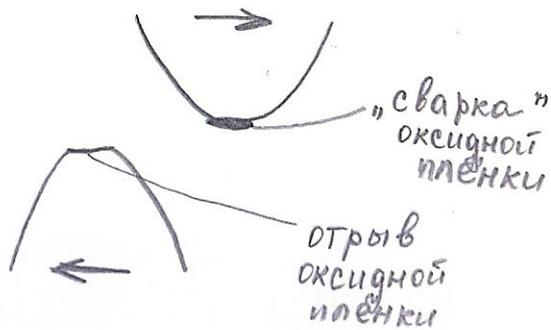


3) чтобы противостоять механическому изнашиванию, необходимо сделать:

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

Б. Молекулярно-механическое изнашивание



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 менее прочного металла □
катастрофический износ называется процесс «схватывание» (или заедание, задир, нарост)

Итоги: если в зоне трения преобладает молекулярно-механическое изнашивание, то:

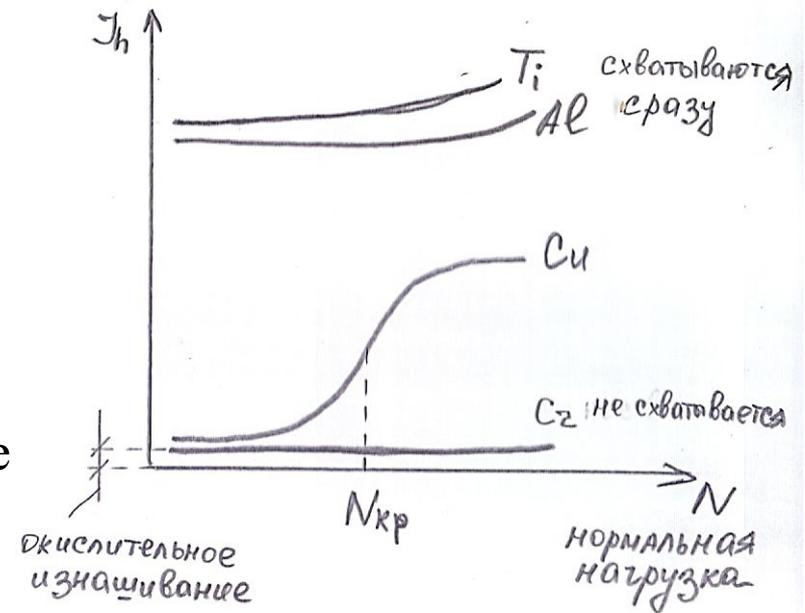
- 1) металл сопротивляется отрыву микронеровностей, что создаёт коэффициент трения адгезионной природы $f_{\text{тр(адгез)}}$;
- 2) склонность к схватыванию – это индивидуальное качество металла (!);

Примечания:

- из Ti НИКОГДА не будут делать узлы трения;
- стали бывают как схватываемые, так и нет.

Склонность к схватыванию усиливается:

- при контакте двух растворимых друг в друге металлов;
- при медленном смещении трущихся поверхностей;
- при нагреве;
- в вакууме.



Чтобы противостоять схватыванию необходимо:

- разделить трущиеся поверхности смазкой (жидкие – масла; твёрдые – дисульфид молибдена MoS_2);
- правильно подобрать пару трения:
 - нерастворимые друг в друге металлы;
 - твёрдое+твёрдое– ОПАСНО ! твёрдое[сталь/чугун]+мягкое[Cu сплавы]
- ОТЛИЧНО !
- сделать твёрже твёрдую деталь (ТВЧ, закалка лазером);
- изменить химический состав поверхности детали (цементация, азотирование, борирование);
- применение материалов, которые вообще не схватываются с металлом:

корунд (Al_2O_3)	керамика	пластмасса
рубин	сложные узлы	в вакууме
подшипники в зуб/кол часов		

