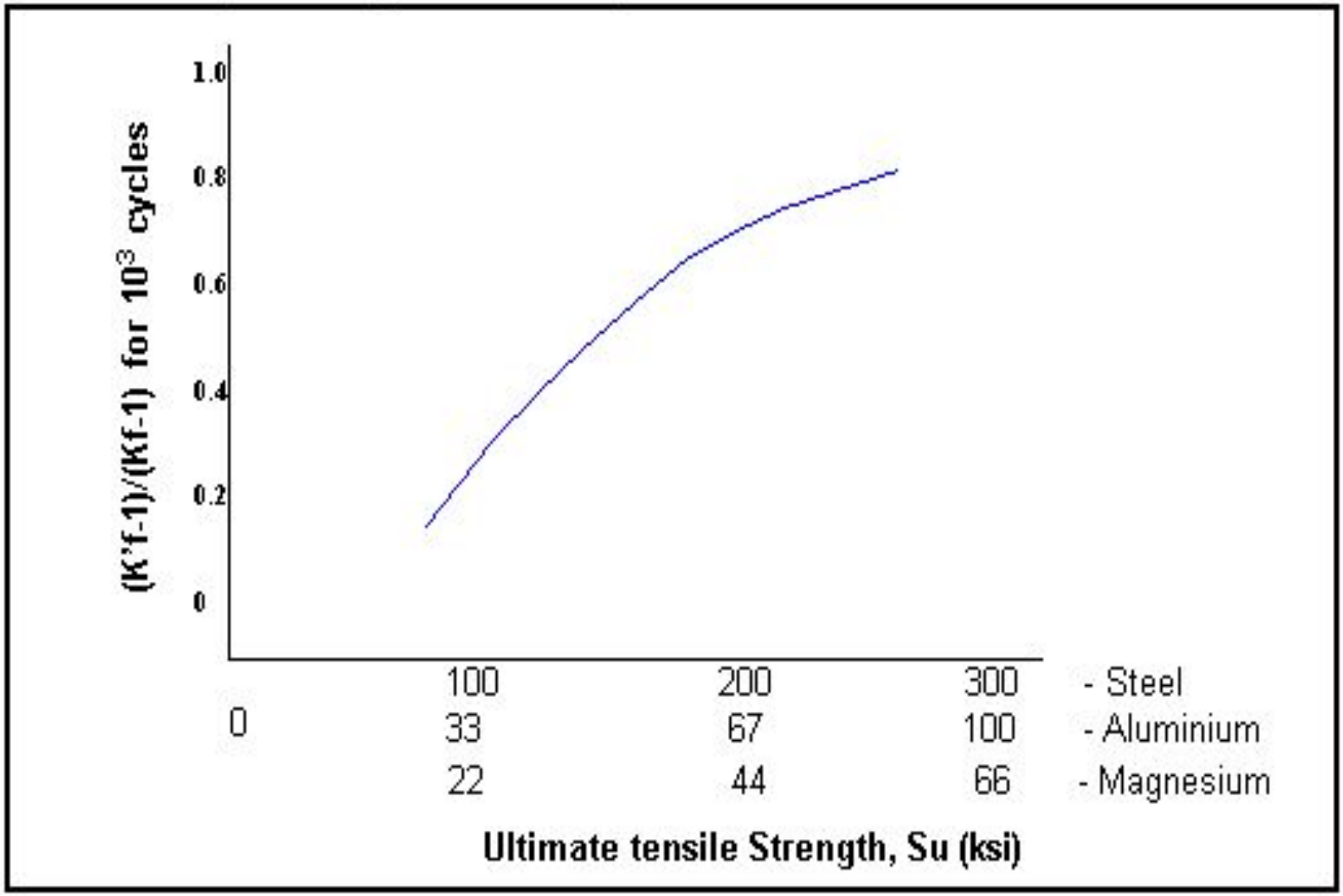
ВЛИЯНИЕ K_t и K_f НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

- На детали с большим ресурсом концентраторы влияют существенно больше, чем в случае с малыми сроками службы
- Это часто учитывается введением специального коэффициента Kf’ для 1000 циклов нагружения

ВЛИЯНИЕ K_f


1000 циклов
Переходный участок
Kf'
Без концентратора
С концентратором
Напряжение
Kf
Долговечность

КРИВАЯ Kf' - SU


(K'f-1)/(Kf-1) for 10^3 cycles
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
100
200
300
- Steel
0
33
67
100
- Aluminium
22
44
66
- Magnesium
Ultimate tensile Strength, Su (ksi)

ФОАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

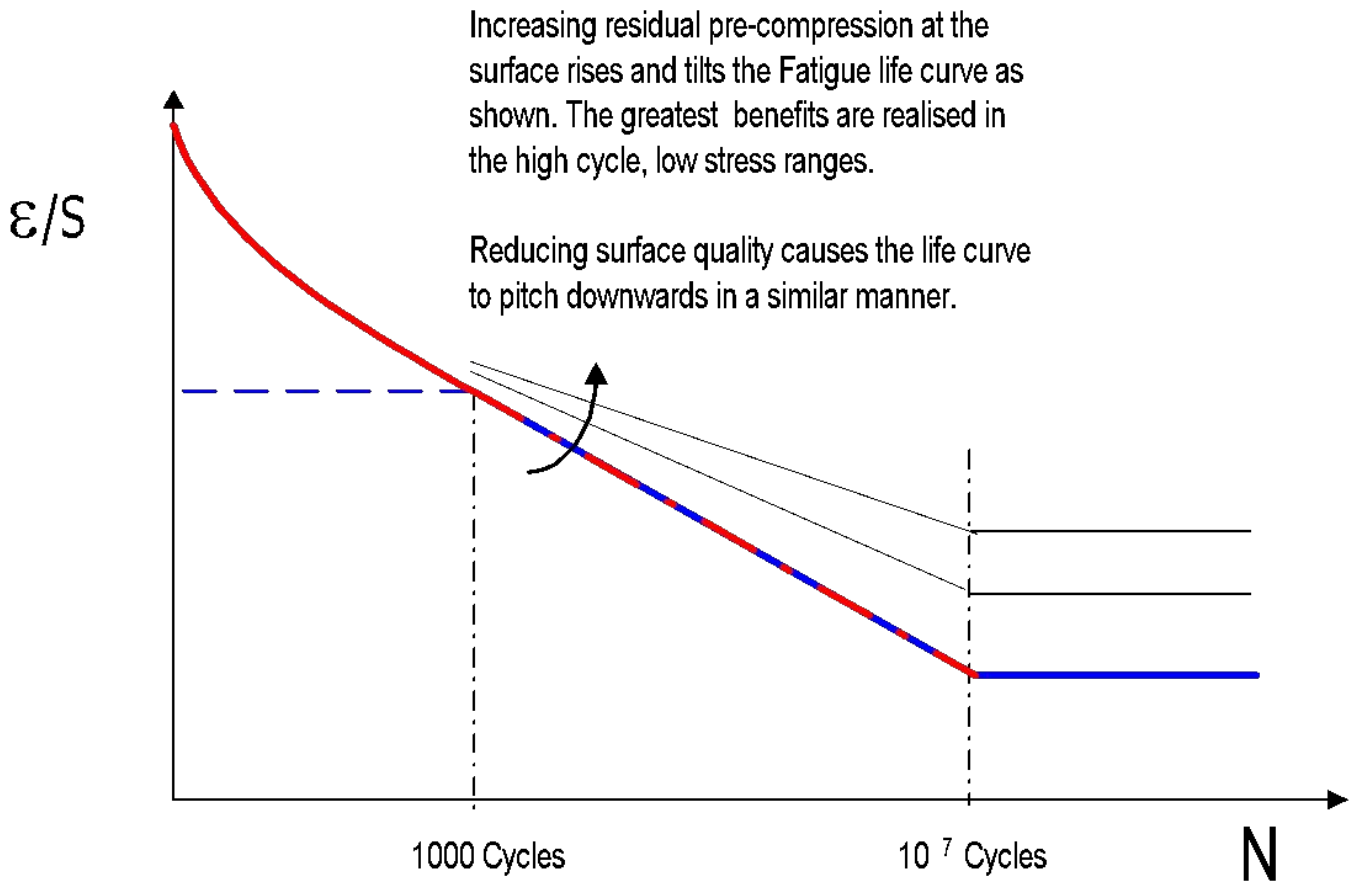
- Среднее напряжение цикла
- Геометрические размеры
- Тип нагружения
- Вырезы и неоднородности
- Обработка поверхности

