4. По степени раскисления (по количеству вредных газов H_2, O_2 в стали)

ДОРОЖЕ ↓

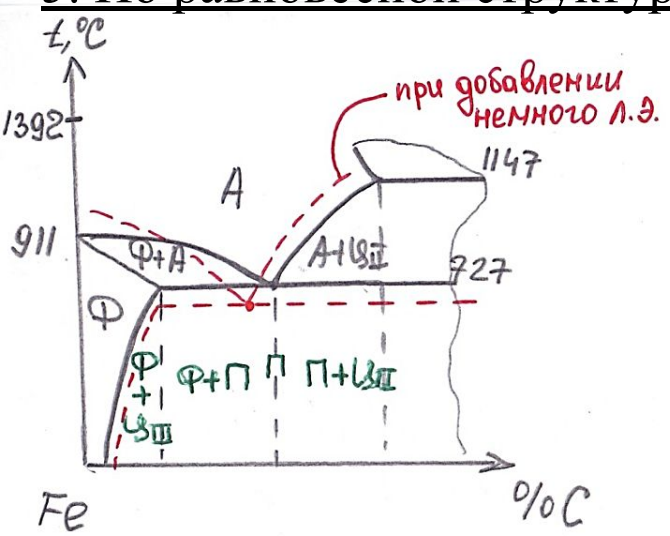
$O_2 + Mn \rightarrow MnO$
$O_2 + Si \rightarrow Si\,O_2$
$O_2 + Al \rightarrow Al_2O_3$
$O_2 + Ce \rightarrow Ce\,O_2$

} шлак (легче по плотности)

- спокойные (сп); хорошо раскисленные Mn, Si, Al
- полуспокойные (пс) раскисление Mn, Si
- кипящие (кп) плохо раскисленные Mn

обозначение «сп» обычно не пишут, т.к. это практически все стали, которые используются в технике

5. По равновесной структуре (после медленного охлаждения)

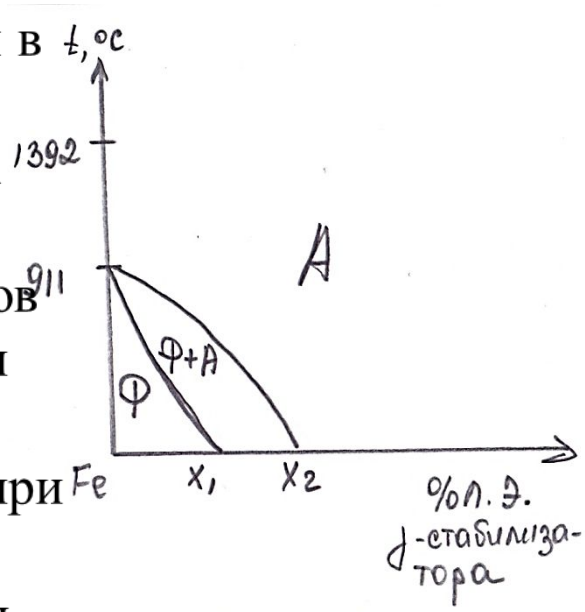


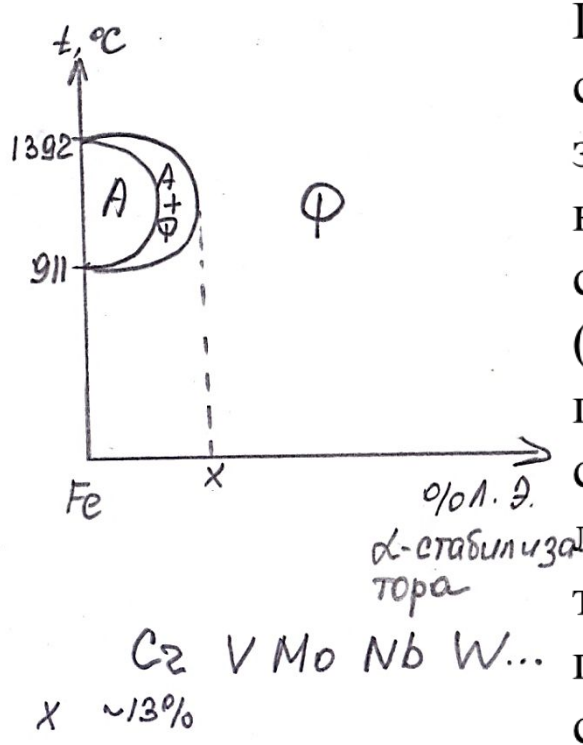
После медленного охлаждения ВСЕ углеродистые стали содержат в своей структуре П, поэтому они классифицируются как стали перлитного класса. При добавлении в стали немного Л.Э. (Σ Л.Э. ≤ 5%) критические точки смещаются, однако это не сильно влияет на конечную структуру, поэтому они похожие (там также есть П).

Вывод: В сталях перлитного класса при нагреве (охлаждении) есть переход через критические точки их можно упрочнить Т.О.

Стали легированные (Σ Л.Э.> 10%). Вариантов может быть всего два (т.к. решёток у железа две)

При введении в сталь значительных количеств γ-стабилизаторов (>x_2 %) стали приобретают структуру А при любой температуре и после любой скорости охлаждения, поэтому они называют <u>сталями аустенитного класса</u>.





Ni; Mn

x_1 10%

x_2 30%

Cr V Mo Nb W...

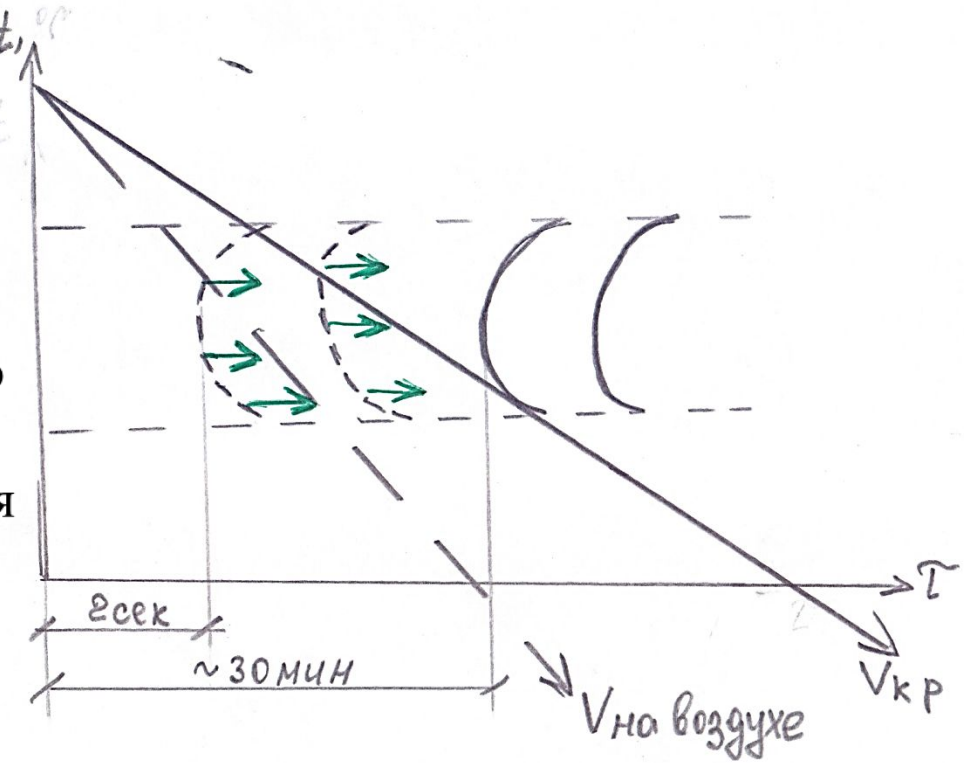
x ~13%

Вывод: В сталях аустенитного и ферритного класса при нагреве (охлаждении) нет перехода через критические точки их нельзя упрочнить с помощью Т.О.

