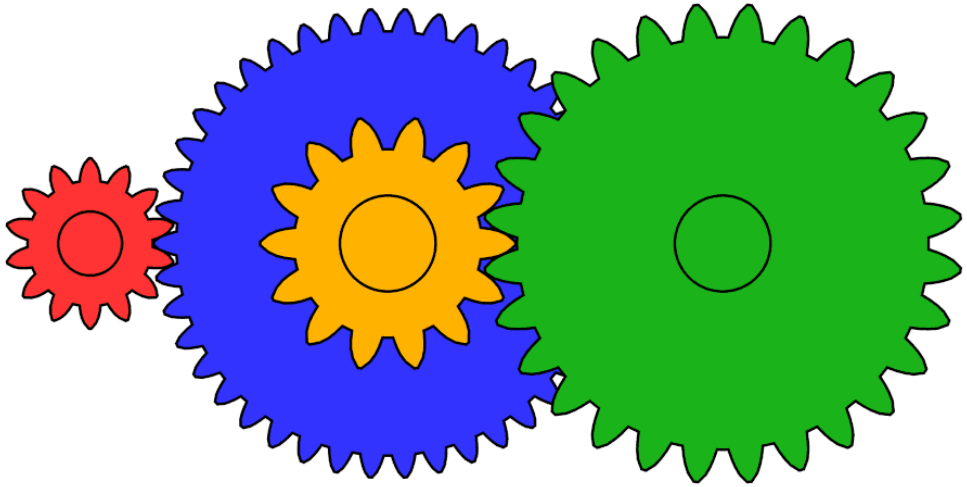
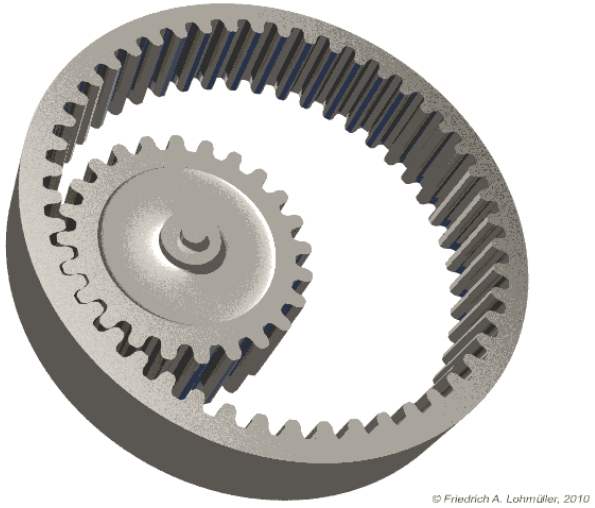
Hammaspyöriin liittyvät standardit





Juha Kekki

Hammasvaihde investointihyödykkeenä

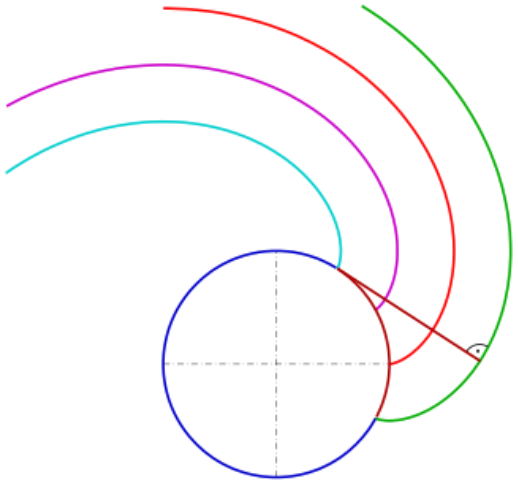
”Hammasvaihteita ostetaan, ei myydä.”