MSC SOFTWARE
SIMULATING REALITY

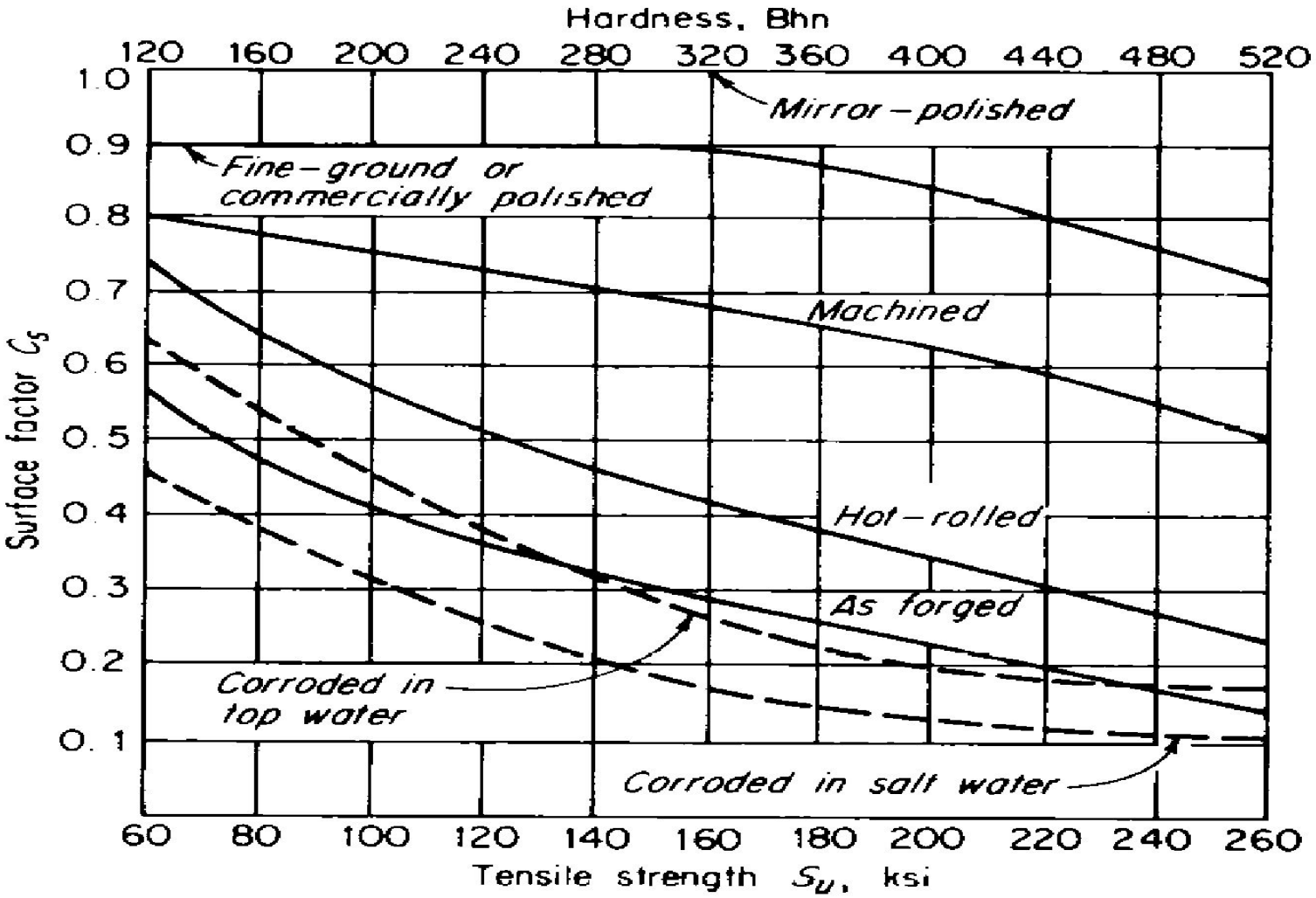
ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ

- Усталостные трещины обычно начинают рост на поверхности детали. Следовательно, условия условия обработки поверхности существенно влияют на срок службы.
- Чем лучше обработана поверхность, тем дольше будут зарождаться трещины.
- Остаточноые напряжения сжатия у поверхности могут также благоприятно повлиять на долговечность. Эти напряжения будут сдерживать рост трещин в условиях нагружения с большой частотой (многоцикловая усталость). Для создания остаточных напряжений используют специальные виды обработки поверхности.