При введении в сталь значительных количеств α-стабилизаторов (>x %) стали приобретают структуру Ф при любой температуре и после любой скорости охлаждения, поэтому они называют <u>сталями ферритного класса</u>.

стали	медленное охлаждение (с печью);	медленное охлаждение (на воздухе);
углеродистые	П	П
низколегиро-ванные	П	М
высоколегиро-ванные	А Ф	А Ф

Большинство Л.Э. смещают линии «С-образной» диаграммы ВПРАВО → расширяют область существования аустенита и снижают критическую скорость закалки $\upsilon_{кр}$. Поэтому во многих легированных сталях возможно получить при охлаждении на воздухе структуру – М. Такие стали называются сталями мартенситного класса.



Коробление
Закалочные напряжения
Трещины

НЕТ! А твёрдость есть!

Примечание:

Классификация по равновесной структуре (стали доэвтектоидные, эвтектоидная, заэвтектоидные) называется классификацией по Обергофферу;

Классификация по равновесной структуре (стали перлитные, аустенитные, ферритные, мартенситные) называется классификацией по Гийе;

§ 2. Углеродистые конструкционные стали

§ 2.1. Влияние углерода на свойства сталей

Пример:

Свойства		Fe + 0, 4 % C	
	Ф	Отжиг Ф+П	
HB	80	150	(550) 58 HRC
	~250	~550	~1600
	40	18-20	2
	~2,8 (!)	0,6-0,8	0,1 (по-честному, 0)

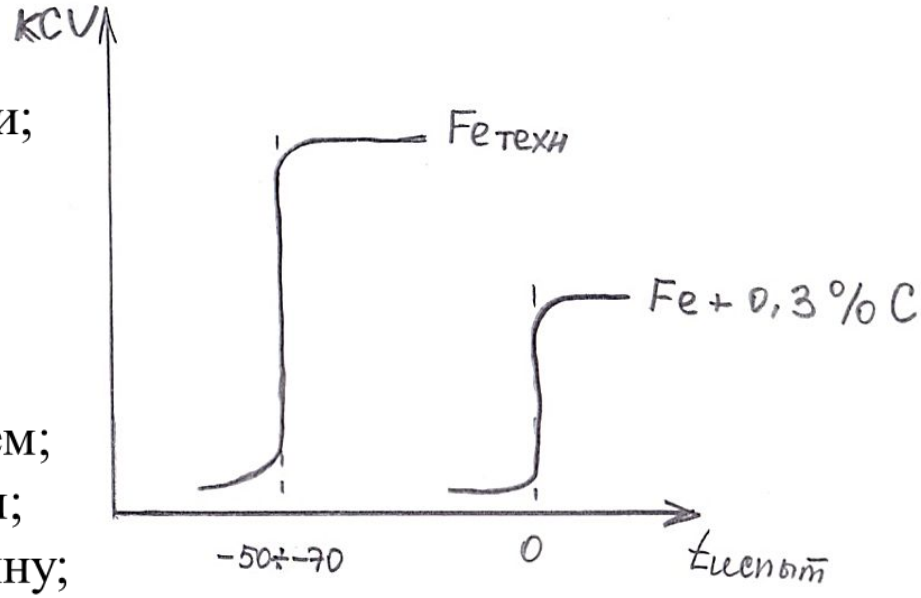
С увеличением углерода в стали:

→ значительно увеличивается прочность (особенно после закалки); «+»

→ снижаются показатели δ и KCU;

→ повышается порог хладноломкости;

→ ухудшается надёжность «-»



→ хуже свариваются;

→ хуже литейные свойства;

→ труднее обрабатываются давлением;

→ труднее обрабатываются резанием;

→ прокаливаются на меньшую глубину;

→ при закалке требуются большие $v_{охл}$ (коробление, трещины);

→ хуже технологичность «-»

- цена дешевле (!) «+»
  (~70 % от всех конструкционных сталей – это стали углеродистые)

§ 2.2. Углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества (Σ S+P < 0,1 %)

марка	% C				Применение
Ст0					это Ст1-Ст4 с пониженной пластичностью («брак», используется на , гвозди и др.)
Ст1	~ 0,06	в среднем 0,06 % C *	~ 330		Выпускаются в виде проката (прутки, уголки и др.); используются для небольших и средних нагрузок, для климатических температур, в самых металлоёмких отраслях промышленности: - строительные (Ст1-Ст4 [кп или пс], арматура и др.) - с/х машиностроение (Ст1-Ст4, рамы и др.) - ж/д транспорт (Ст5-Ст6, рамы, стойки и др.) - ПТМ (Ст5-Ст6, каркасы и др.) Как правило, не подвергаются Т.О.
Ст2	~ 0,12		~ 400		
Ст3	~ 0,18		~ 450		
Ст4	~ 0,24		~ 500		
Ст5	~ 0,30		~ 550		
Ст6	~ 0,45				

все с низкой прочностью (300-600 МПа)

Маркировка: Б или В Ст одна цифра

может быть; Б – для поковок; В – для сварки

номер по ГОСТу

§ 2.3. Углеродистые конструкционные качественные стали

марка			Применение
	после нормализации		
08	320-340	~ 35-40	
10			
15	~ 400-450	~ 25	для Х.Т.О. (цементация) + упрочняющая Т.О. называются <u>цементуемые</u> (для зуб. колёс)
20			
25			
30	~ 500-650	~ 20-13	
35			
40			
45			
50			
55			
60	~ 700-850	~ 12-8	закалка + средний отпуск пружины (марки 60,65), рельсы (марки 70, 75), кованые колёса.
65			
70			
75			

Σ S+P < 0,075 %

маркировка <u>две цифры</u>

(содержание углерода в сотых долях процента (40 □ 0,37-0,45 % C)).

Итог по § 2: углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества и качественные являются дешёвыми, имеют широкий диапазон свойств, однако закаливаются в воде или соляном растворе (следовательно, имеют коробление), имеют небольшую прокаливаемость (до 12 мм); поэтому применяются для некрупных, несложных и неответственных деталей машин.

§ 3. Легированные конструкционные стали

§ 3.1. Влияние легирующих элементов на свойства сталей

→ все легирующие элементы (Л.Э.), кроме Pb и Ag растворяются в решётке Fe (являясь атомами замещения); лучше в α-Fe, похуже в γ-Fe;

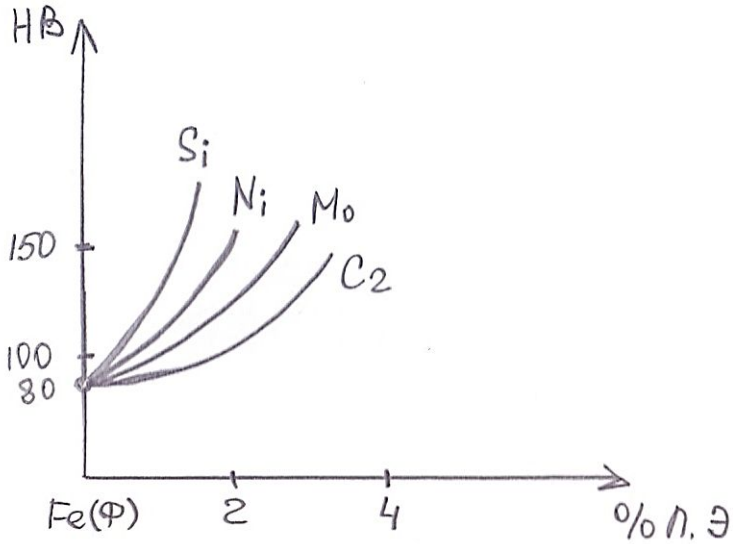
→ некоторые Л.Э. являются карбидообразователями, т.е. образуют с углеродом карбидные фазы:

химическое сродство к углероду →

Fe	Cr	Mo	Nb	V	Zr	Ti
Fe_3C (HB (700))						TiC (HB (2900))

