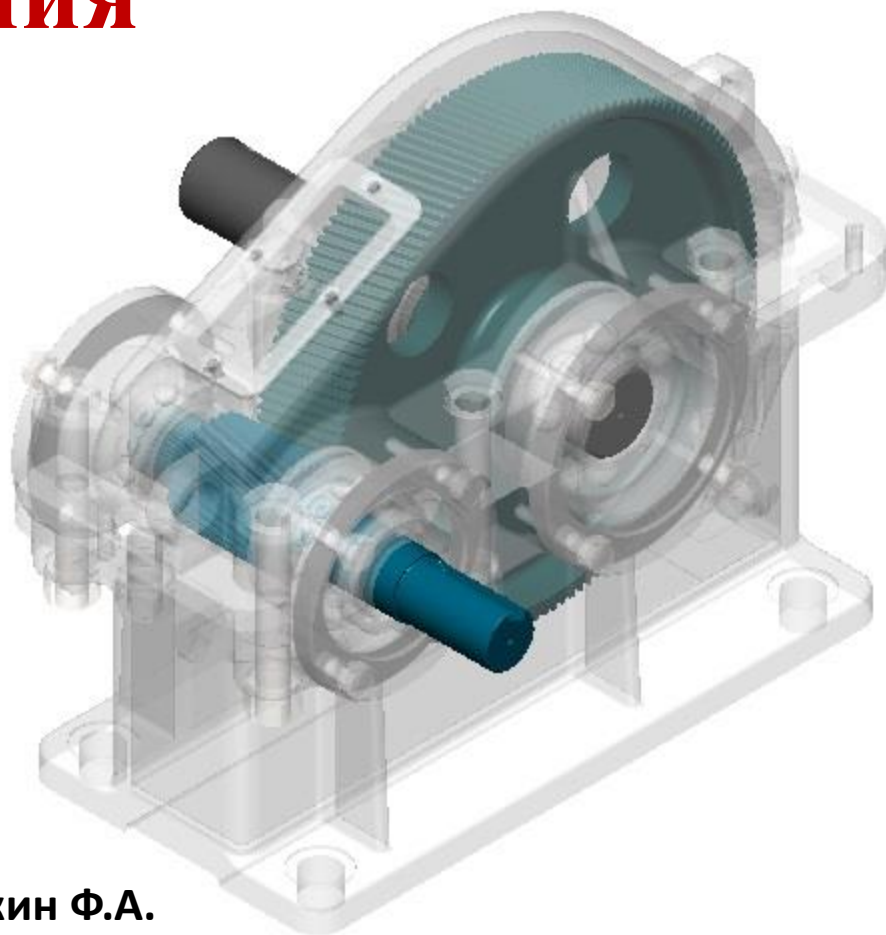


# *ДЕТАЛИ МАШИН И ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ*

## **Методы повышения циклической прочности**



Лектор: доц. каф.ТПМ ИФВТ ТПУ Симанкин Ф.А.

1. Повышение упругости деталей в направлении действия нагрузок и введение упругих связей между деталями, передающими и воспринимающими нагрузку:

- Введение упругой муфты между деталями, воспринимающими циклический крутящий момент;
- Установка пружинного амортизатора между валом и зубчатым колесом (более плавная работа зубчатого зацепления);
- Переход с подшипника качения на подшипник скольжения (Амортизирующее действие масляного слоя)



3. В ряде случаев, возникновение высоких знакопеременных нагрузок связано с появлением резонансных колебаний в частях механизма. Устраняется использованием демпферов (пружинных, маятниковых, гидравлических и т.д.). Также может использоваться подвеска механизма на виброизолирующих и виброгасящих амортизаторах

# Технологические способы повышения циклической прочности

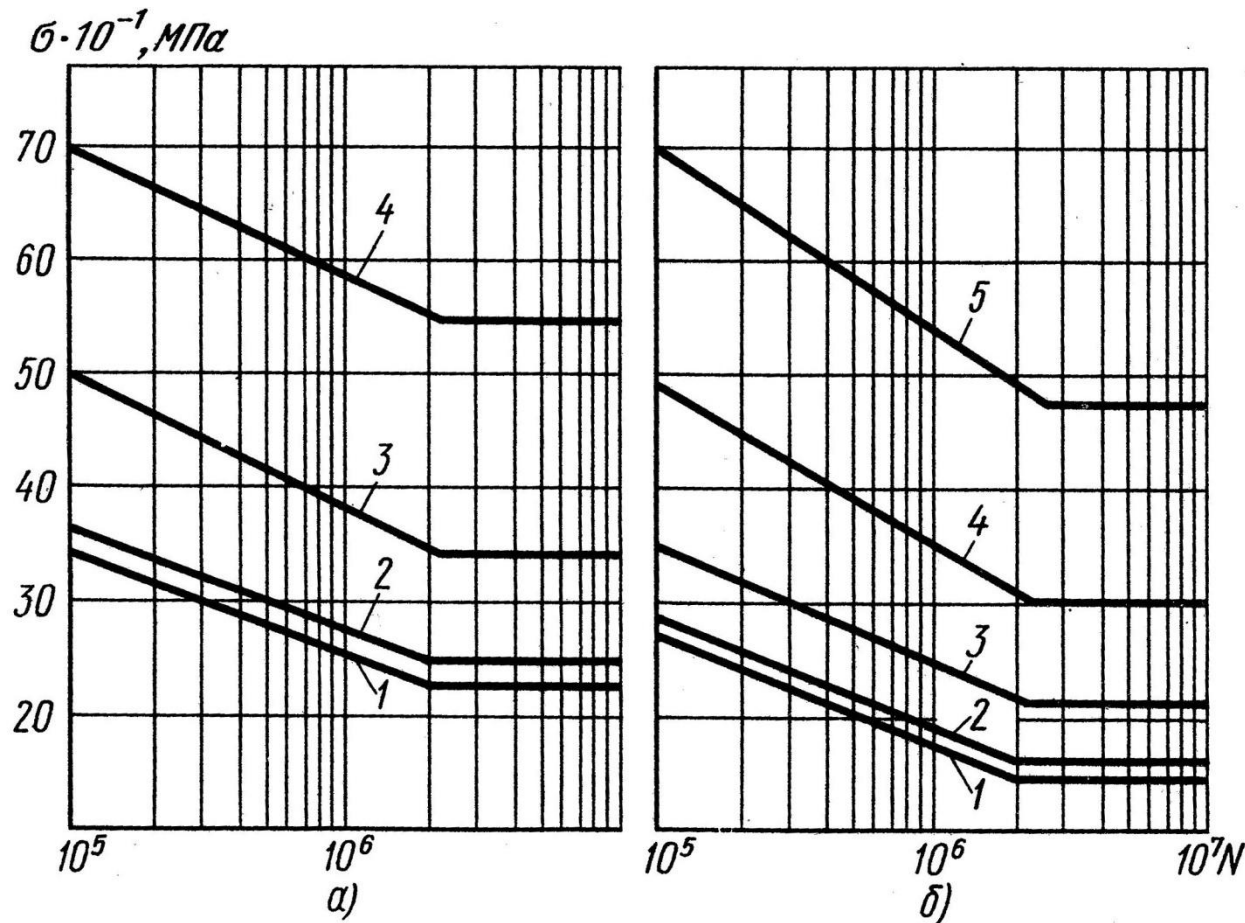
1. Металлургический фактор – технология выплавки стали оказывает большое влияние на циклическую прочность. Спокойные стали (раскисленные  $Al$ ) имеют более высокие пределы усталости нежели кипящие стали (раскисленные  $Mn$  и  $Si$ ). Большой циклической прочностью обладают также стали вакуумной плавки

