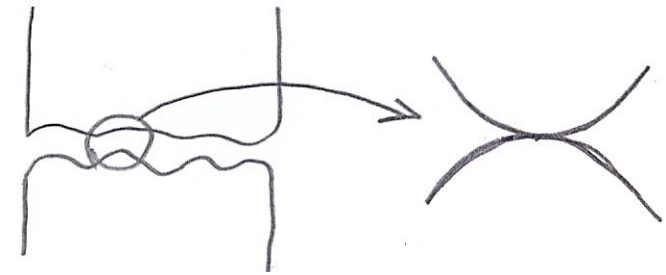
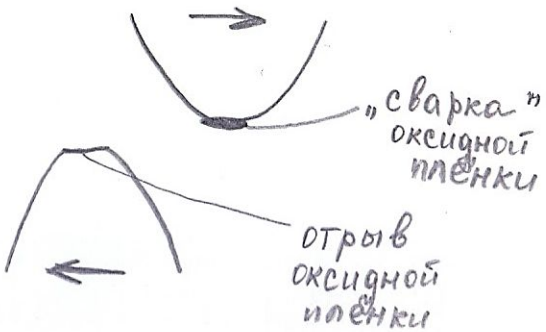
3) чтобы противостоять механическому изнашиванию, необходимо сделать:

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

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





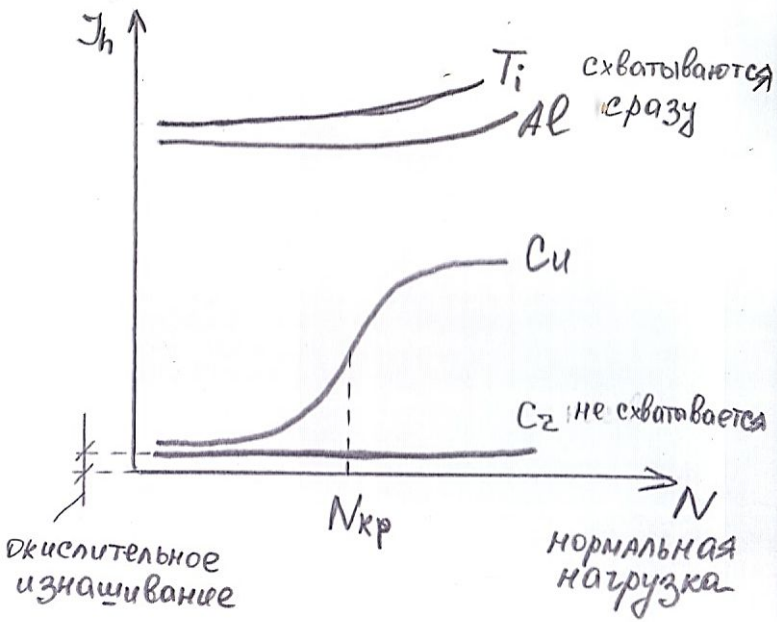
схватывание и вырывание фрагментов оксидной плёнки □ износ небольшой;
называется процесс «окислительное изнашивание»

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)

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

1) металл сопротивляется отрыву микронеровностей, что создаёт коэффициент трения адгезионной природы $f_{тр(адгез)}$;

2) склонность с схватыванию – это индивидуальное качество металла (!);



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

Склонность с 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

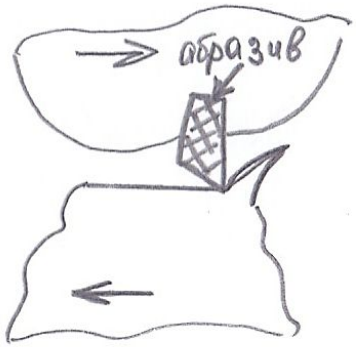
ПРИМЕЧАНИЕ: Реально в зоне трения (согласно трибологии)

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

§ 2. Износостойкие материалы

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

<u>А. Материалы, устойчивые против абразивного изнашивания</u>



механический износ
микрорезание

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

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

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) HB;
BN – (6000) HB;
SiC– (3700) HB;
TiC – (2900) HB;

W_2C – (2100) HB;
Mo_2C – (1500) HB;
TiN – (2000) HB.