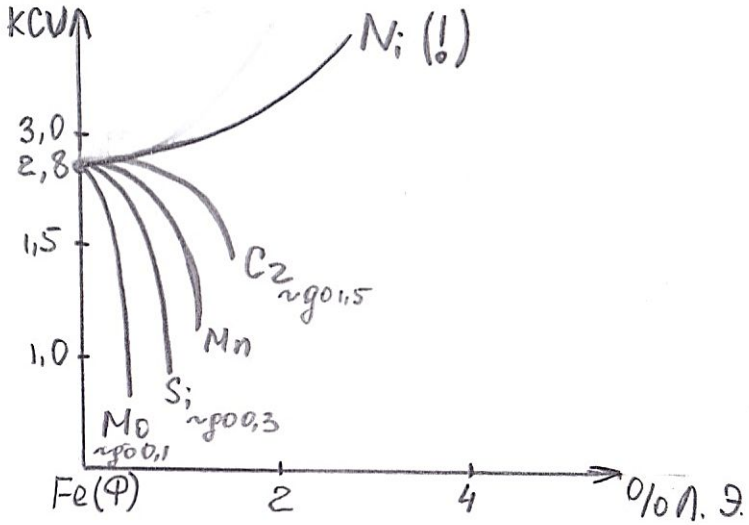
→ некоторые Л.Э. друг с другом способны создавать интерметталиды (например, Ni_3Ti, Fe_2Mo (фаза Лавеса));

- все Л.Э. при растворении в Fe способствуют повышению его твёрдости

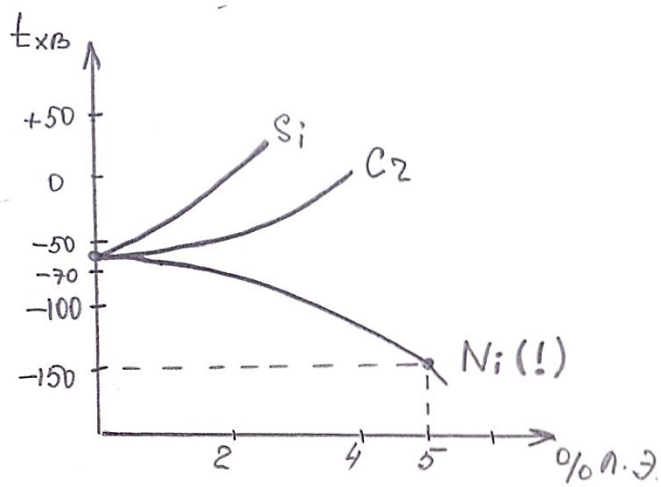


примечание: Л.Э. не добавляют, чтобы увеличить твёрдость стали, проще добавить десятые доли углерода

- все Л.Э., кроме Ni и Cr (до 1,5 %) снижают ударную вязкость, а значит ухудшают надёжность

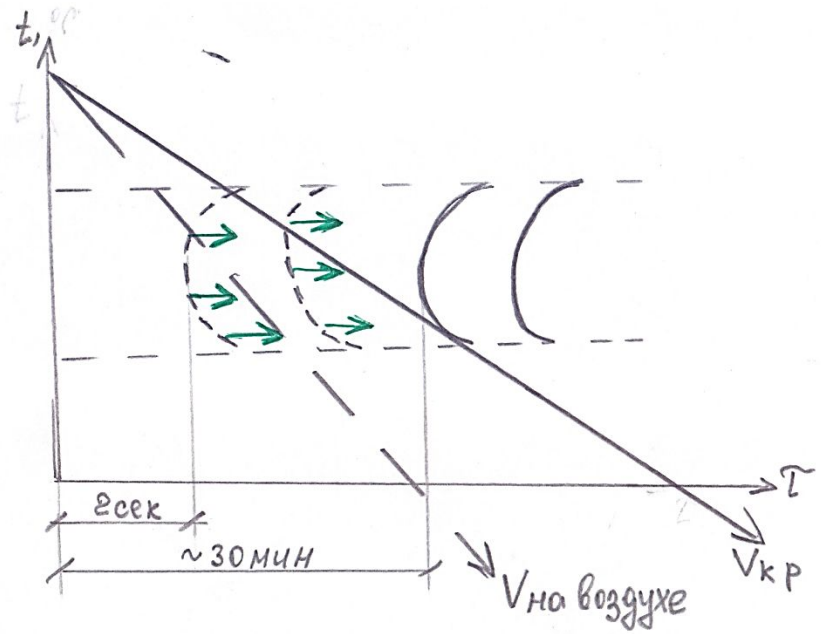


- все Л.Э., кроме Ni повышают порог хладноломкости



- все Л.Э., кроме Co, смещают линии «С-образной» диаграммы вправо, поэтому все легированные стали <u>закаливаются в масле</u> (уменьшение коробления и возникновения трещин), а некоторые и на воздухе.

сильнее всего смещают Ni, Cr, а ещё сильнее комбинация Ni+Cr (!)

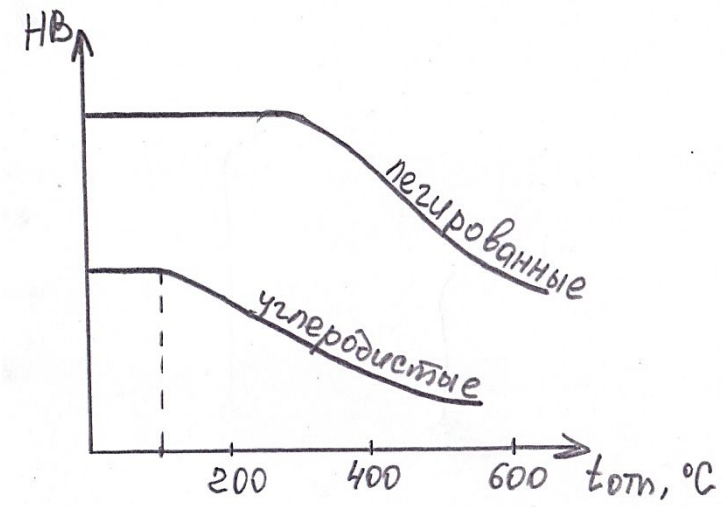


 некоторые Л.Э. затрудняют рост зёрен

добавление 0,01-0,03 % карбидообразующих элементов (Mo, W, V, Nb, Zr, Ti) делают сталь природно мелкозернистой

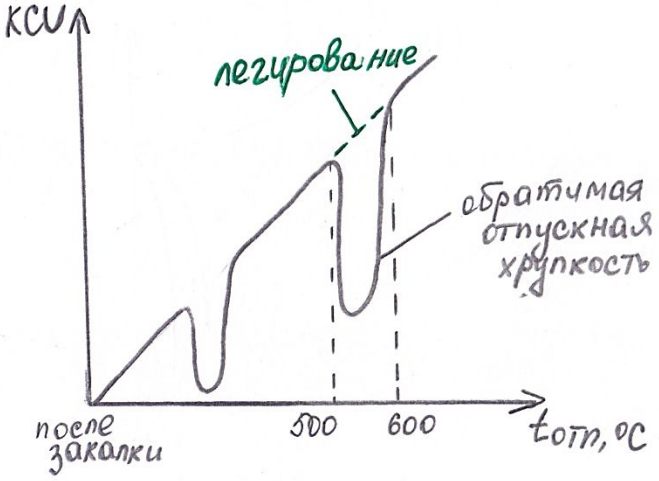
 некоторые Л.Э. затрудняют распад мартенсита при отпуске

особенно сильно Si, Mo, W
можно, сохраняя твёрдость, полнее снять закалочные напряжения