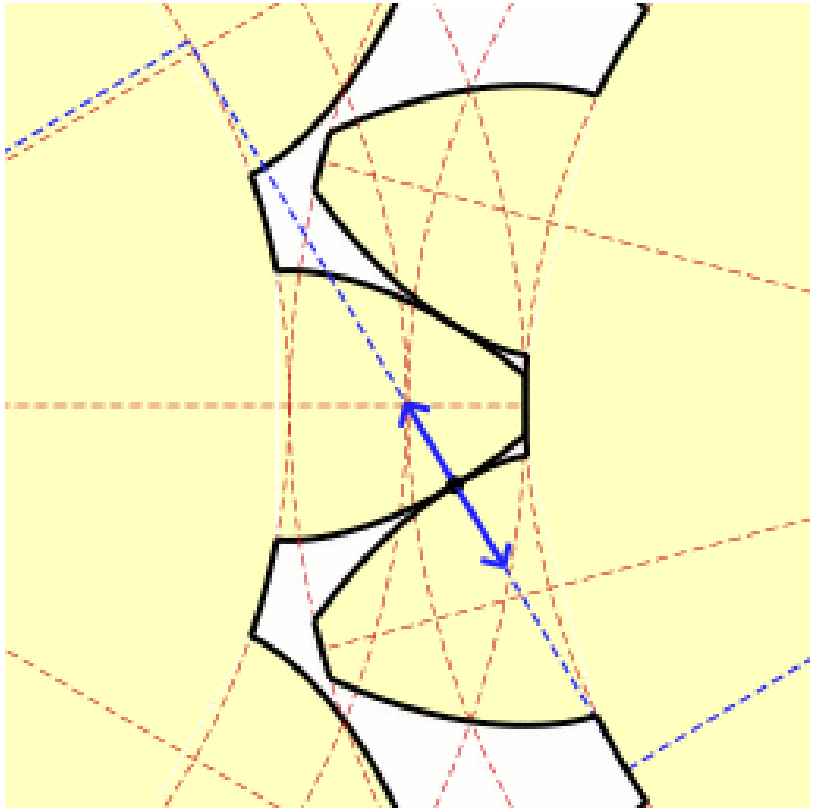
Nykyään kaikki valmistajat tekevät hammas-vaihteita käyttäen samoja standardeja, raaka-aineita, valmistus- ja lämpökäsittely-menetelmiä.

Evolventtihammastuksen periaatteita

Miksi juuri (ympyrän) evolventti hammasgeometriana?

- Helppo valmistaa ja mitata
- Tunteeton akselivälin vaihteluille
- Siirtää liikkeen tasaisesti



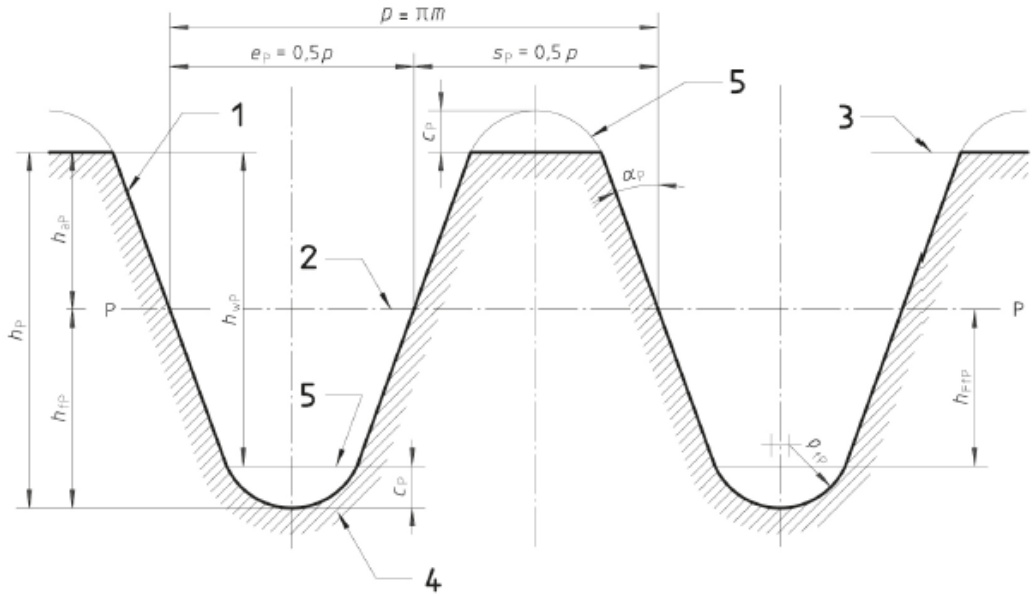


- Ympyrän evolventtikäyriä

Periaatteita ja niihin liittyviä standardeja

ISO 53:1998 - Lieriöhammaspyörät yleisiin ja raskaisiin käyttöihin tarkoitettujen hammasvaihteisiin – Perushammastangon standardoitu hammasprofiili