# Технологические способы повышения циклической прочности

2. Термообработка. Из всех существующих видов термической обработки стали (отжиг, нормализация, улучшение, закалка, отпуск, старение) наибольший эффект дает закалка с низким отпуском, увеличивающая предел выносливости в 2-2,5 раза по сравнению с нетермообработанной сталью

# Технологические способы повышения циклической прочности

## 2. Термообработка



Влияние термообработки на циклическую прочность (сталь 45)

а – гладкие образцы

б – образцы с кольцевой выточкой

1 – после отжига

2 – нормализация

3 – улучшение

4 – закалка с низким отпуском

5 – закалка с низким отпуском после накатывания

# Технологические способы повышения циклической прочности

## 2. Термообработка

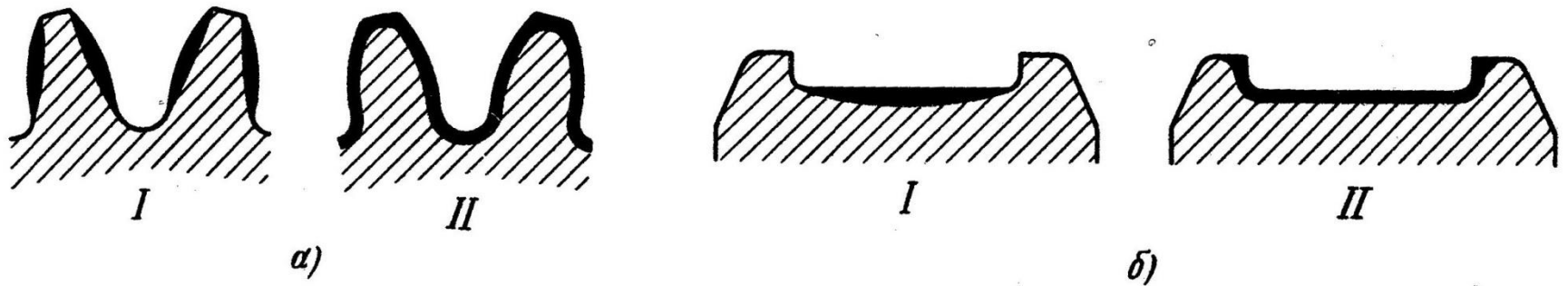
При поверхностной закалке упрочнение обусловлено главным образом возникновением в поверхностном слое остаточных сжимающих напряжений. Создание предварительных напряжений сжатия уменьшает коэффициент амплитуды и смещает средние напряжения циклов в область сжатия, что повышает предел выносливости



# Технологические способы повышения циклической прочности

## 2. Термообработка

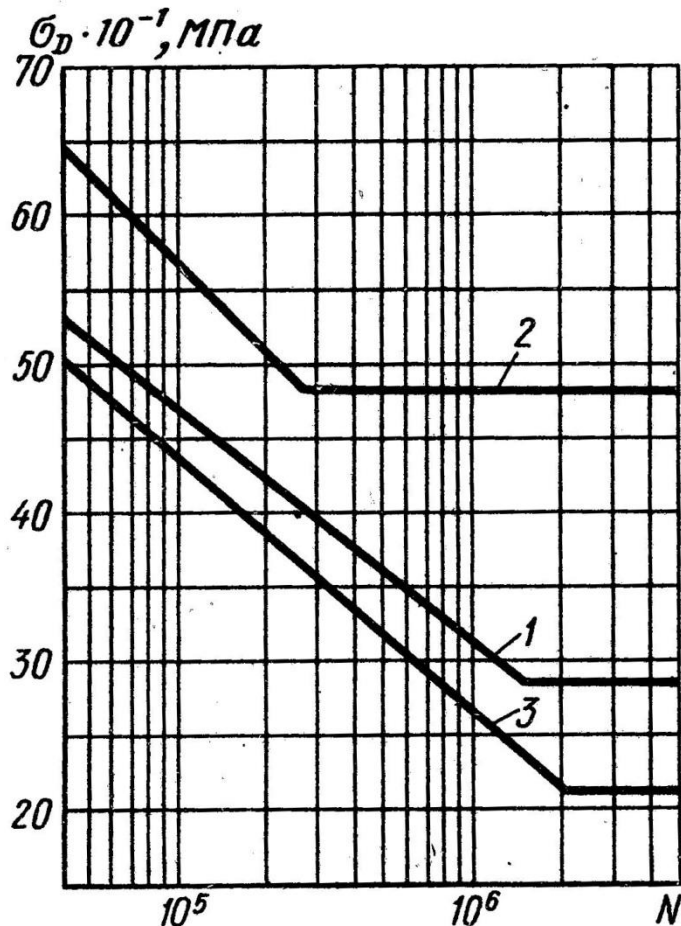
Упрочняющая обработка должна охватывать все участки поверхности с концентраторами напряжений.