 некоторые Л.Э. устраняют обратимую отпускную хрупкость

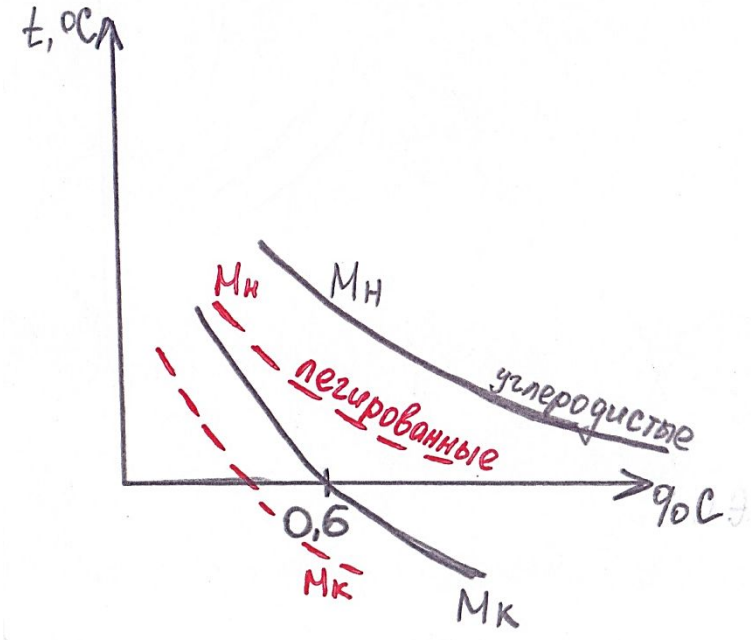
добавка ~ 0,3 % W или Mo



➔ все Л.Э. <u>снижают</u> критические точки $M_н$ и $M_к$, что может привести к сохранению $A_{ост}$

Ni уменьшает критические точки $M_н$ и $M_к$ на 40 °С / на 1 % Ni.

добавление Ni хорошо для надёжности и прокаливаемости, но нужно быть осторожным !



Итоги: - легированные стали дороже, но при правильном выборе легирующих элементов такие стали всегда прочнее, <u>надёжнее (!)</u> и технологичнее.

- обычное количество Л.Э.:

	Ni	Si	Mn	W и Mo	Cr	Ti, Nb, V
стали обычного назначения				~ 0,3 %	~ 1,5-2 %	~ 0,01-0,03 %
специальные стали	до 20 %	до 3 %	до 13 %	W до 18% Mo до 14 %	до 28 %	сверх 3 %

- маркировка легированных сталей

две цифры	буквы+цифры	_____
↓	↓	↓
среднее содержание углерода в сотых долях 37, 20, 18, ...	Л.Э. и их количество в целых процентах; если Л.Э. ≤ 1-1,5 %, то цифра не ставится. Cr – X, Ni – H, Mo – M, Mn – Г, Ti – T, Co – K, Si – C, W – B, V – Ф, Al – Ю, Nb – Б, B – P, ...	показатель качества: качественная - ____ высококачественная - _А_ особовысококачественная - ВДП, ЭШП, ЭЛП

Пример, сталь 40ХН2МА:

- 0,4 % C;
- Cr до 1 %;
- Ni до 2 %;
- Mo до 1 %;
- высококачественная

самое главное – уметь прочитать сталь !

§ 3.2. Низколегированные стали нормальной и повышенной прочности

- Σ Л.Э. ≤ 5 (6) % - 1 (2 или 3) элемента

нормальная прочность

$\sigma_B < 1000$ МПа

% C ≅ 0,1 – 0,25

прокаливаемость

15Х – до 20 мм

18ХГТ – до 60 мм

25ХГМ- до 60 мм

20ХН3А – до 100 мм

38Х2Н4МА – >100 мм + М класс

...

→ для деталей, работающих на трение+удар (зуб. колёса, поршневые кольца, кулачки и др.)

цеметация+упрочняющая Т.О.

↓

цементуемые

повышенная прочность

$\sigma_B \approx 1000 - 1500$ МПа

% C ≅ 0,3 – 0,5

прокаливаемость

40Х – до 20-25 мм

30ХГСА – до 40 мм

40ХН2МА – до 100 мм

38ХН3МА – >100 мм + М класс

38Х2МЮА – до 70 мм

...

→ для деталей, работающих при статических, <u>циклических</u> и небольших ударных нагрузках (валы, оси и др.)

Закалка+высокий отпуск

↓

улучшаемые ($C_{отп}$)

→ для деталей, работающих без трения (статические+ударные нагрузки)

закалка+низкий отпуск ($М_{отп}$)

$\sigma_В \sim 700 - 1000$ МПа;

$\delta \sim 10 - 12$ %;

KCU ~ 0,6-1,0 МДж/м^2

$\sigma_В \sim 1000 - 1200$ МПа;

$\delta \sim 10 - 12$ %;

KCU ~ 0,6-0,8 МДж/м^2

→ улучшение+азотирование

необходимо брать стали без Ni (типа 38Х2МЮА)

<u>Итоги</u>: 1) по марке низколегированной стали можно выявить следующую дополнительную информацию:

- по содержанию углерода: - уровень прочности;
  - типичную Т.О.;
  - типичное применение;
- по подбору Л.Э.: - уровень прокаливаемости;
  - температуру эксплуатации (с Ni – пониженные, с Mo,W, V – немного повышенные);
  - цену (с Ni – дорого);
- по показателю качества: - уровень надёжности;
  - цену;

Сталь 35ХМА:

повышенной прочности; типичное Т.О. – улучшение; типичное применение – валы, оси и др.; прокаливаемость – до 40-50 мм; можно использовать при незначительно повышенных температурах; высококачественная; относительно дорогая (нет Ni).

Что видно в марке стали?

ВСЁ !

- инженерный взгляд на марку стали

2) низколегированные стали нормальной и повышенной прочности закаливаются в масле, а некоторые на воздухе, имеют глубокую прокаливаемость; поэтому применяются для средних и умеренных (больше средних) нагрузок <u>для сложных, ответственных изделий разного сечения (в том числе и массивных)</u>

Авто сделаем, трактор сделаем, а шасси на аэробус или ИЛ96, а броню, а корпус подводной лодки, а сосуды для сжиженных газов сделаем? – Нет!

§ 3.3. Высокопрочные конструкционные легированные стали

$\sigma_B \geq 1500$ МПа;

$\delta \sim 10 - 12$ %;

KCU $\geq 0{,}2$ МДж/м^2

$K_{1c} \geq 50$ МПа$\sqrt{м}$

- главное
- удержать
- надёжность

Пути два.

Путь № 1 – комплексное легирование

0,35-0,4 % C + Л.Э. $\geq$ 4 (5, 6 лучше) штук + особо чистая выплавка

$\sigma_B \geq 1500$ МПа при структуре М

Ni $\geq$ 2-3 %;

Si, Mo, W, V, Nb, B

- удержать распад мартенсита при отпуске;
- удержать мелкое зерно;
- очистить границы

высококачественная

___А___

Например, 40ХН2СВА, 40ХН5МФА — Закалка в масле (на воздухе) + низкий отпуск 250-350 °С

$М_{отп}$

$\sigma_B \geq 1850 - 2000$ МПа; $\delta \sim 11 - 13$ %; KCU $\sim 0{,}5$ МДж/м^2 ; $K_{1c} \geq 50 - 60$ (нижний предел)МПа$\sqrt{м}$

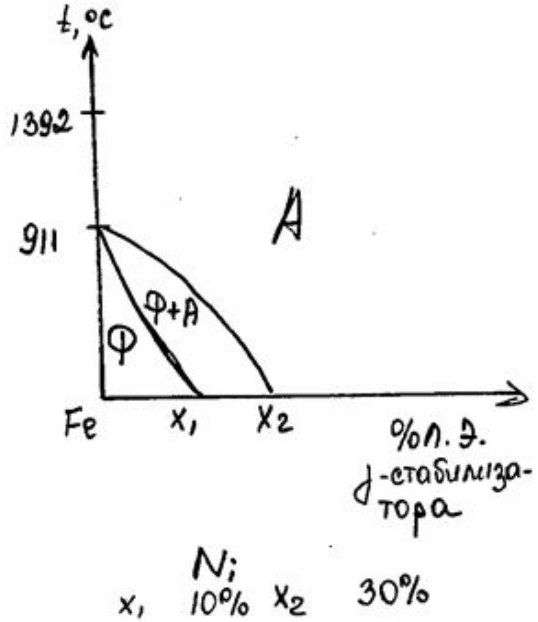
Путь № 2 – мартенсито-стареющие стали

Идея: □ углерод исключить (8 «-»);

□ Ni max (10-20 %);

□ для создания высокой прочности использовать Mo, Ti и Al, которые имеют <u>разную растворимость</u> в γ-Fe и α-Fe («как бы искусственно созданная переменная растворимость»)

Т.О.: закалка + старение



- при закалке 820-850 °C (воздух) при нагреве в аустените растворяются все Л.Э., а после охлаждения получается мартенсит – пересыщенный твёрдый раствор <u>замещения</u> (!)