1. Perusprofiili
2. Jakosuora
3. Pääviiva
4. Tyviviiva
5. Vastakkainen perusprofiili



Tässä kansainvälisessä standardissa määriteltävä perusprofiili muodostaa geometrisen mallin evolventtihammaspyörien järjestelmälle niiden hamapaiden koon määrittämiseksi. Perusprofiili ei määrittele leikkuuterää, mutta leikkuuterä voidaan määritellä tämän perusprofiilin avulla vaatimuksenmukaisen profiilin valmistamiseksi.

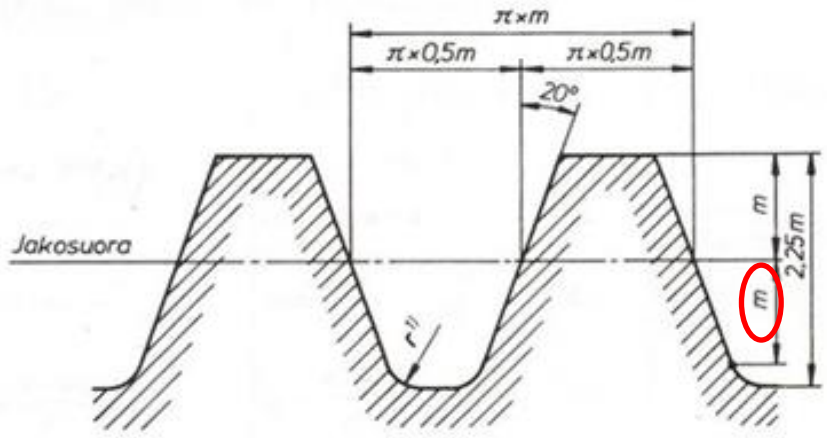
Periaatteita ja niihin liittyviä standardeja

ISO 54:1998 - Yleiseen ja raskaaseen käyttöön tarkoitettujen suora- ja vinohampaisten lieriöhammaspyörien normaalimoduulit m_n.

- Mitä suurempi moduuli, sitä suurempi hammas ja voiman siirtokyky

Sarja I	*Sarja II*
1	*1,125*
1,25	*1,375*
1,5	*1,75*
2	*2,24*
2,5	*2,75*
3	*3,5*
4	*4,5*
5	*5,5*
6	*6,5*

Sarja I	*Sarja II*
8	*7*
10	*9*
12	*11*
16	*14*
20	*18*
25	*22*
32	*28*
40	*36*
50	*45*



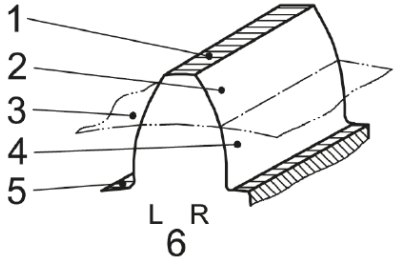
- Punaisella yleisimmin käytetyt moduulit
- Näitä ei tarvitse soveltaa ajoneuvoteollisuudessa käytettäviin hammaspyöriin.

Lieriöhammaspyörät ja –hammaspyöräparit. Käsitteet ja geometria.

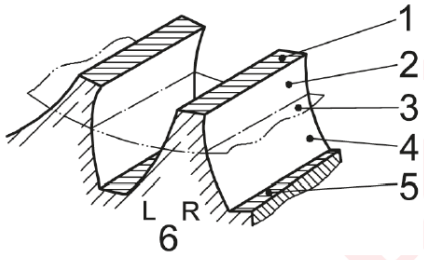
ISO 21771:2012

ISO 21771:2012 – Hammaspyörät. Lieriöhammaspyörät ja –hammaspyöräparit. Käsitteet ja geometria.