При неполной обработке на границах обработанных и необработанных зон возникают скачки напряжений, снижающие прочность

# Технологические способы повышения циклической прочности

## 2. Термообработка



Циклическая прочность зубьев на изгиб.

1 – сырая сталь;

2 – поверхностная газовая закалка по всему контуру зубьев;

3 – поверхностная закалка по рабочим поверхностям

# Технологические способы повышения циклической прочности

## 3. Химико-термическая обработка

Заключается в насыщении поверхностных слоев деталей машин углеродом (цементация), углеродом и азотом (цементация и нитроцементация), азотом (азотирование). При поверхностной закалке и химико-термической обработке усталостная прочность обеспечивается повышением поверхностной прочности детали, а также переходом очага зарождения усталостной трещины в подслоиную область. При этом предупреждается потеря прочности в результате износа, случайных царапин и повреждений

# Технологические способы повышения циклической прочности

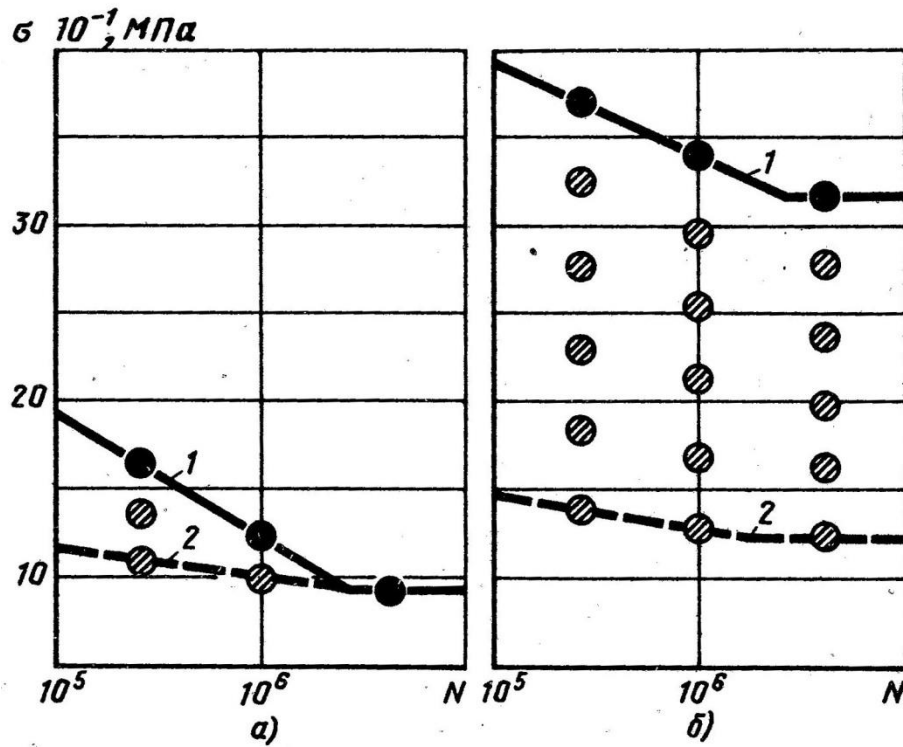
## 4. Качество обработки

Поверхности деталей, работающих при высоких циклических нагрузках, следует обрабатывать с максимальной чистотой. Отделочные операции (полирование, притирка) способствуют повышению усталостной прочности, особенно у деталей из прочных и твердых материалов. Для циклически нагруженных деталей применяют микрошлифование (мелкозернистые круги и м/с) и ленточное шлифование. На полированной поверхности легче обнаружить дефекты поверхностного слоя. Ввиду этого, ответственные детали, работающие при высоких циклических нагрузках, полируют кругом, и не только по посадочным поверхностям и поверхностям трения

# Технологические способы повышения циклической прочности

## 5. Механическое упрочнение

Заключается в наклепывании поверхностных слоев металла деталей машин, следствием чего является уплотнение и упрочнение этих слоев