СВЯЗЬ С ПОВЕРХНОСТНЫМИ ЭФФЕКТАМИ



ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ

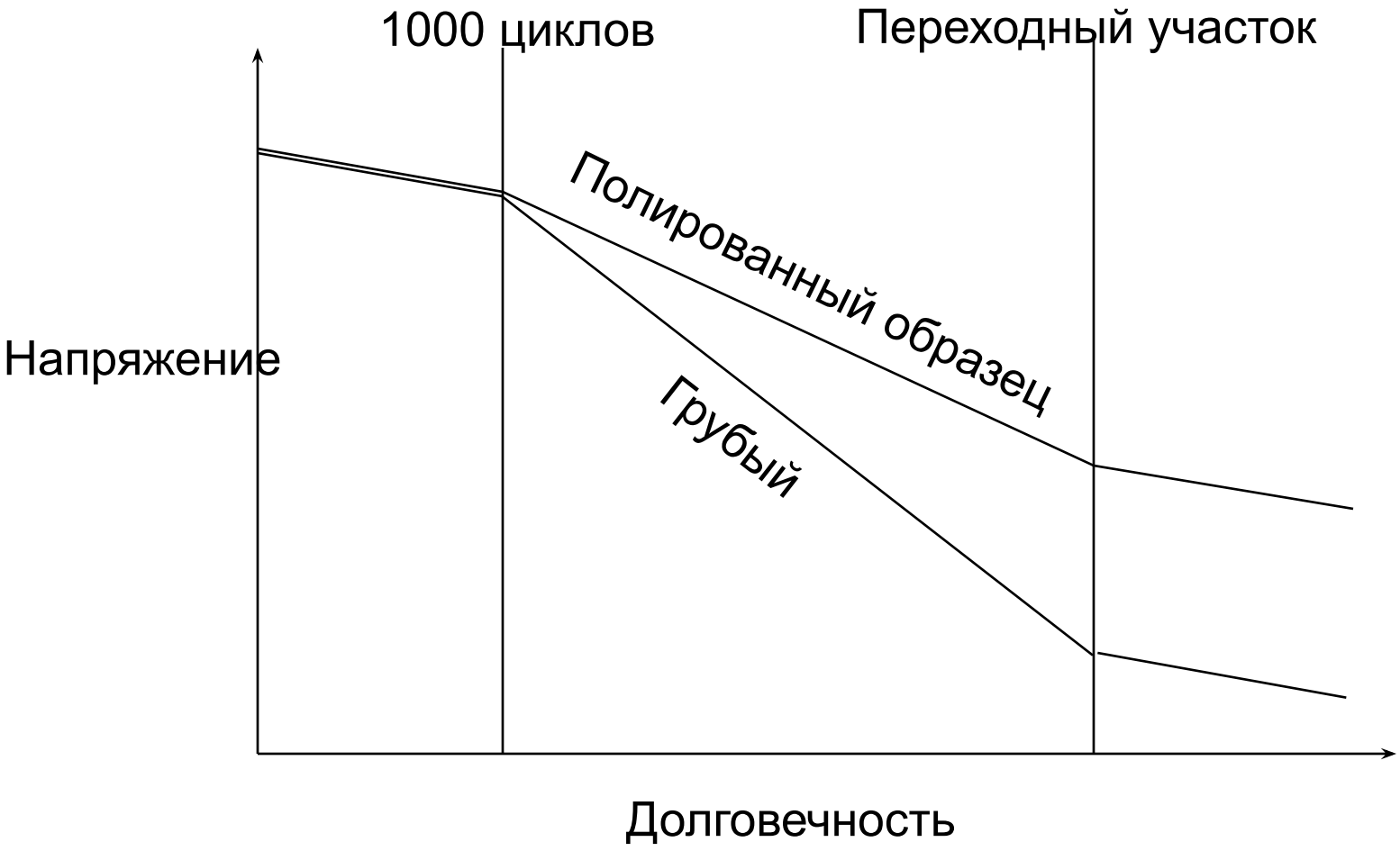


Замечание: кривые представлены только для стали

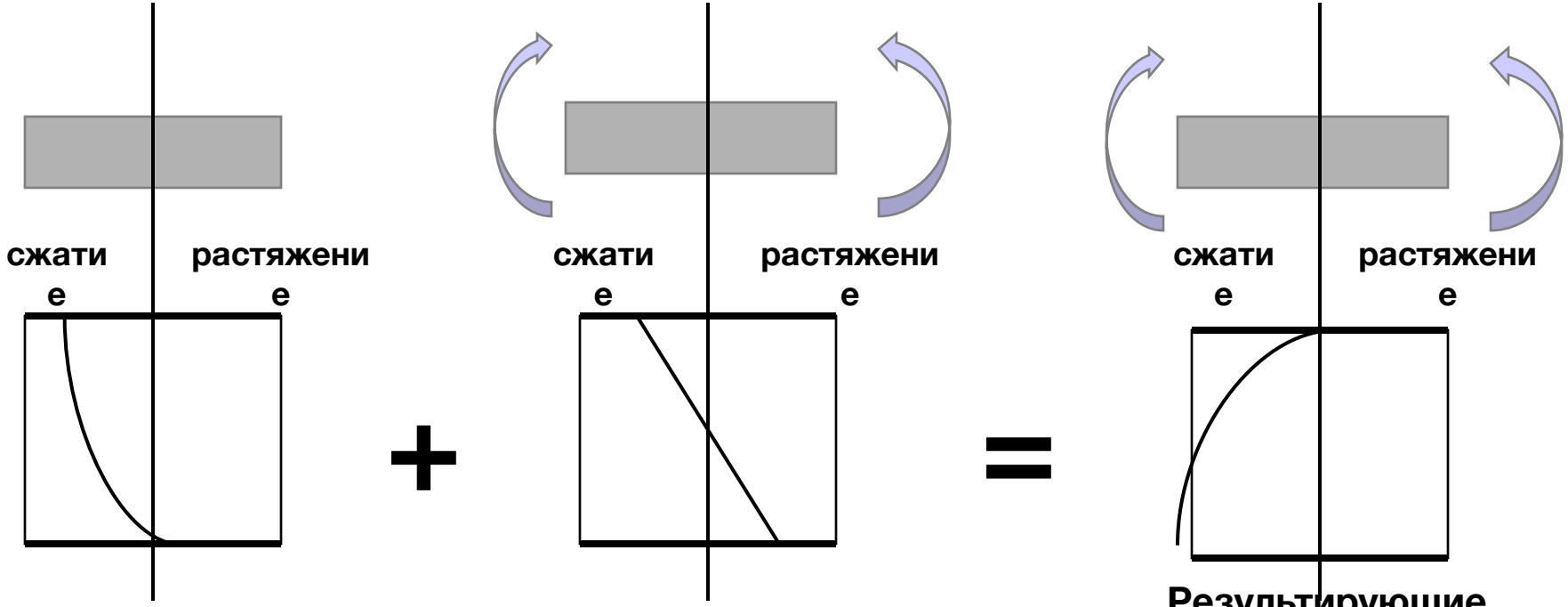
ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ

- **Влияние полировки поверхности хорошо прослеживается на предыдущем слайде.**
  - **Коэффициент уменьшения прочности связан коэффициентом состояния поверхности и прочночтью стали.**
  - **Иногда кривые для деталей с качественно обработанной поверхностью близки к кривым для деталей с качественной машинной обработкой.**
- **Эффект влияния шероховатости поверхности обычно учитывается при помощи коэффициента, понижающего предел усталости.**
  - **В логарифмических координатах это выглядит так: наклон кривой усталости изменяется в соотетсвии с уменьшением предела усталости, при этом в области 1000 циклов кривая почти не изменяется.**

ПОПРАВКА НА ОБРАБОТКУ ПОВЕРХНОСТИ



ЭФФЕКТ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ СЖАТИЯ



Напряжение сжатия

Осцилирующее напряжение изгиба

Результирующие напряжения у поверхности никогда не станут растягивающими и, следовательно, трещины не начнут рост.

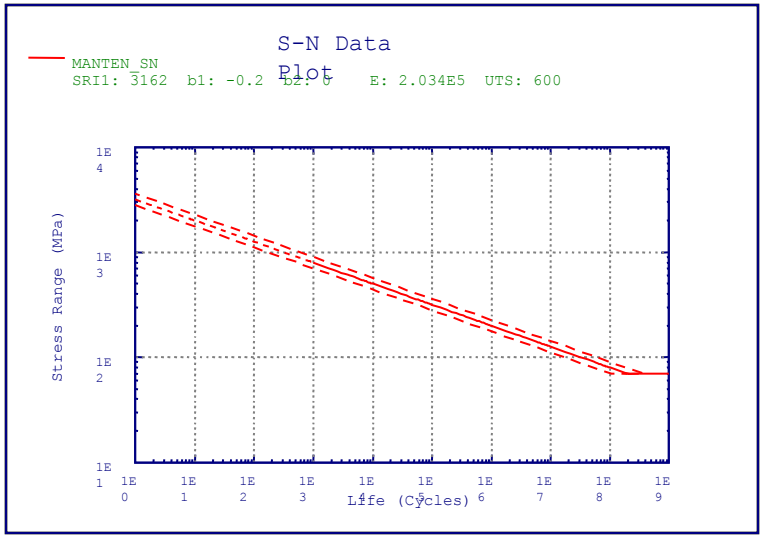
Этот эффект работает только в случае большой частоты нагружения, где приложенных у поверхности напряжений не достаточно, чтобы преодолеть остаточные напряжения сжатия.

MSC SOFTWARE SIMULATING REALITY

КАК СОЗДАТЬ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ СЖАТИЕ?

- **Дробеструйная обработка поверхности**
  - **Под давлением струи металлических шариков создаются остаточные напряжения сжатия**
- **Холодная прокатка**
  - **Поверхность детали обкатывается валками для создания остаточных напряжений сжатия**
- **Азотирование**
  - **Производится нагрев детали в среде аммиака. Деталь расшряется и нитраты реагируют с металлом. После охлаждения деталь сжимается и приобретает упрочненный поверхностный слой.**

S-N метод в MSC.Fatigue



- **Особенности**
  - **Упругие напряжени**
  - **Применение метода дождя**
  - **Коррекция среднего напряжения**
  - **Сварные конструкции**
  - **Параметры статистического доверия**
  - **Линейное суммирование повреждений по Палмгрену-Майнеру**
  - **Назначаемый пользователем ресурс**
  - **Кривые усталости материала и детали**
  - **Обработка поверхности**
  - **Анализ коэффициентов запаса**
  - **Индикаторы биаксиальности**

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА (f) ПО ГУДМАНУ

$$\frac{\sigma_a \times f}{S_e} + \frac{\sigma_m}{\sigma_u} = 1$$

$$f \times \sigma_a = S_e(1 - \sigma_m / \sigma_u)$$

$$\therefore \quad f = \frac{S_e}{\sigma_a)} (1 - \sigma_m / \sigma_u$$

S_e = предел выносливости ; σ_u = предел прочности;

Коэффициент, на который можно увеличить уровень действущих напряжений (среднее напряжение цикла) без разрушающих последствий.

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА (f) ПО ГУДМАНУ

По Гудману:

коэффициент запаса = $$\frac{S_e(1-\sigma_m/\sigma_u)}{\sigma_a} \times \frac{C_{Surf} \times C_{Size}}{k_f}$$

По Герберу:

коэффициент запаса = $$\frac{S_e\left(1-(\sigma_m/\sigma_u)^2\right)^{1/2}}{\sigma_a} \times \frac{C_{Surf} \times C_{Size}}{k_f}$$

ОБЗОР МЕТОДА ПОЛНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ (S-N анализ)

- Оценка полной долговечности до разрушения.
- Не различаются стадии между зарождением и ростом трещин.
- Используются локальные или номинальные напряжения в качестве параметра контроля.
- Долговечность расчитывается на с использованием кривых усталости Велера в логарифмических координатах (S-N кривые).
- Оцениваемая долговечность ассоциируется с вероятностью разрушения ввиду вероятносного характера построения кривых усталости.
- Приведение сложных случайных нагружений к набору циклов с заданными размахами и средними напряжениями при помощи метода падающего дождя