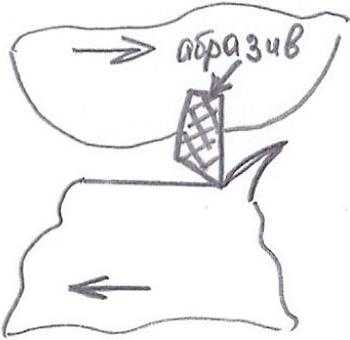
ПРИМЕЧАНИЕ: Реально в зоне трения (согласно трибологии)

$$f_{\text{тр}} = f_{\text{тр(дефор)}} + f_{\text{тр(адгез)}}$$

§ 2. Износостойкие материалы

Существуют ли износостойкие материалы? - НЕТ ! Их вообще не существует.
Существуют материалы, устойчивые к износу в конкретных условиях эксплуатации.

А. Материалы, устойчивые против абразивного изнашивания



механический износ
микрорезание

Металл сопротивляется микрорезанию, если твёрдость детали $> 0,5-0,7$ *твёрдость абразива

Абразивы: SiO_2 (песчинка) – (1000) НВ;
 Al_2O_3 (корунд) – (2000) НВ

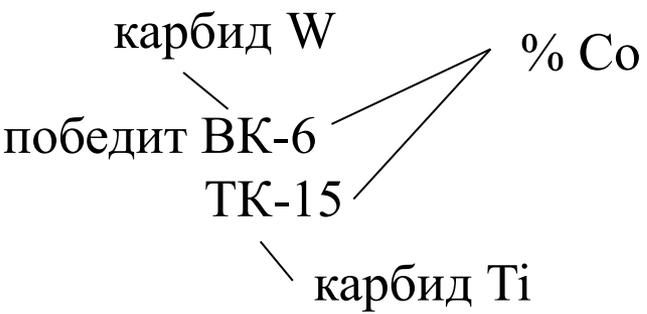
Материалы должны обладать особо высокой твёрдостью, т.е. содержать в себе очень твёрдые компоненты, иначе, если материал будет полностью супертвёрдым
□ он будет суперхрупким.

C (алмаз) – (15000) НВ;	W_2C – (2100) НВ;
BN – (6000) НВ;	Mo_2C – (1500) НВ;
SiC – (3700) НВ;	TiN – (2000) НВ.
TiC – (2900) НВ;	

□ твёрдые сплавы (порошковая металлургия)

карбидные частицы (80-95 % от объёма)
+ связка – Co (5-20 %)

} смешивание порошков □ прессование в брикет □ спекание



для особо тяжёлых работ (вставки победита в режущий и буровой инструмент)
 $t_{\text{раб}}$ до 800 °C

□ быстрорежущие стали (выплавка) – обозначение марки «P+цифра (% W)»

P18
P6M5
5 % Mo

} ~ 0,9 % C + V, Cr

Т.О.: закалка (1250 °C, воздух) + 3-х кратный отпуск (560 °C)

структура: М + карбиды WC, Mo₂C (10-25 %)
твёрдость: 64-67 HRC (max, что может быть у сталей)
 $t_{\text{раб}}$ до 600 °C

Вывод: против абразивного изнашивания могут устоять материалы особо высокой твёрдости, у которых твёрдость сохраняется при сильном разогреве благодаря большому количеству карбидных частиц.

Б. Материалы, устойчивые против ударно-абразивного изнашивания

должны быть и вязкими и твёрдыми

1900 г. – создание сталей Гадфильда

110Г13Л — отливка

1,1 % С 13 % Mn

ж/д стрелки, гусеницы
танков, ковши
экскаваторов; отбойные
молотки (перформаторы)