Усталостная прочность образца из стали 40ХН до (а) и после (б) наклепа

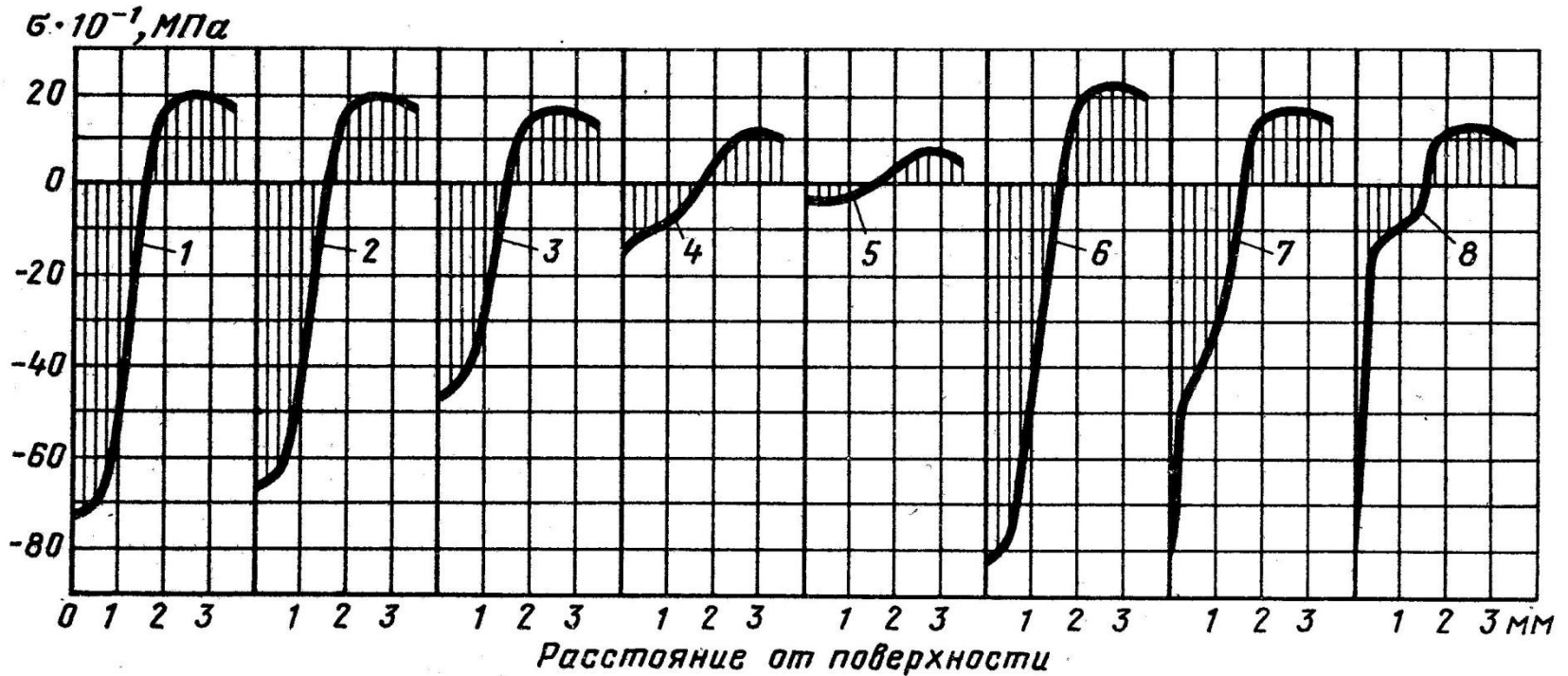
# Технологические способы повышения циклической прочности

## 5. Механическое упрочнение

Наклепывание деталей производят различными способами, основными из которых являются: дробеструйная обработка, обкатывание, чеканка, алмазное выглаживание

# Технологические способы повышения циклической прочности

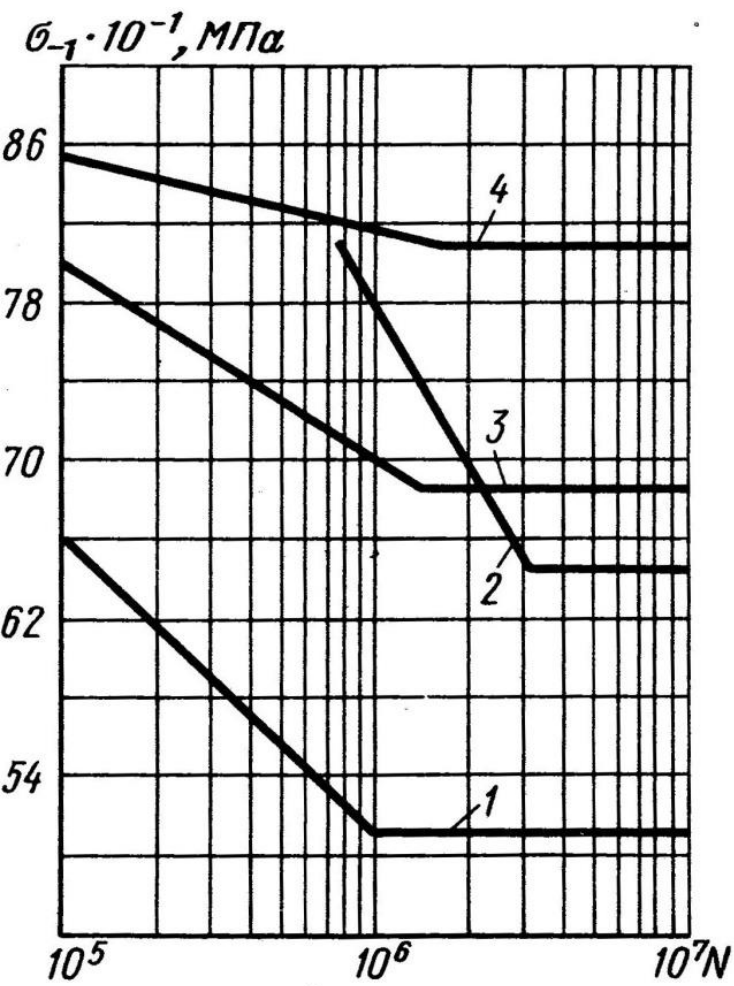
## 5. Механическое упрочнение



Остаточные напряжения в поверхностном слое

1 – после закалки; 2 – после отпуска при  $100^{\circ}\text{C}$ ; 3 – после отпуска при  $200^{\circ}\text{C}$ ;  
4 – после отпуска при  $300^{\circ}\text{C}$ ; 5 – после отпуска при  $400^{\circ}\text{C}$ ; 6 –  
дробеструйный наклеп после закалки; 7 – то же после отпуска при  $200^{\circ}\text{C}$ ; 8 –  
то же после отпуска при  $300^{\circ}\text{C}$

# Технологические способы повышения циклической прочности



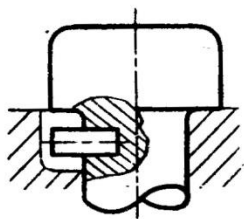
Поверхности вращения упрочняют обкатыванием стальными закаленными роликами. Окружная скорость обрабатываемой детали 10...20 м/мин. Плоские поверхности упрочняют обкатыванием шариками установленными во вращающемся патроне. По сравнению с дробеструйной обработкой обкатывание улучшает качество поверхности

*Циклическая прочность после улучшения (1), азотирования (2), улучшения и обкатывания (3), азотирования и обкатывания (4)*