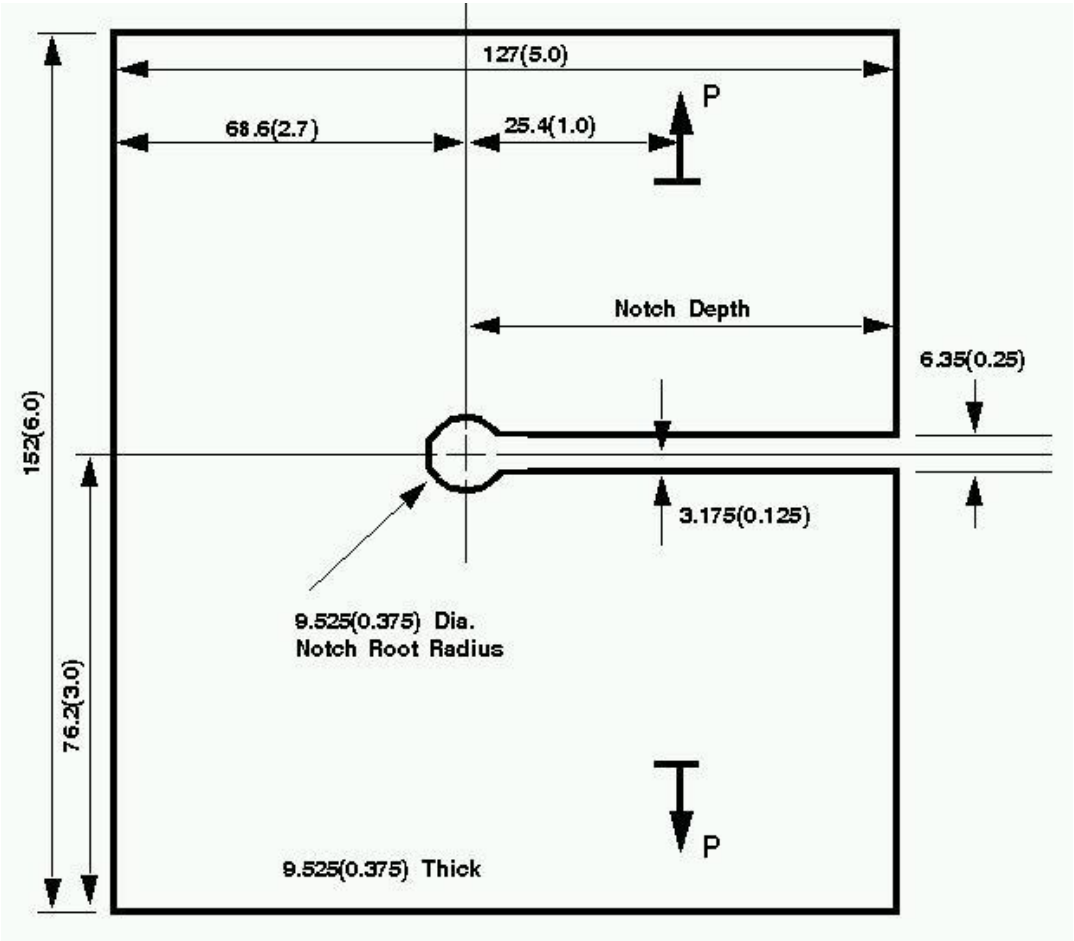
ОБЗОР МЕТОДА ПОЛНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ (S-N анализ)

S-N анализ подходит для оценивания повреждений:

- **В усталостных задачах с большим сроком службы, где зоны пластичности пренебрежимо малы и можно воспользоваться S-N методом**
- **При анализе компонент, где не подходят модели зарождения и роста трещин, напрмер – композиты и сваренные детали**
- **В случаях, когда заранее накоплен большой объем информации по кривым усталости**

- **Учет эффекта действия среднего напряжения производится по алгоритмам Гудмана и Гербера**

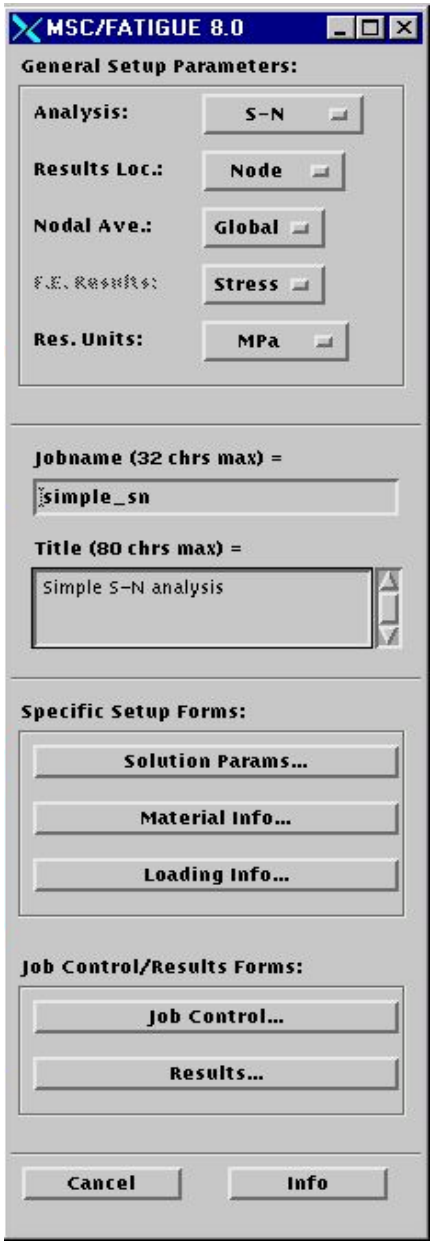
Пример:
S-N анализ пластины с вырезом и отверстием