А класса; HB~200

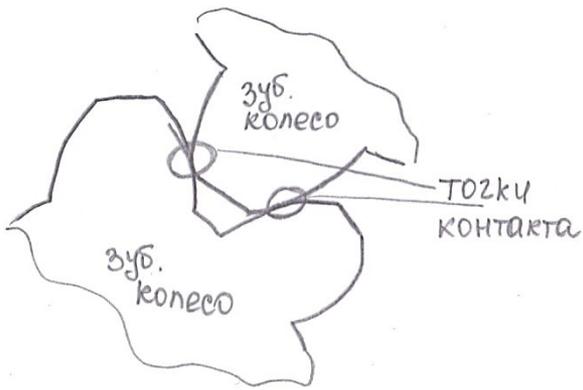
«революция» - при ударных нагрузках поверхность
наклёпывается до 500-600 HB, а сердцевина остаётся
вязкой; чем дольше работает материал, тем он
износоустойчивее;
недостаток – очень сильное схватывание (получают
только литьём)

В. Материалы, устойчивые против усталостного изнашивания

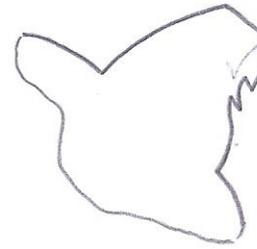
Процесс усталостного изнашивания (зуб. колёса, подшипники)



начало процесса:
смятие неровностей, формирование языка,
расплющивание языка и вдавливание его в
поверхность □ формирование трещины



развитие процесса:
 При прокатывании точки контакта смазка зажимается в трещине и рывком продвигает трещину



окончание процесса:
 усталостное выкрашивание (или «питтинг»)

Итог: для противостояния усталостному изнашиванию необходимо затруднить смятие неровностей, т.е. создать на поверхности высокую твёрдость.

□ подшипники

- трение качения □ нет нагрева;
- нет удара (min);
- небольшие размеры;
- ответственное изделие;
- массовое производство

в структуре М
 немного Л.Э.;
 плавка почище (ЭШП);
 важна стоимость

Т.О.:
 сфероидизирующий отжиг (на Пзерн) + первичная мех. обработка + неполная закалка (830 °С, масло) + обработка холодом + низкий отпуск (160-180 °С)

маркировка: «Ш (шарикоподшипниковая сталь (~1 % C)) + X (% Cr)

ШХ15 ($d_{\text{шар}} \leq 23 \text{ мм}$; $h_{\text{стенки}} \text{ до } 50 \text{ мм}$)

ШХ15СГ ($d_{\text{шар}} \leq 15 \text{ мм}$; $h_{\text{стенки}} \text{ до } 30 \text{ мм}$)

1,5% Cr Si + Mn

структура: Мотп + карбиды
 твёрдость HRC ~ 60-64

□ зубчатые колёса

- трение скольжения □ разогрев;
- удар

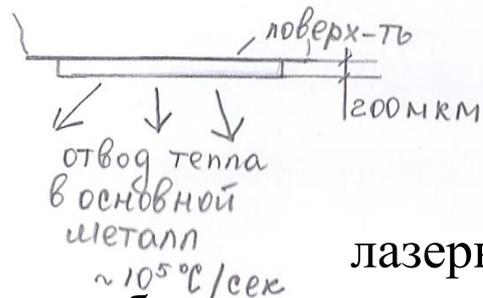
} сердцевина – вязкая; поверхность – твёрдая.
Х.Т.О.

слои $\geq 0,8$ мм – цементация + упрочняющая Т.О. (20, 20Х, 18ХГМ);

слои 0,3-0,5 мм – азотирование (38Х2МЮА)

§ 3. Пути дополнительного повышения износостойкости

лазерная обработка поверхности (на абсолютно полностью готовых деталях)

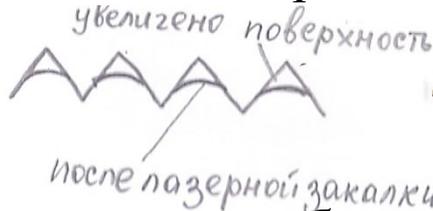


лазерная закалка

- особо мелкокристаллический мартенсит;

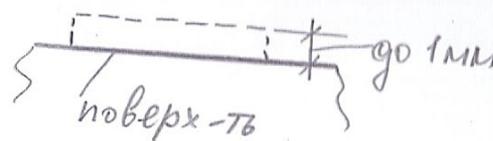
- очень высокая твёрдость;

- уменьшение шероховатости;



- длительность работы детали возрастает в 6-11 раз;

- работа без разогрева



присадка (паста, обмазка)
дисперсные частицы SiC,
NbC, TiC, Si, B, C, ...