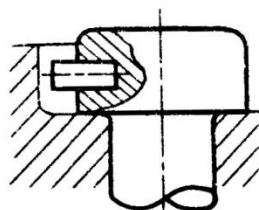


# Устранение и снижение концентрации напряжений

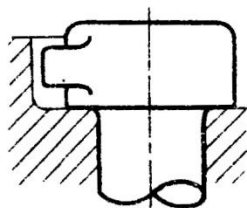
Головка болта



Фиксирующий усик расположен в наиболее напряженной зоне и вызывает резкую концентрацию напряжений



Усик перенесен в головку в область низких напряжений. Концентрация напряжений остается



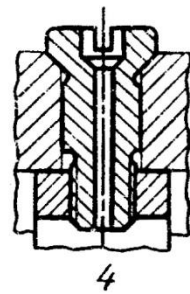
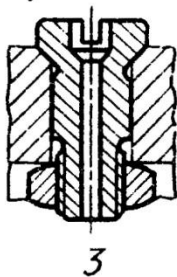
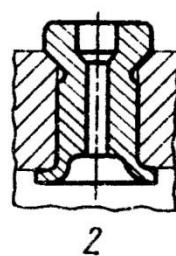
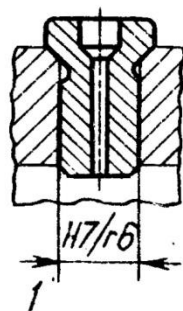
Усик выполнен как одно целое с головкой. Концентрация напряжений практически устранена

# Устранение и снижение концентрации напряжений

Крепление пробки в вале



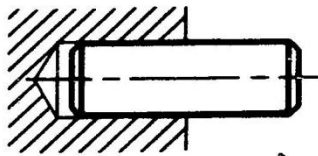
Резьба вызывает концентрацию напряжений



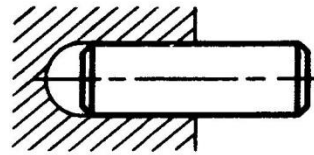
1. Резьбовое крепление заменено запрессовкой
2. Пробка укреплена развальцовкой
3. Пробка укреплена гайкой
4. Пробка ввернута в кольцо, расположенное в полости вала

# Устранение и снижение концентрации напряжений

Отверстие под штифт



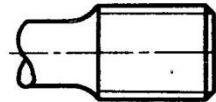
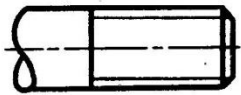
Концентрация напряжений в  
днище отверстия



Днище отверстия закруглено

# Устранение и снижение концентрации напряжений

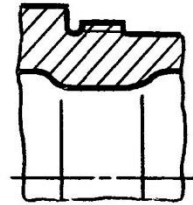
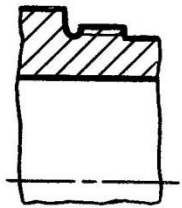
Нарезной стержень



Увеличен диаметр нарезного участка

# Устранение и снижение концентрации напряжений

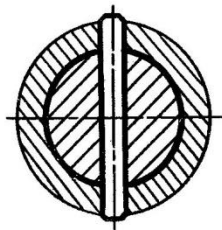
Вал с резьбой



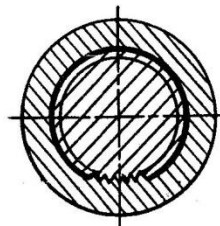
Вал усилен на участке резьбы

# Устранение и снижение концентрации напряжений

Штифтовое соединение вала со ступицей



Высокая концентрация напряжений в валу и ступице

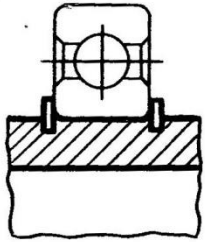


Штифтовое соединение заменено шлицевым

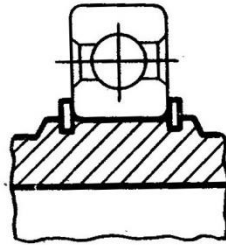
Благодаря большому числу шлицев напряжения на участках передачи крутящего момента резко снижены

# Устранение и снижение концентрации напряжений

Установка подшипника на валу



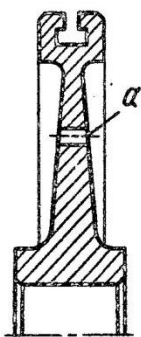
Вал ослаблен канавками под стопорные кольца



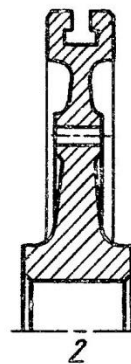
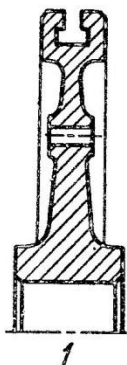
Вал усилен на ослабленном участке

# Устранение и снижение концентрации напряжений

Ротор турбины



Диск ротора ослаблен разгрузочными отверстиями *a*

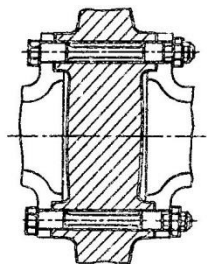


1. Отверстия усилены бобышками
2. Отверстия расположены в кольцевом усиливающем поясе

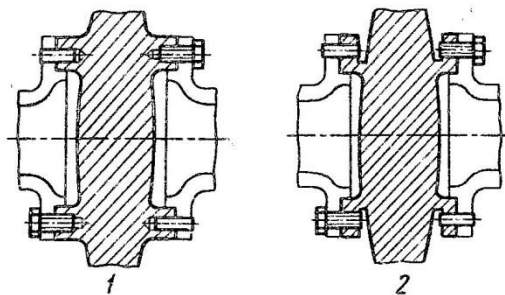


# Устранение и снижение концентрации напряжений

Крепление ротора турбины к разъемному валу



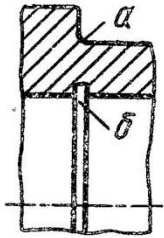
Отверстия под болты ослабляют ротор



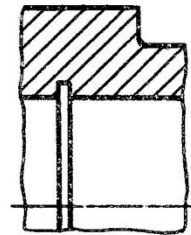
1. Отверстия под болты расположены в кольцевых утолщениях и вынесены за пределы напряженных сечений
2. Отверстия под болты расположены во фланцах, отнесенных от тела ротора