$\sigma_B \sim 1000$ МПа;

обработка давлением, резание $\left\{ \begin{array}{l} \delta \sim 10 - 25\ \%; \\ \psi \approx 70\ \%\ (!) \end{array} \right.$

- при старении (500-550 °C, 2-6 часов) из мартенсита выделяются дисперсные частицы Ni_3Ti, Ni_3Al, Fe_2Mo (фаза Лавеса)

$\sigma_B \sim$ от 1500 до 3000 МПа

Сталь 03Н18К9М5Т $\sigma_В \approx 2000$ МПа;

$\delta \sim 10 - 13$ %;

KCU $\sim$ 0,5 МДж/м^2, KCV $\sim$ 0,3 МДж/м^2, KCT $\sim$ 0,2 МДж/м^2 (!)

$K_{1c} \approx 100 - 150$ МПа$\sqrt{м}$

- углерода очень мало (может и не быть 00 – супер очистка от углерода);
- очень много Ni;
- много элементов упрочнителей;
- всегда ВДП (никто не пишет)

Итоги: мартенсито-стареющие стали:

а) при очень высокой прочности исключительно надёжны; не чувствительны к концентраторам; не имеют хладноломкости;

б) исключительно технологичны: хорошо обрабатываются механически; закаливаются на воздухе; имеют неограниченную прокаливаемость (> 500 мм); не имеют коробления и не изменяют размеры;

в) исключительно дорогие (как Ti сплавы);

г) применяются <u>для силовых высокоточных тяжелонагруженных изделий сложной формы и ответственного назначения</u> (спецболты для космонавтики, корпуса подводных лодок, гребные винты подводных лодок, сосуды для сжиженных газов).

§ 3.4. Стали для <u>циклического нагружения</u> и методы их обработки

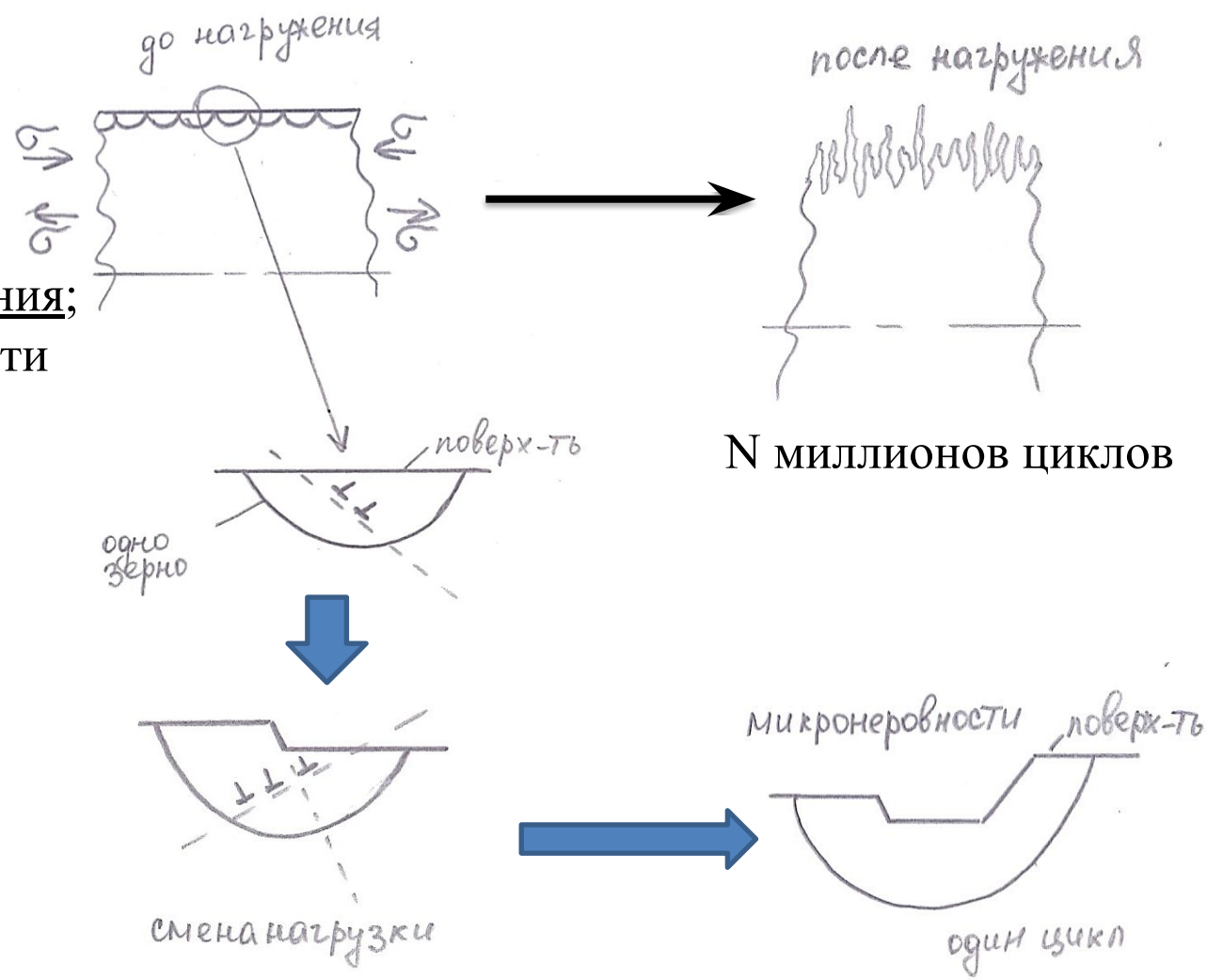
Анализ явления усталости (более детальный)

1. Особенности работы детали при циклическом нагружении

 появление трещины

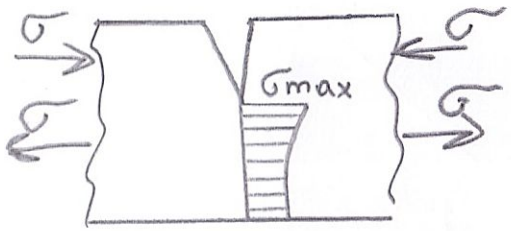
- при циклическом нагружении детали дислокации «скользят» <u>в сторону поверхности в разных системах скольжения</u>; в результате на поверхности формируются микронеровности, самые глубокие из которых становятся зародышами трещин.

- чтобы трещины не возникали, необходимо «заблокировать» все дислокации, т.е. материал <u>должен быть прочным</u>.