лазерное легирование

□ Наплавка – проплавляется только наплавка;

□ лазерное легирование – проплавляется и присадка и немного подложки:

- супертвёрдость HV~1500-2000;

- время обработки – секунды (!);

- любая геометрия;

- можно восстановить изношенную часть детали (!!!)

§ 4. Антифрикционные материалы (А.Ф.М.)

На шариковые (роликовые) подшипники нельзя устанавливать:

- валы электродвигателей с большими скоростями (из-за вибрации);
- крупногабаритные валы турбин (из-за биения);
- оси ж/д вагонов (из-за абразивного изнашивания)

А.Ф.М. предназначены для изготовления опор (или подшипников скольжения) для данных валов.

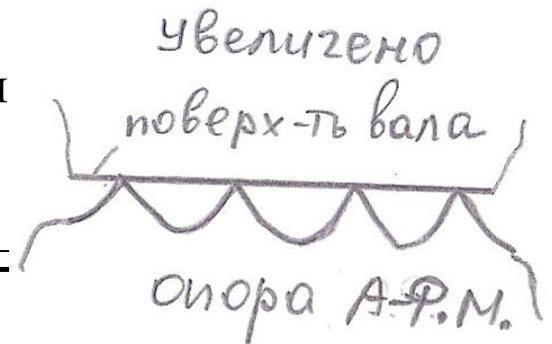
требование к А.Ф.М.: → тах защита вала от износа;

от А.Ф.М. необходимо:

→ $\min f_{\text{тр}}$ по валу (\min площадь контакта, лёгкая подача смазки, быстрое удаление продуктов износа)

особый микрорельеф поверхности

- высокая износостойкость (НВ – тах);
- лёгкая прирабатываемость к поверхности вала (НВ – \min);
- отсутствие схватывания со сталью (Cu, Sn и Pb).



«плавающая» опора

А.Ф.М. всегда состоят из разнородных (твёрдое+мягкое) фаз.

Выбор А.Ф.М.: по $f_{\text{тр}}$ и $P \cdot V$ – удельная мощность трения (P – давление на опору, Па; V – скорость вращения, м/сек)

А.Ф.М.

«мягкая матрица+твёрдые включения»
матрица на основе Sn и Sb

баббиты

Б88 (Sn + 88 % Sn + 8 % Sb + 3 % Cu
+ 1 % Co)

$f_{\text{тр}} \sim 0,005$; $P \cdot V \sim 750 \cdot 10^5$ Па;

для валов турбин

БКА (Pb + 1 % Ca + 1 % Na + 0,3 % Al)

$f_{\text{тр}} \sim 0,005$; $P \cdot V \sim 60 \cdot 10^5$ Па;

используется в виде вкладышей в
кольцах подшипников ж/д колёс;
пополняется методом заливки.

«твёрдая матрица+мягкие
включения»

Cu + 30 % Pb (нерастворимы
друг в друге)

БрС30

$f_{\text{тр}} \sim 0,008$; $P \cdot V \sim 300 \cdot 10^5$ Па;

для валов электродвигателей

Группа	Дата экзамена	Время экзамена	Аудитория экзамена	Дата консультации	Время консультации	Аудитория консультации
СМ 2-51	15 января (понед)	9-00	505м	13 января (суб)	14-00	Каф. МТ-8 ГУК
СМ 8-51	16 января (втор)	9-00	405м	15 января (понед)	14-00	Каф. МТ-8 ГУК
СМ 8-59	19 января (пятн)	14-00	612м	17 января (среда)	14-00	Каф. МТ-8 ГУК
СМ 8-52	22 января (понед)	9-00	507м	20 января (суб)	14-00	Каф. МТ-8 ГУК