# Устранение и снижение концентрации напряжений

Вал



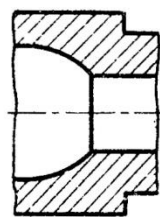
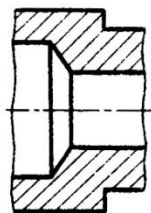
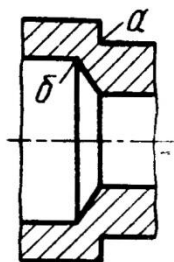
Совмещение концентраторов напряжений (наружный входящий угол  $a$  и выточка  $b$ )



Ослабленный участок усилен разноской концентраторов напряжений

# Устранение и снижение концентрации напряжений

Вал

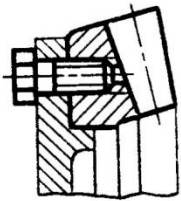


1. Ослабленный участок усилен разноской входящих углов
2. Внутренний концентратор устранен приданием полости плавных очертаний

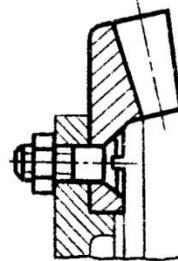
Совмещение концентраторов напряжений (наружный входящий угол  $\alpha$  и внутренний  $\beta$ )

# Устранение и снижение концентрации напряжений

Крепление зубчатого венца к диску

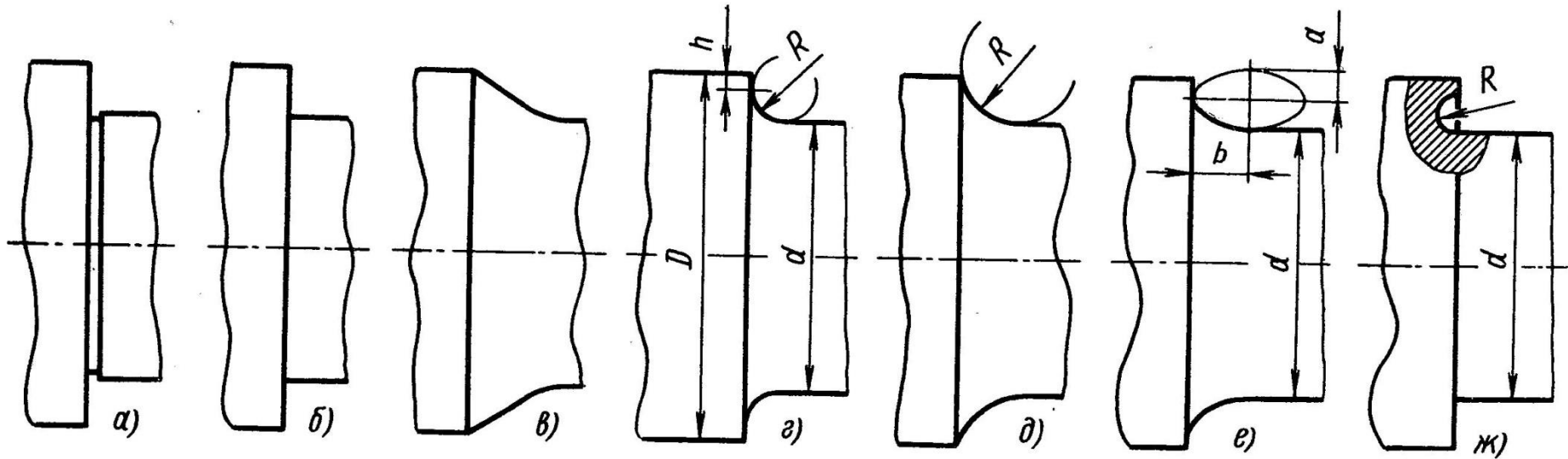


Совмещение концентраторов напряжений (впадины зубьев и отверстия под болты)



Крепление перенесено в диск зубчатого венца

# Галтели



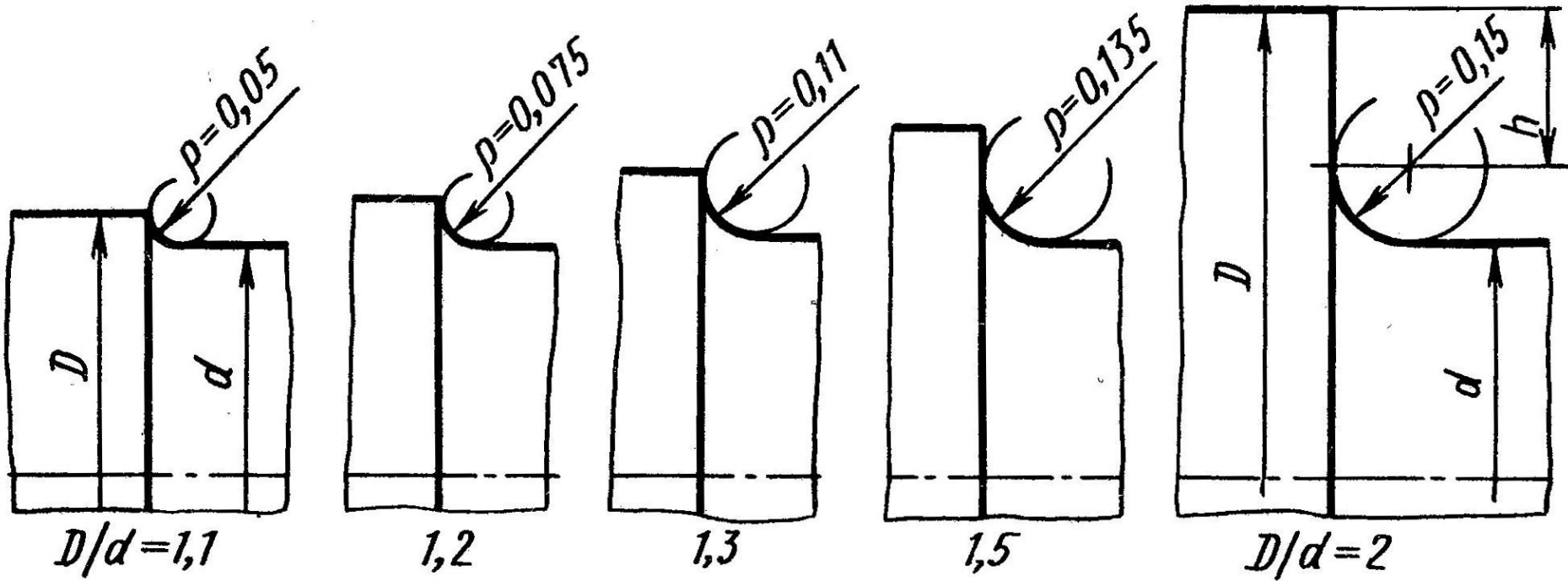
Конические сопряжения (в) увеличивают прочность переходных участков, но сокращают длину цилиндрической поверхности малого диаметра. Чаще всего на участках перехода вводят галтели (г-ж)