- распространение трещин

- чтобы трещина не распространялась, <u>материал должен быть пластичным</u>; тогда в вершине трещины пройдёт ПД, трещина затупится и дальше не пойдёт



$$\sigma_{max} \sim 2\sigma_{\text{сред}}\sqrt{\frac{l}{r}}$$

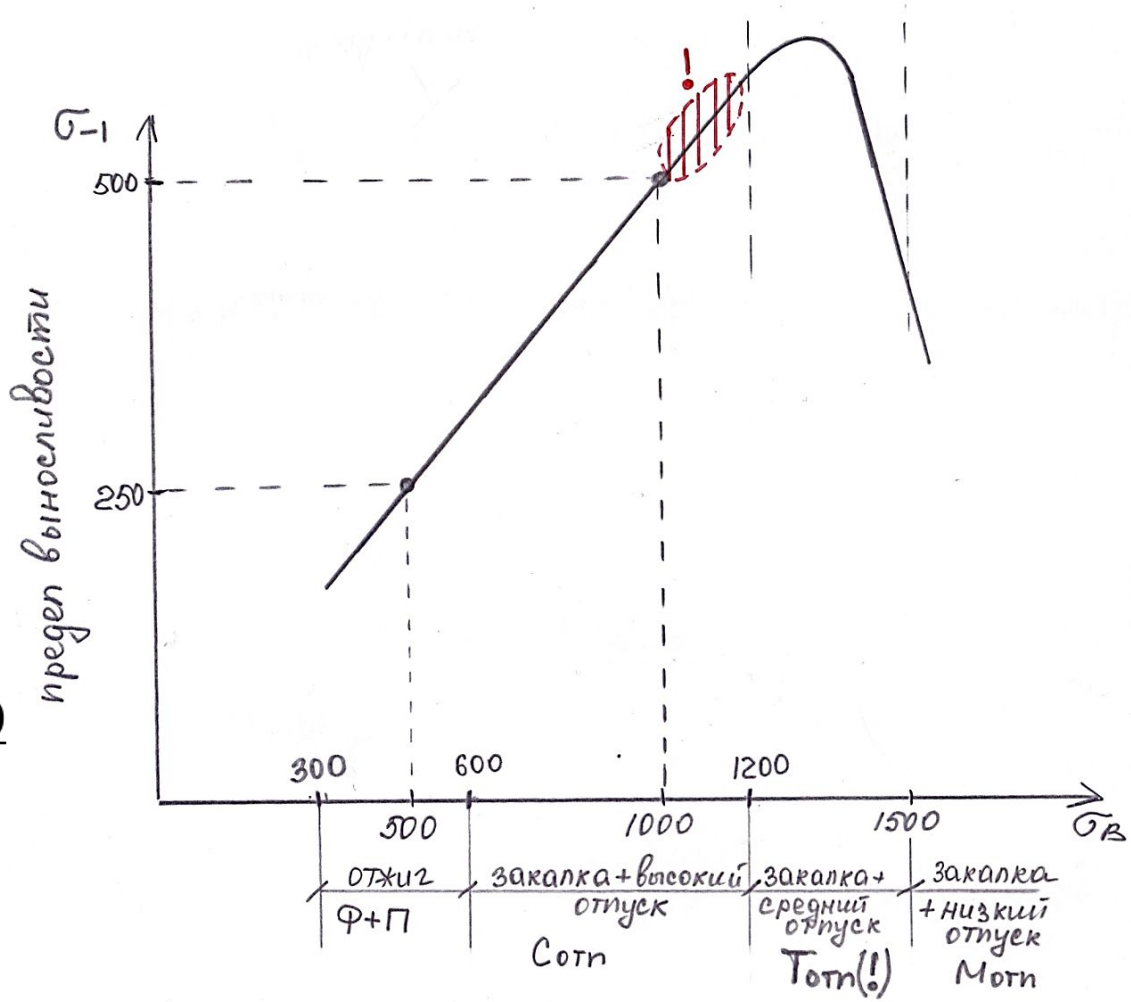
Парадокс № 2:
Материал выносливость к циклическому нагружению тогда, когда он <u>одновременно и прочен и пластичен</u> !

Найдутся ли такие материалы ? - Конечно, найдутся.

2. Требования к структуре и свойствам сталей для циклического нагружения

Итоги:

- максимальную выносливость стали имеют при σ_B= 1200-1500 МПа и структуре $T_{отп}$, однако такую структуру можно использовать только для пружин, где min ударные нагрузки;
- для циклического нагружения нельзя использовать стали с σ_B> 1500 МПа со струтурой $M_{отп}$, т.к. малейшая трещина будет легко распространяться;
- для деталей машин,



работающих при циклических нагрузках целесообразно применять стали после улучшения ($C_{отп}$), особенно хорошо – стали при прочности σ_B= 1000-1200 МПа

3. Используемые стали и методы их обработки

- типичные детали: валы, оси и др. (циклические+ударные нагрузки);
- типичные стали: улучшаемые

углеродистые
30,35,40,45
(«-»: закалка в воде – коробление; маленькая прокаливаемость)

легированные
40Х (до 25 мм)
40ХН (до 40 мм)
40ХН2МА (до 100 мм+без отпускной обратимой хрупкости (есть Mo))

→ типичная Т.О.: улучшение (закалка [$A_{c_3} + 30 - 50$°C, вода или масло] + высокий отпуск 500-600 °C)

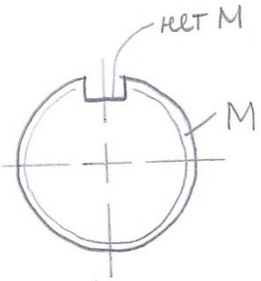
→ структура: $C_{отп}$;

→ $\sigma_{-1} \approx 0{,}5 \cdot \sigma_B$

→ для повешения долговечности необходимо <u>затруднить зарождение трещин</u> !

→ дополнительные меры:
- убрать лишние концентраторы;
- при механической обработке сделать min шероховатость;
- дополнительно упрочнить поверхность;
- на поверхности создать остаточные напряжения сжатия.

как сделать сразу?

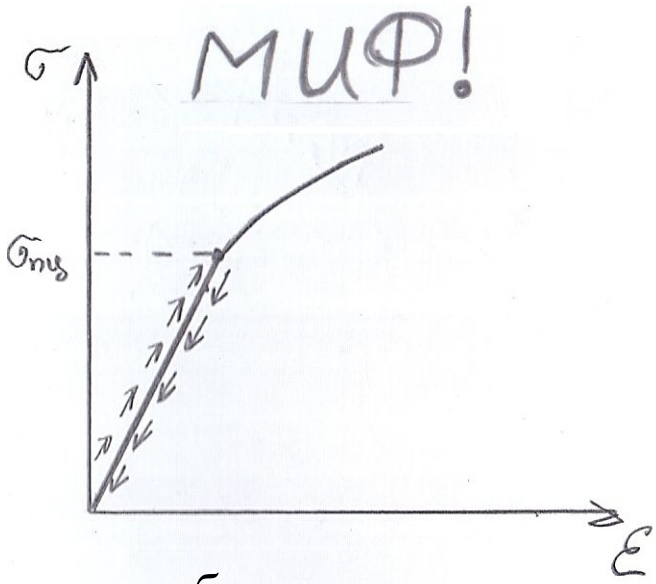
метод	результат	примечание
закалка ТВЧ		ограничение: валы со сложной геометрией 
поверхностная пластическая деформация (ППД): - обдувка дробью; - обкатка роликами		
ТВЧ+ППД		
азотирование		самые ответственные и сложные детали

<u>Итог</u>: такая дополнительная обработка увеличивает цену, однако долговечность возрастает в 1,5-2 (иногда в 3) раза, такая обработка «как бы нейтрализует вред от концентраторов».

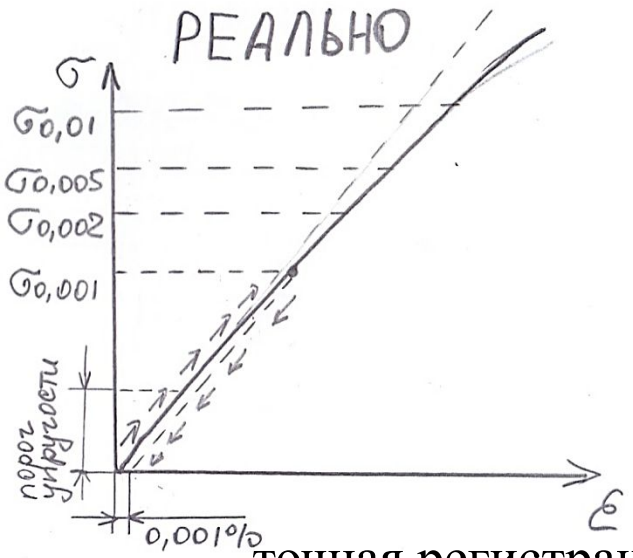
§ 4. Конструкционные материалы с высокими упругими свойствами (пружинные материалы)

§ 4.1. Требования к структуре и свойствам пружинных материалов

- Пружина должна восстановить форму и размеры после нагружения и разгрузки



грубая регистрация
(десятые доли процента)