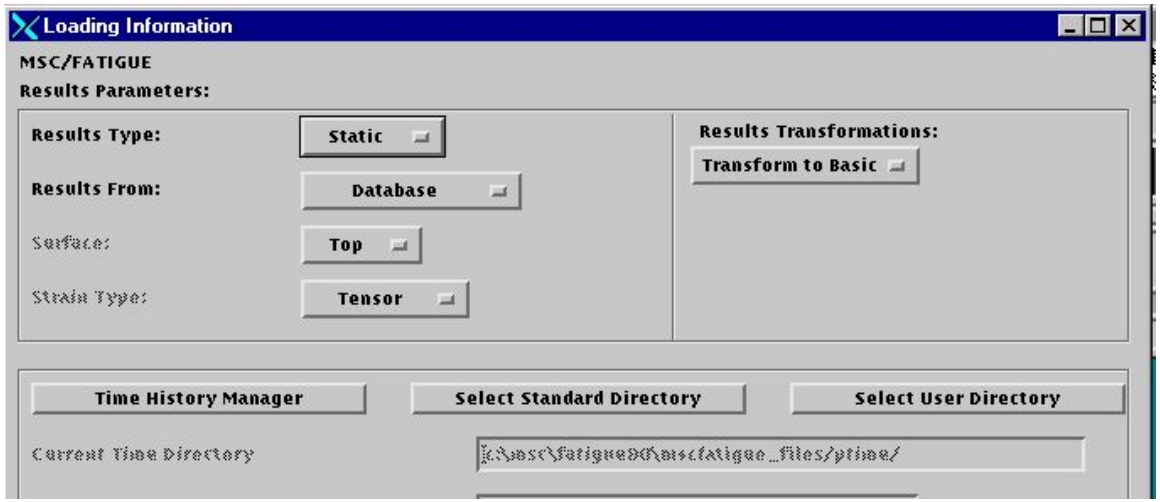


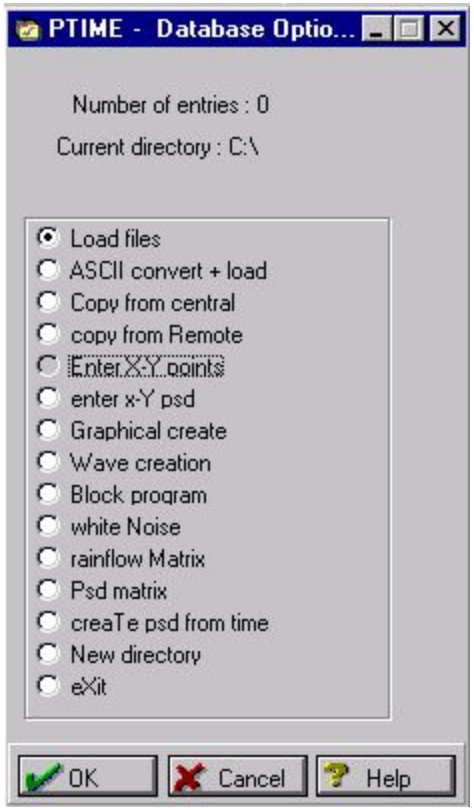
Проведем простой S-N анализ

На входе – один источник нагружения (симметричная нагрузка)

Информация о нагружении






PTIME - Database Optio...
Number of entries : 0
Current directory : C:\
Load files
ASCII convert + load
Copy from central
copy from Remote
Enter X-Y points
enter x-Y psd
Graphical create
Wave creation
Block program
white Noise
rainflow Matrix
Psd matrix
creaTe psd from time
New directory
eXit
OK
Cancel
Help