# Галтели

Эллиптические галтели при одинаковых перепадах диаметров обеспечивают общее увеличение прочности (на 20%). Эффективность такой галтели зависит от соотношения полуосей эллипса; недостатком их является сокращение цилиндрической части вала.

Сокращение цилиндрической части вала можно избежать, если применить поднутренные галтели (ж).

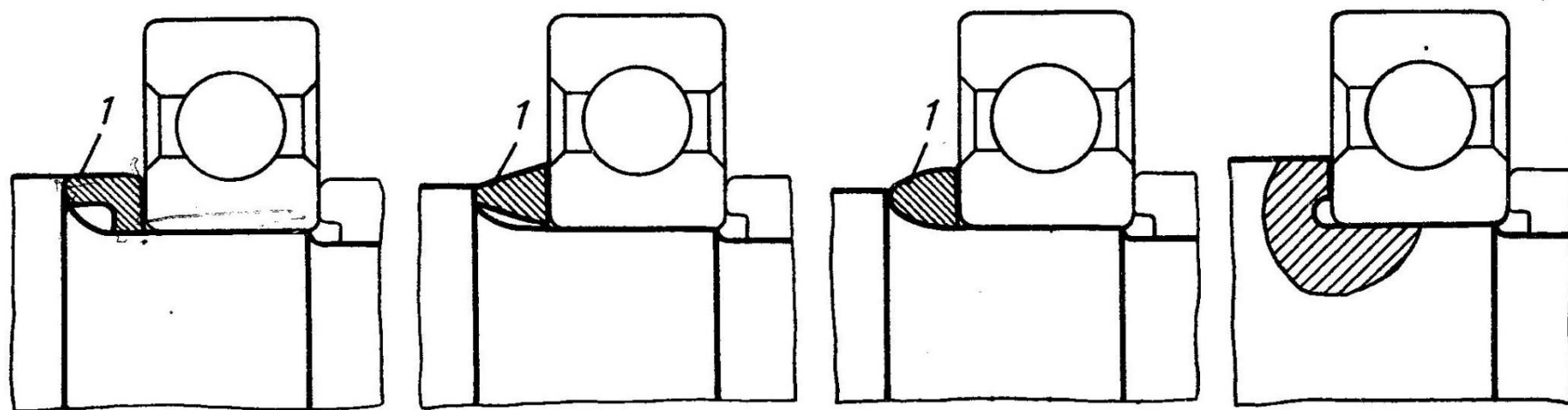
# Галтели



Концентрация напряжений падает с уменьшением перепада

диаметров и увеличением относительного радиуса галтели  $\rho = \frac{R}{d}$

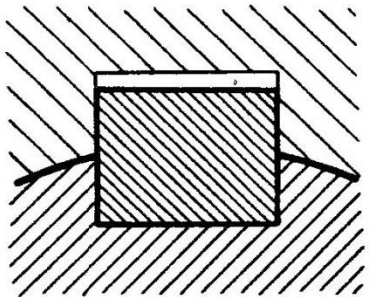
# Установка шарикоподшипников на валах с галтелями



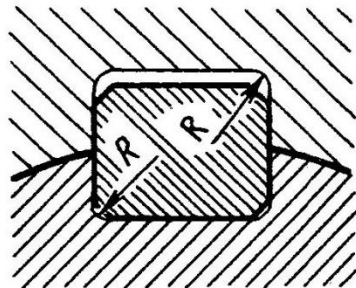
*1 – промежуточная шайба*



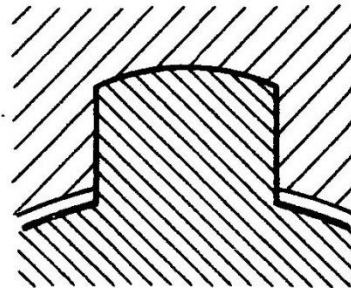
# Введение галтелей



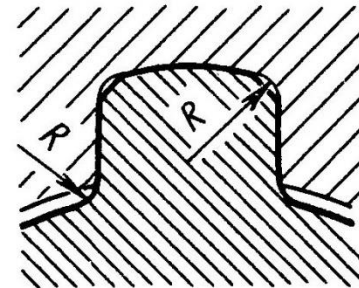
а)



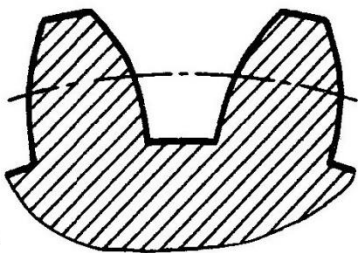
б)



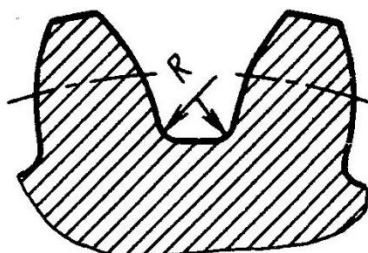
в)