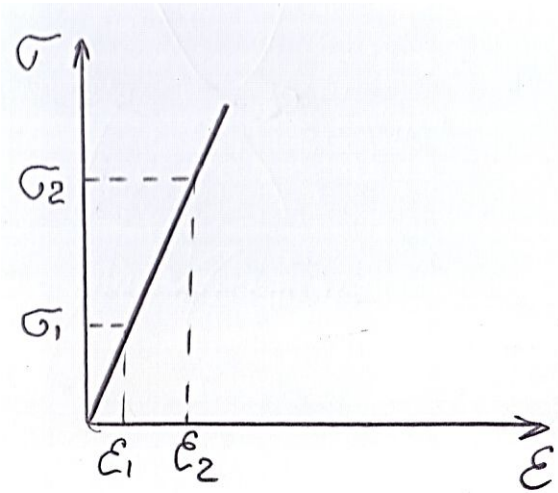


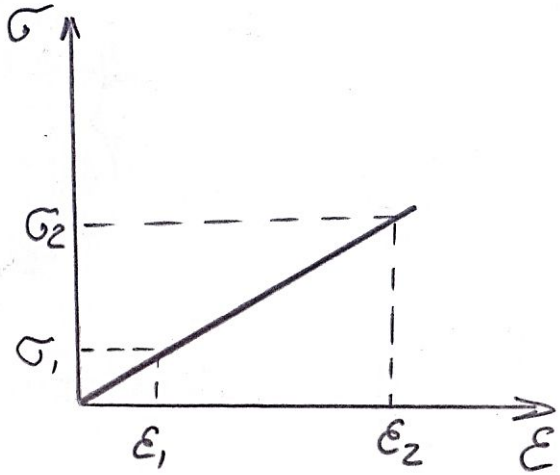
точная регистрация
(тысячные доли процента)

$\sigma_{0,01}$, $\sigma_{0,005}$, $\sigma_{0,002}$, $\sigma_{0,001}$ - условные пределы упругости с допуском на остаточную деформацию.

Пружина может восстановить форму и размеры <u>только в пределах заранее оговорённого допуска на остаточную деформацию.</u>

 Пружина должна обеспечивать определённую деформацию при определённых нагрузках





при большой разнице в нагрузках должна быть небольшая разница в деформациях

силовые пружины

высокий E

при небольшой разнице в нагрузках должна быть ощутимая разница в деформациях

измерительные пружины (для УЧЭ – упруго-чувствительных элементов)

низкий E

→ большинство силовых пружин должны работать при циклическом нагружении

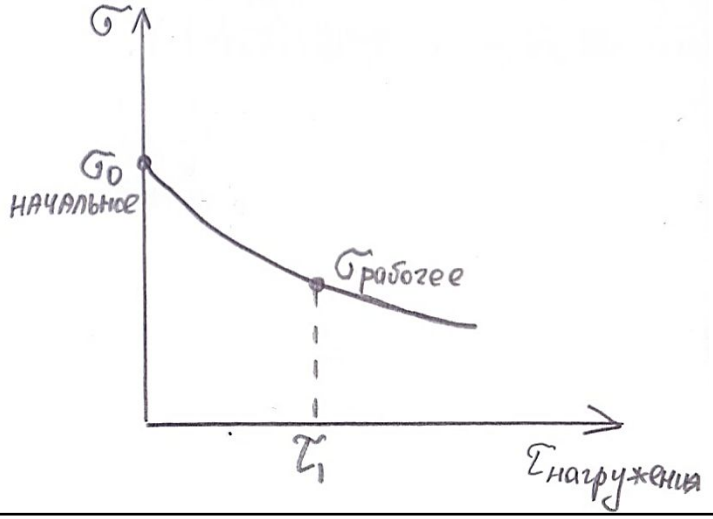
$$\sigma_{\text{раб}} < \begin{cases} \sigma_R \\ \sigma_R{}^N \end{cases}$$

 при работе пружин необходимо предельно уменьшить все неупругие дефекты

Релаксация напряжений (Р.Н.) –

$$\text{Р.Н.}_{\tau_1} = \frac{\sigma_0 - \sigma_{\text{раб}}}{\sigma_0} * 100\ \%$$

определяет просаживаемость пружины



<u>Итоги:</u>

пружинные материалы		
силовые пружины (рессоры, подвески, амортизаторы)		измерительные пружины (для УЧЭ – датчики и др.)
высокий	модуль упругости Е	низкий
просаживаемость до 5-10 %	Р.Н.	просаживаемость < 5 % (реально 2 %)
иногда: коррозионная стойкость, теплостойкость	дополнительные требования	всегда коррозионная стойкость; как правило: немагнитность, электропроводность

Для упругой деформации пружины необходимо при нагружении исключить любые перемещения дефектов (!), поэтому главное требование к структуре любого пружинного материала – максимальное закрепление дефектов.

Как закрепить ? - Смотря какой материал.

§ 4.2. Пружинные материалы общего назначения

т.е., материалы для силовых пружин.

E – высокий □ материалы – стали (E = 210 000 МПа)

типичные стали:

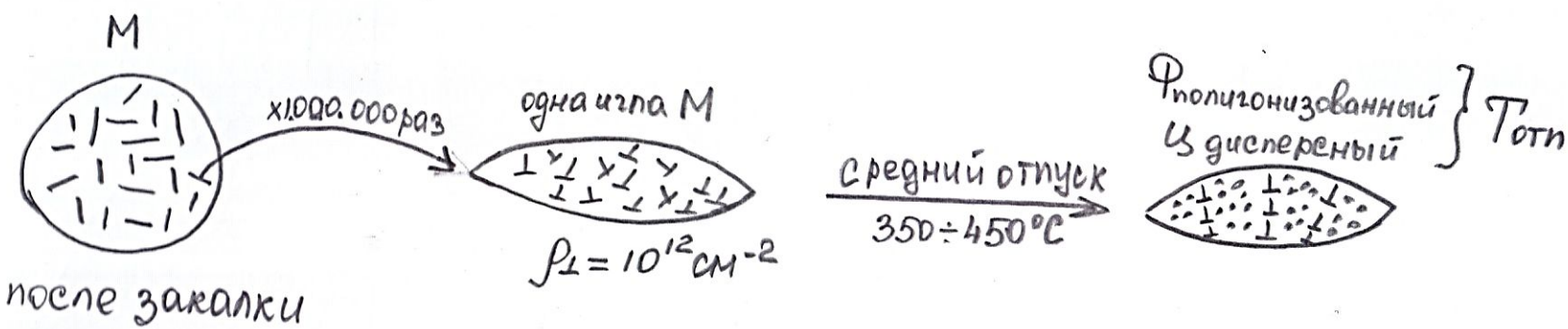
- повышенное количество углерода;
- очень небольшое легирование;
- нет Ni

углеродистые (прокаливаемость до 10-12 мм)
60, 65, 70, 60Г, 65Г, 70Г,...

легированные
60С2 (до 18 мм),
60С2ХА, 50ХФА, 55СГФ (до 50-80 мм)

типичная Т.О.: навивка пружины + закалка (A_{c3} + 30 – 50 °С, вода или масло, в специальном приспособлении) + средний отпуск (350 - 450 °С)

структура: $T_{отп}$



преимущества $T_{отп}$: - двойная блокировка дефектов;

- самая большая выносливость к циклическим нагрузкам (для стали 60 $\sigma_{0,01} \cong 600$ МПа; для стали 60С2ХА $\sigma_{0,01} \cong 900 \div 1100$ МПа [для рессор ж/д вагонов])

дополнительные меры упрочнения: - обдувка дробью (повышает выносливость);

- заневоливание (небольшой перегруз при нагреве; слабо закреплённые дефекты могут встать в необходимое место).