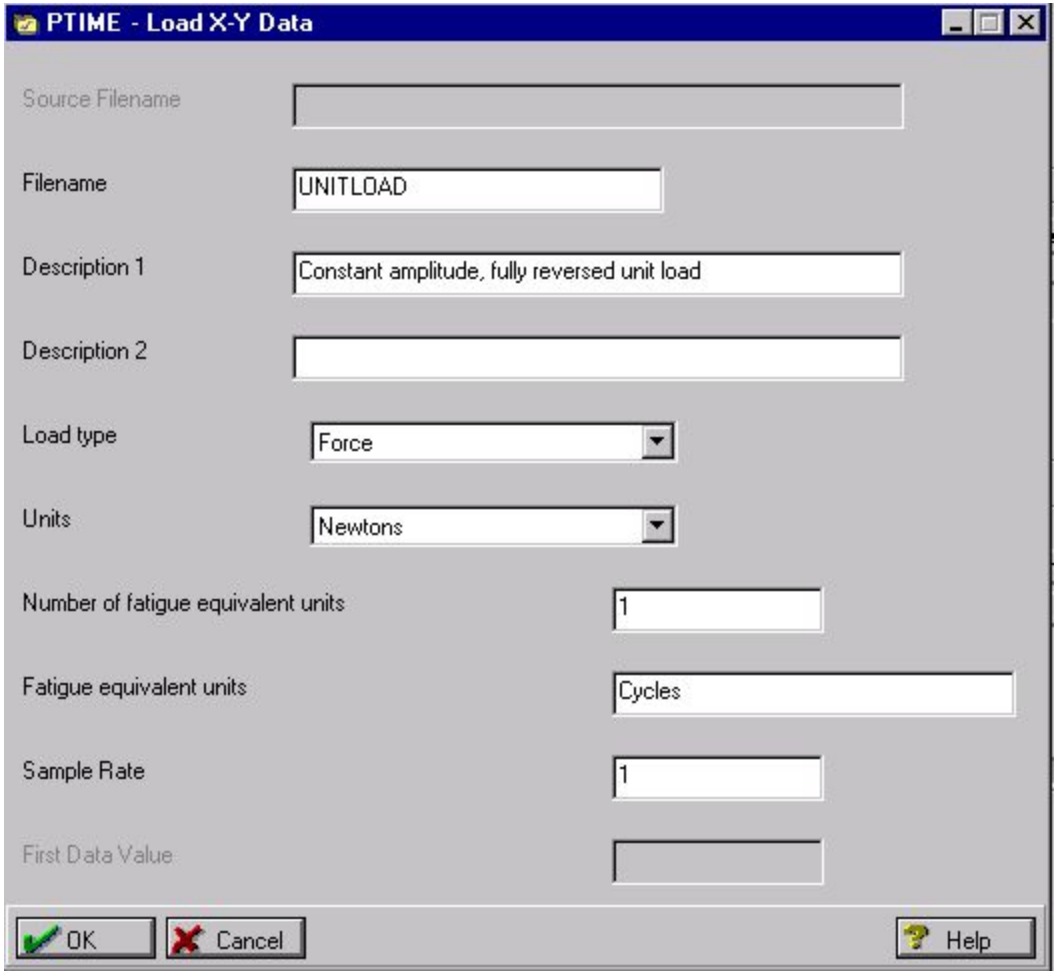
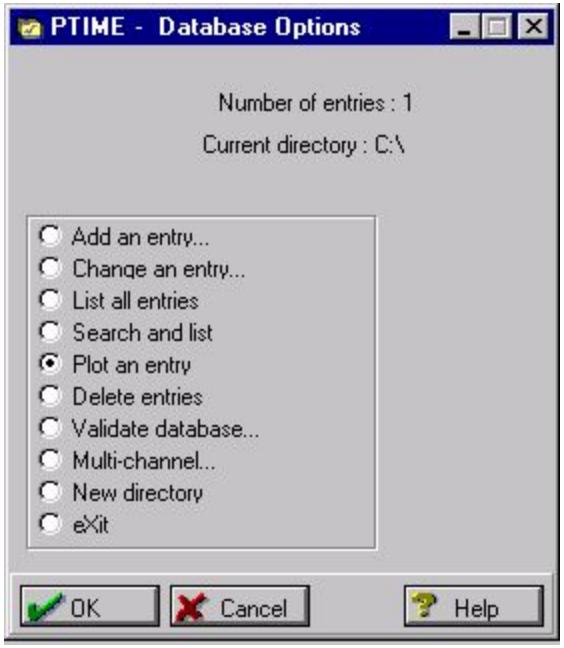
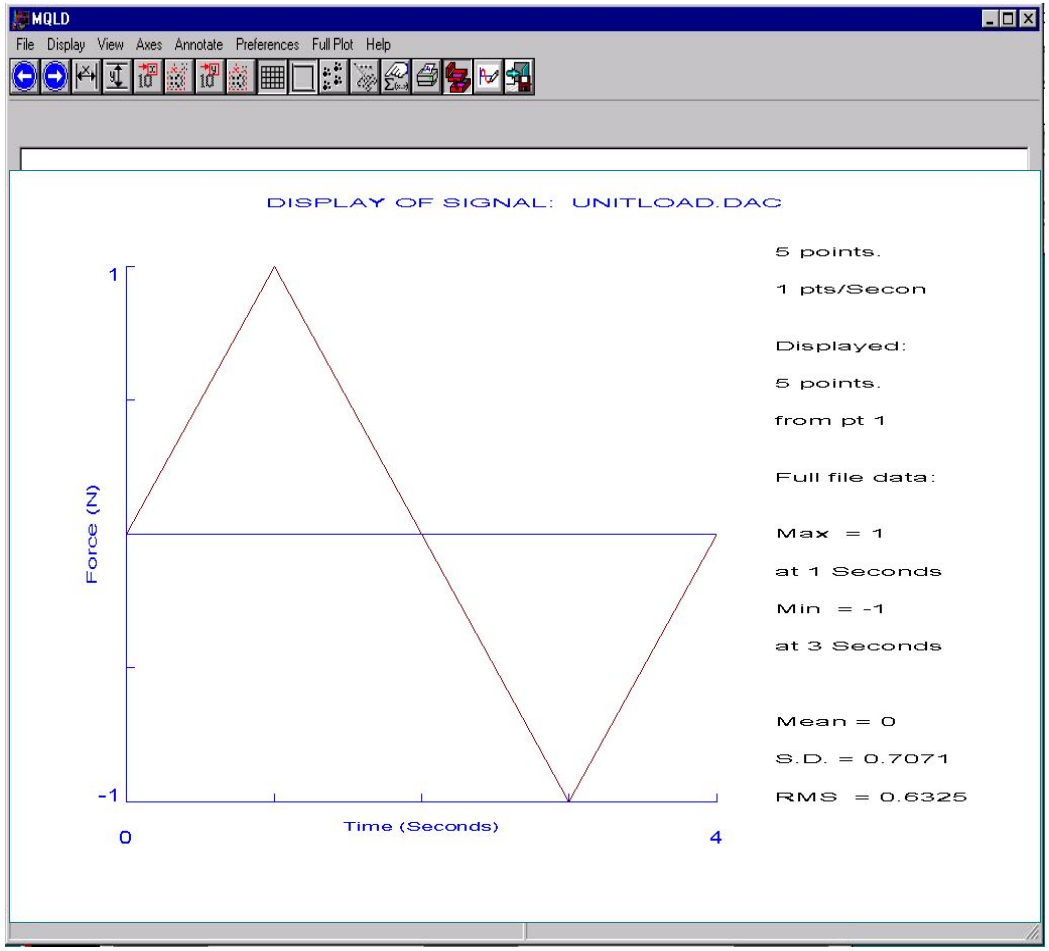
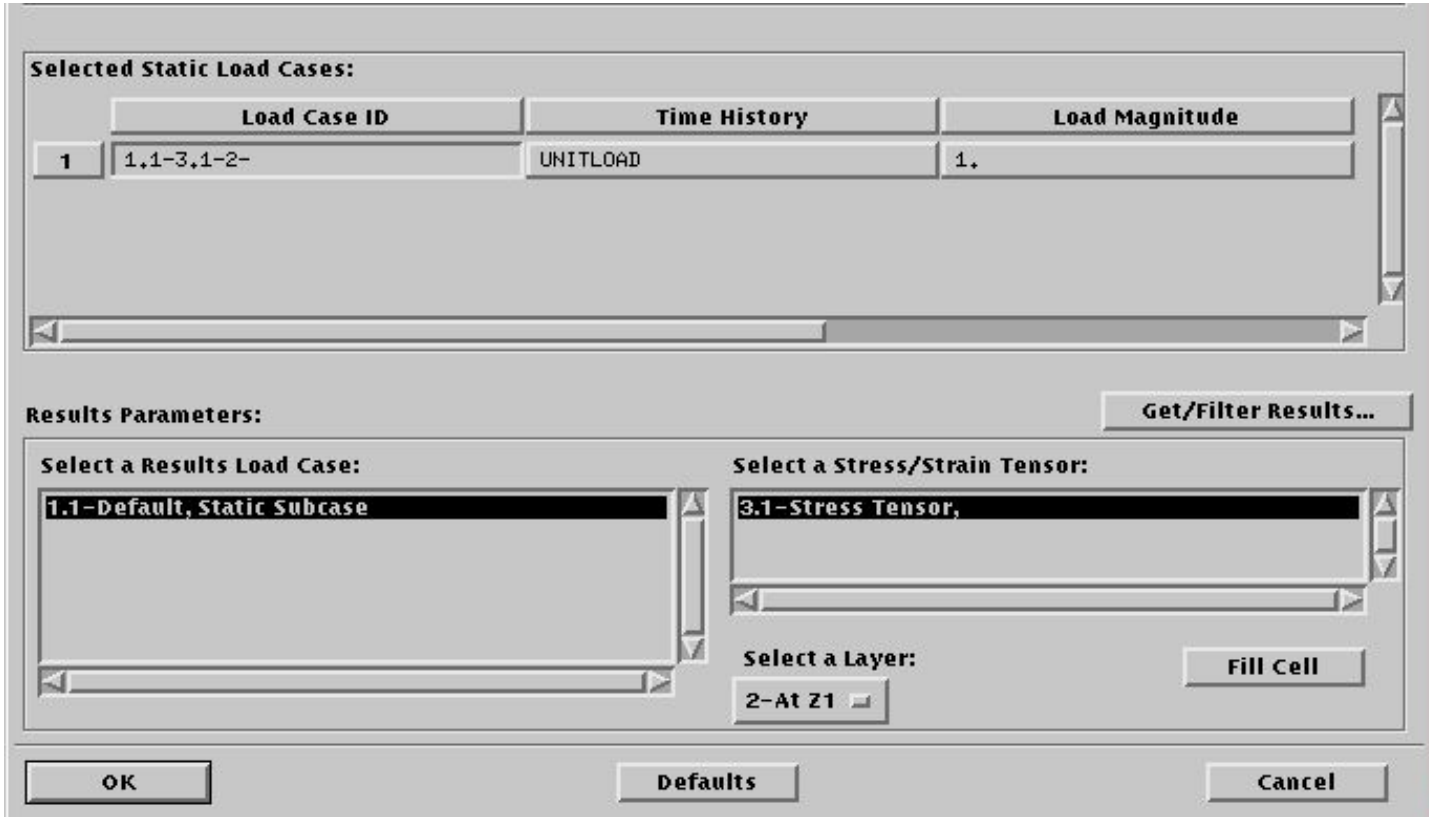