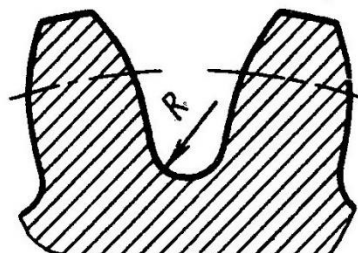
г)



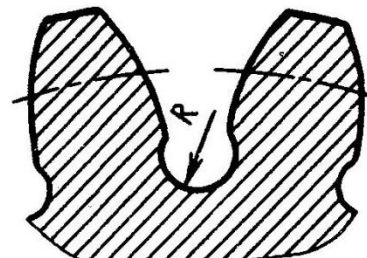
д)



е)



ж)

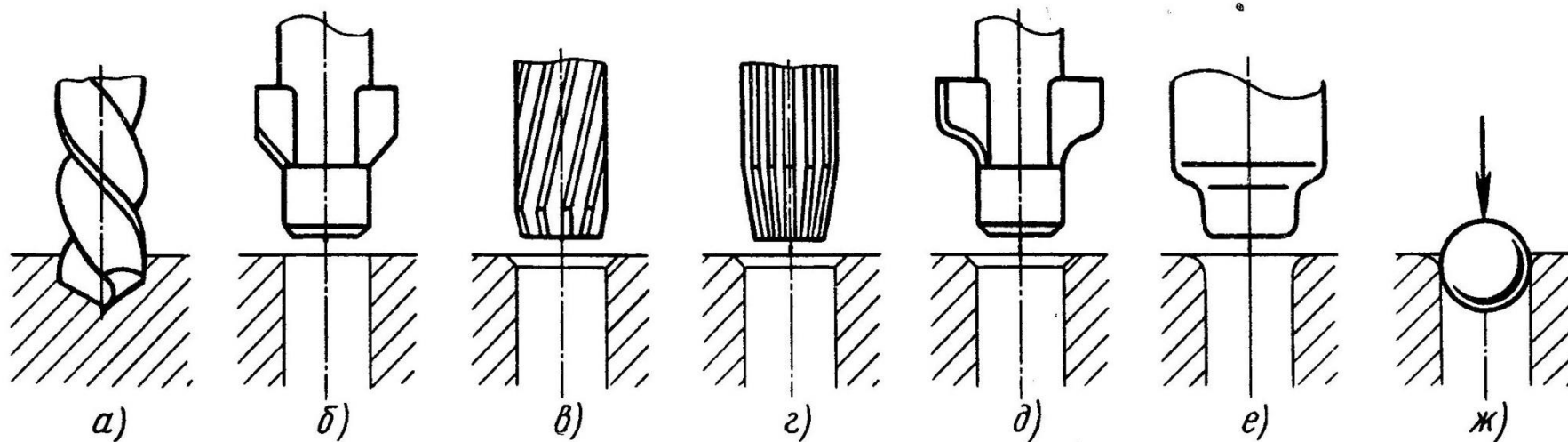


з)

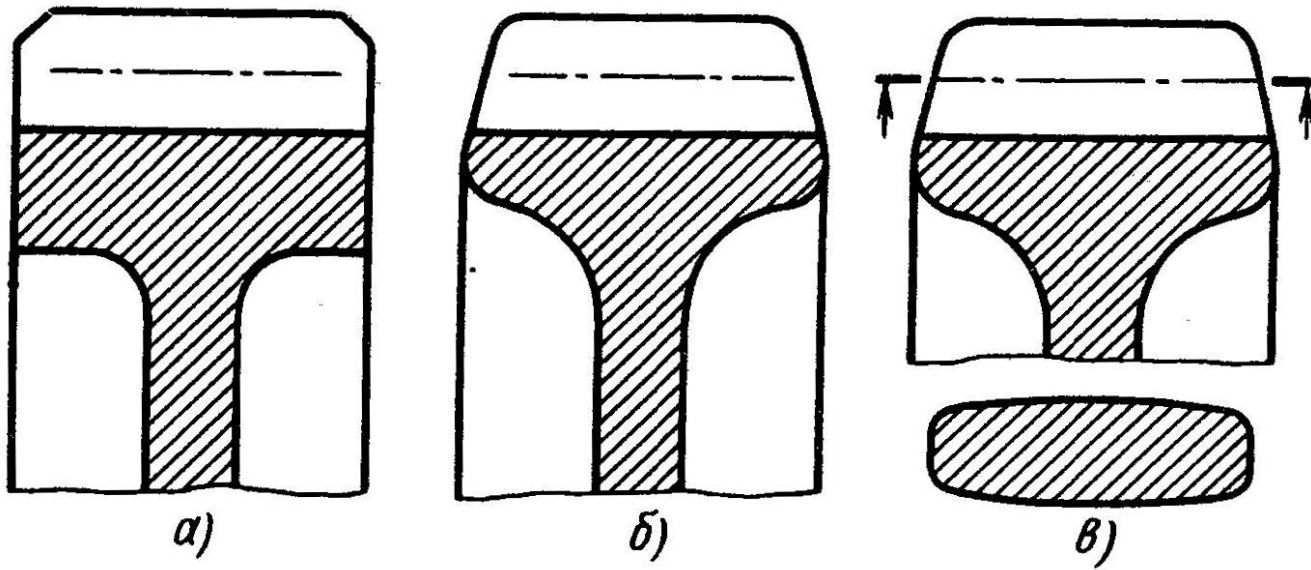
*а, в, д – правильная конструкция*

*б, г, е – правильная конструкция*

# Обработка отверстий в циклически нагруженных деталях



# Устранения концентрации нагрузок на кромках зубьев



*а - снятие фасок или галтелей на углах зубьев, б – уменьшение жесткости обода по направлению к торцам колеса, в – придание **зуба** бочкообразной формы (бомбирование) с одновременным скруглением торцовых кромок*

## *Литература:*

- ✓ Орлов П.И. Основы конструирования. т.1- М., «Машиностроение», 1988. - 560 с.