 твёрдые сплавы (порошковая металлургия)

карбидные частицы (80-95 % от объёма) + связка – Co (5-20 %) } смешивание порошков прессование в брикет спекание

карбид W

победит ВК-6 — % Co

ТК-15 — % Co

карбид Ti

для особо тяжёлых работ (вставки победита в режущий и буровой инструмент)

$t_{раб}$ до 800 °C

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

P18, P6M5 } ~ 0,9 % C + V, Cr

5 % Mo

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

структура: М + карбиды WC, Mo_2C (10-25 %)

твёрдость: 64-67 HRC (max, что может быть у сталей)

$t_{раб}$ до 600 °C

<u>Вывод</u>: против абразивного изнашивания могут устоять материалы особо высокой твёрдости, у которых <u>твёрдость сохраняется при сильном разогреве</u> 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 % C 13 % Mn

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

А класса; НВ~200

«революция» - при ударных нагрузках поверхность наклёпывается до 500-600 НВ, а сердцевина остаётся вязкой; чем дольше работает материал, тем он износоустойчевее;

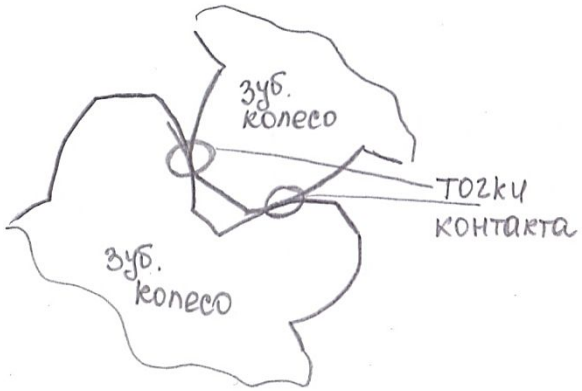
недостаток – очень сильное схватывание (получают только литьём)

В. Материалы, устойчивые против усталостного изнашивания

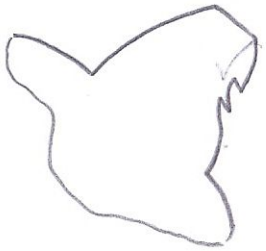
Процесс усталостного изнашивания (зуб. колёса, подшипники)

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»)

<u>Итог</u>: 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 % С)) + Х (% Cr)

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

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

1,5 % Cr Si + Mn

структура: Мотп + карбиды
твёрдость HRC ~ 60-64

 зубчатые колёса

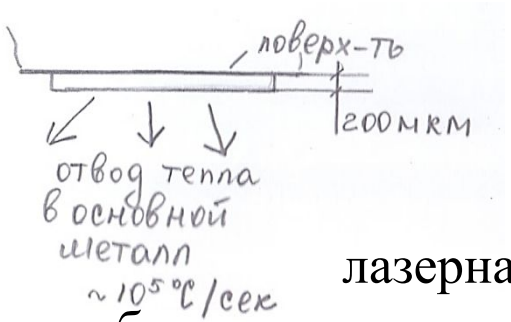
- трение скольжения разогрев;
- удар

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

слои ≥ 0,8 мм – цементация + упрочняющая Т.О. (20, 20Х, 18ХГМ);
слои 0,3-0,5 мм – азотирование (38Х2МЮА)

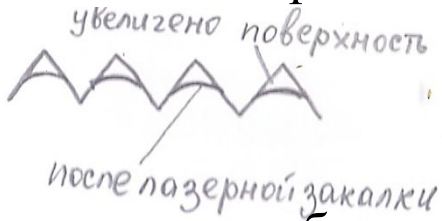
§ 3. Пути дополнительного повышения износостойкости

лазерная обработка поверхности (на абсолютно полностью готовых деталях)

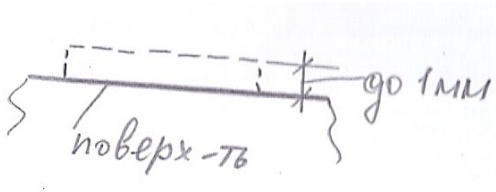


лазерная закалка

- 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)

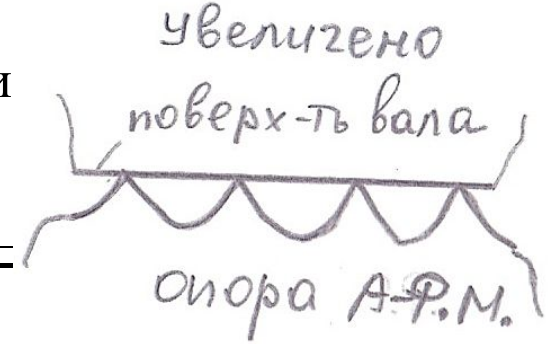
А.Ф.М. предназначены для изготовления опор (или подшипников скольжения) для данных валов.

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

от А.Ф.М. необходимо:

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

особый микрорельеф поверхности



- высокая износостойкость (<u>НВ – max</u>);
- лёгкая прирабатываемость к поверхности вала (<u>НВ – min</u>);
- отсутствие схватывания со сталью (Cu, Sn и Pb).

«плавающая» опора

А.Ф.М. всегда <u>состоят из разнородных (твёрдое+мягкое) фаз.</u>

Выбор А.Ф.М.: по $f_{тр}$ 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)
$f_{тр}$~0,005; $P \cdot V$~750· 10^5 Па;
для валов турбин
БКА (Pb + 1 % Ca + 1 % Na + 0,3 % Al)
$f_{тр}$~0,005; $P \cdot V$~60· 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
$f_{тр}$~0,008; $P \cdot V$~300· 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