PTIME - Load X-Y Data
Source Filename
Filename
UNITLOAD
Description 1
Constant amplitude, fully reversed unit load
Description 2
Load type
Force
Units
Newtons
Number of fatigue equivalent units
1
Fatigue equivalent units
Cycles
Sample Rate
1
First Data Value
OK
Cancel
Help

ГРАФИК ПРОСТОГО НАГРУЖЕНИЯ

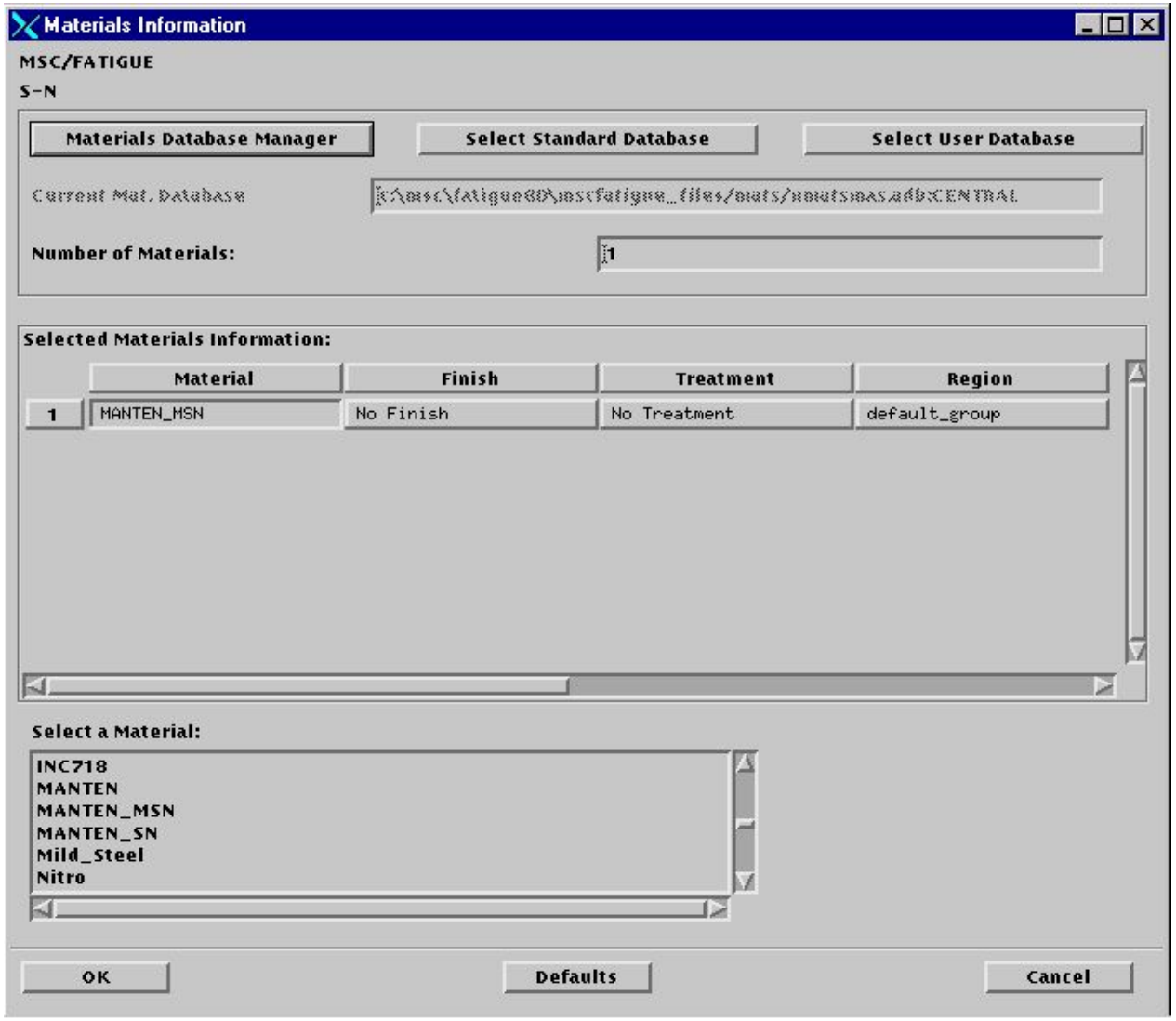


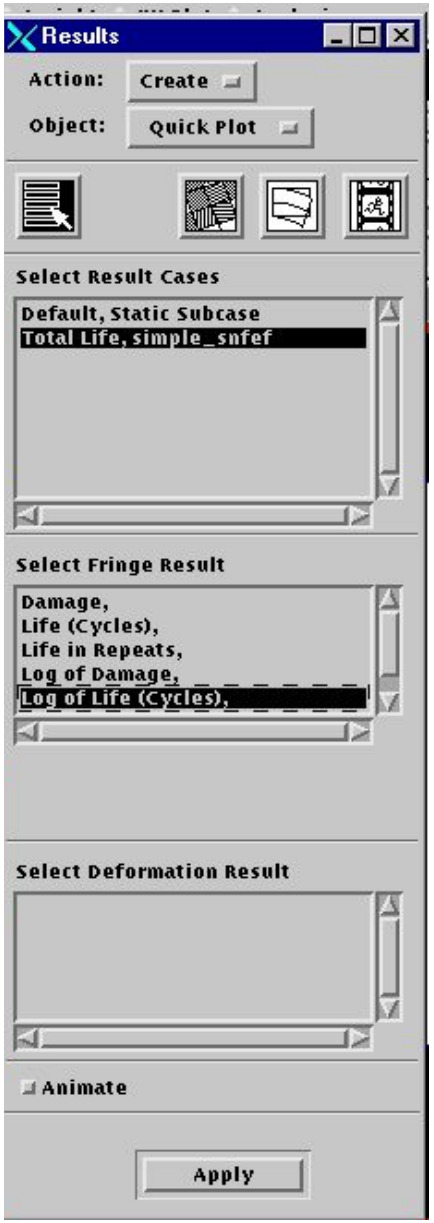


ВЫБОР СОЗДАННОГО НАГРУЖЕНИЯ



УСТАНОВКИ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ





Решите задачу
Прочитайте результаты
Отобразите цветом изополя долговечности

Упражнение

- Выполните упражнение из главы 3 книги Quick Start Guide – «Простой S-N анализ» (“A Simple S-N Analysis.”)
- Выполните упражнение №17 из того же руководства – «Разные возможности» (“Miscellaneous Features.”)