§ 4.3. Пружинные материалы специального назначения

т.е. материалы для пружин УЧЭ

низкий E
коррозионная стойкость
электропроводность
немагнитность

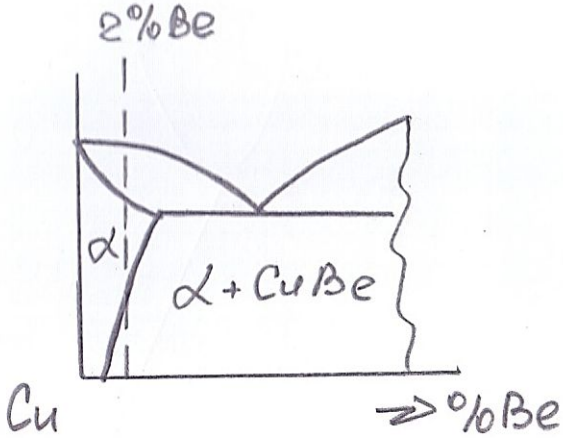
} Медные сплавы ($E_{Cu} \cong 125000$ МПа)
два варианта блокировки дефектов

1-ый вариант латуни Cu+Zn бронзы Cu+Sn, Cu+Si

твёрдые растворы замещения (σ_B низкая, а δ высокая) → сильная деформация (50-70 %) + дорекристаллизационный отжиг (250 - 280 °C)

$$\sigma_{0,005} \cong 600 \text{ МПа}$$

2-ой вариант бериллиевые бронзы Cu+Be

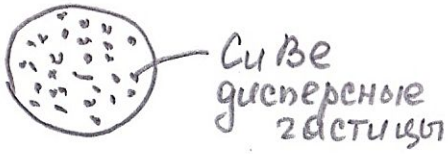


а) изготовление пружины → закалка (770 °C, вода) + старение (320 °C, 4-6 часов)

$$\sigma_{0,002} \cong 600 \text{ МПа}$$

б) закалка (770 °C, вода) + деформация (~30 %) + старение (320 °C, 4-6 часов)

$$\sigma_{0,002} \cong 800 \div 900 \text{ МПа}$$



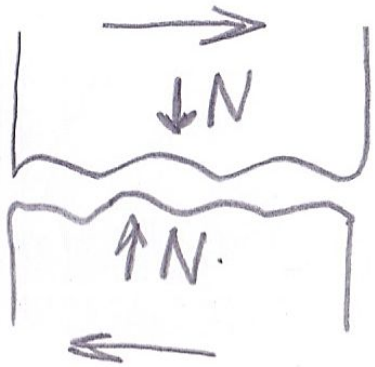
III глава «Износостойкие материалы»

~ 80 % всех выходов из строя деталей – в узлах трения из-за износа.

§ 1. Работа металла в зоне трения и пути повышения износостойкости

«зона трения» - трущиеся поверхности деталей контактируют по микронеровностям; в зоне терния:

- большие контактные давления;
- деформация на сдвиг;
- локальный разогрев в микрообъёмах до $t_{\text{плавл}}$;
- зажимание смазки в микрообъёмах;
- отдельные ситуации: пыль, вакуум, коррозия, циклические нагружения, удар и др.



$$F_{\text{тр}} = N \cdot f_{\text{тр}}$$

При выборе материала для пары трения необходимо определить преобладающий процесс:

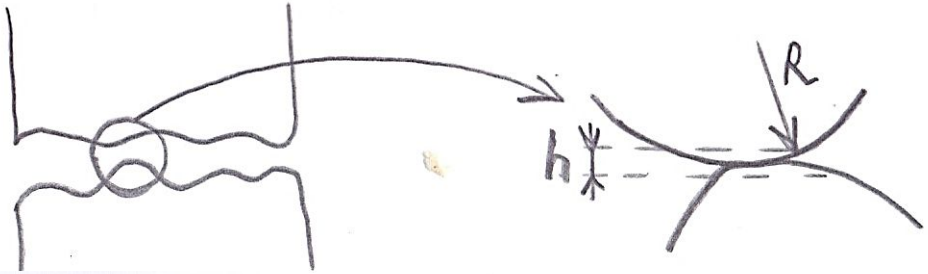
А) механическое изнашивание (деформация микронеровностей, которые входят в зацепление);

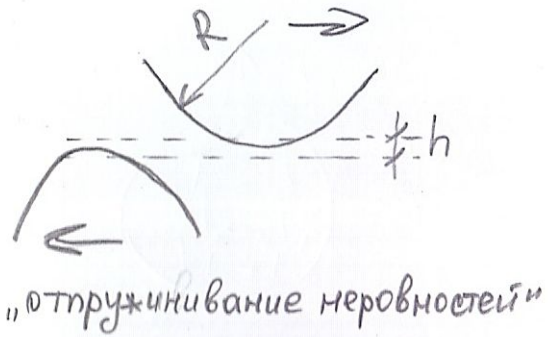
Б) молекулярно-механическое изнашивание (адгезия (или схватывание, «как бы сварка» трущихся поверхностей)

А. механическое изнашивание

R – радиус микронеровности;

h – зацепление микронеровностей;



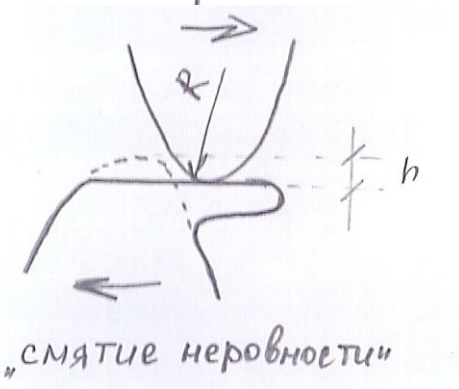


R – большое; h – мало;

в зоне контакта

<u>упругая деформация</u> □

износа нет



R – меньше; h – больше;

в зоне контакта – <u>ПД</u>,

т.е. наклёп □

выкрашивание

R – маленькое; h – большое;

в зоне контакта –

<u>микрорезание</u> (абразивными частицами) □

катастрофический износ

<u>Итоги</u>: если в зоне трения преобладает механическое изнашивание, то:

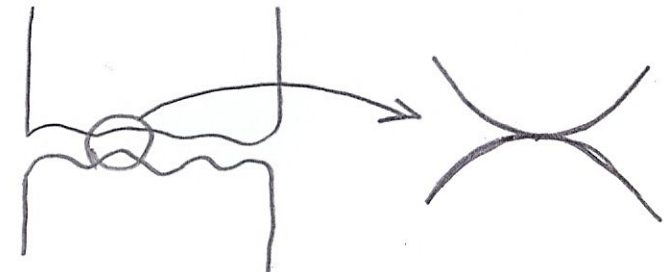
1) металл сопротивляется деформации микронеровностей, что даёт коэффициент трения деформационной природы $f_{тр(дефор)}$;

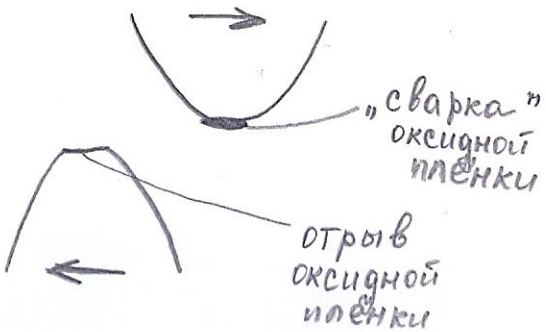
2) <u>интенсивность изнашивания</u> пропорциональна соотношению h/R, следовательно она <u>прямо зависит от шероховатости</u>;

3) чтобы противостоять механическому изнашиванию, необходимо сделать:

- предельно уменьшить шероховатость;
- создать на поверхности высокую твёрдость, <u>способную сохраняться при нагреве</u> (карбиды, нитриды,...).

<u>Б. Молекулярно-механическое изнашивание</u>





схватывание и вырывание фрагментов оксидной плёнки □ износ небольшой;
называется процесс «окислительное изнашивание»

схватывание чистых, т.е. ювенильных (нет оксидной плёнки) поверхностей и вырывание значительных микрообъёмов <u>менее прочного металла</u> □ катастрофический износ
называется процесс «схватывание» (или заедание, задир, нарост)