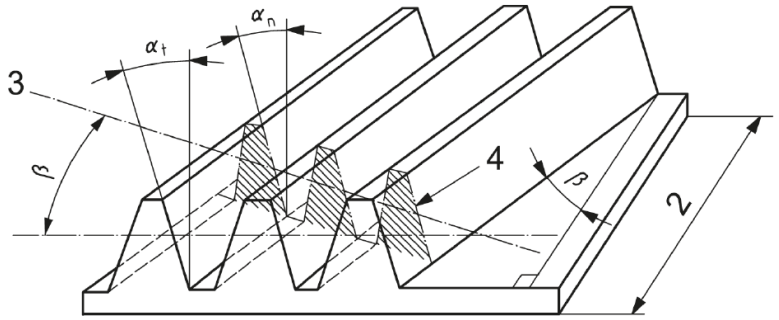
- Standardin **suomennos** on ilmestynyt 11.5.2021
- **Soveltamisala** eli lieriöhammaspyörien ja hammaspyöräparien evolventtihampaisen geometriset käsitteet ja parametrit. Tämän lisäksi siinä käsitellään hammaskylkien helpotuksia.
- **Yksittäiset lieriöhammaspyörät** eli ulko- ja sisähammasteiset lieriöpyörät ja niiden parametrit.



b) Ulkopuolinen hammas



a) Sisäpuolinen hammas



Perushammastanko

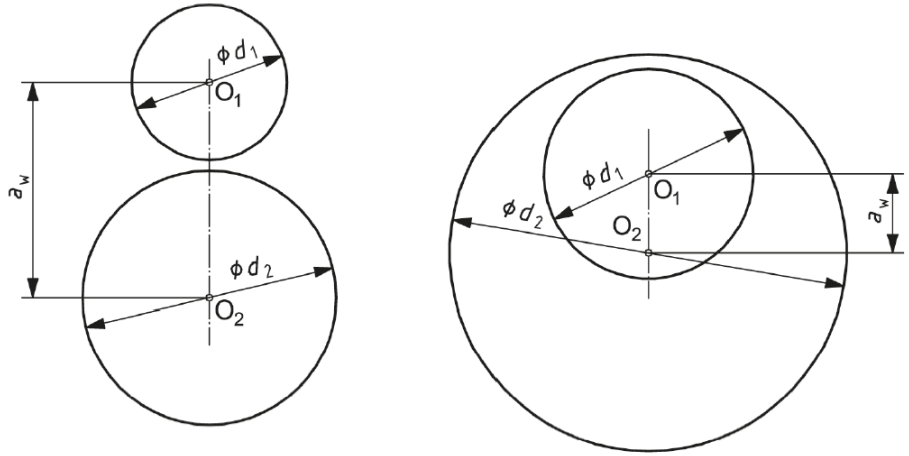
Selite

1 otsaleikkaus
2 hampaan leveys
3 normaalileikkaus
4 perusprofiili

ISO 21771:2012 – Hammaspyörät. Lieriöhammaspyörät ja –hammaspyöräparit. Käsitteet ja geometria.

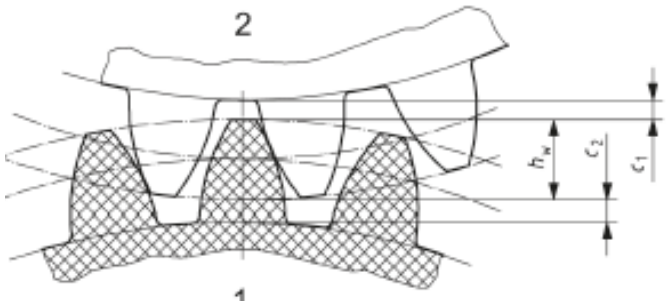
Lieriöhammaspyöräparit ja niitä koskevat käsitteet

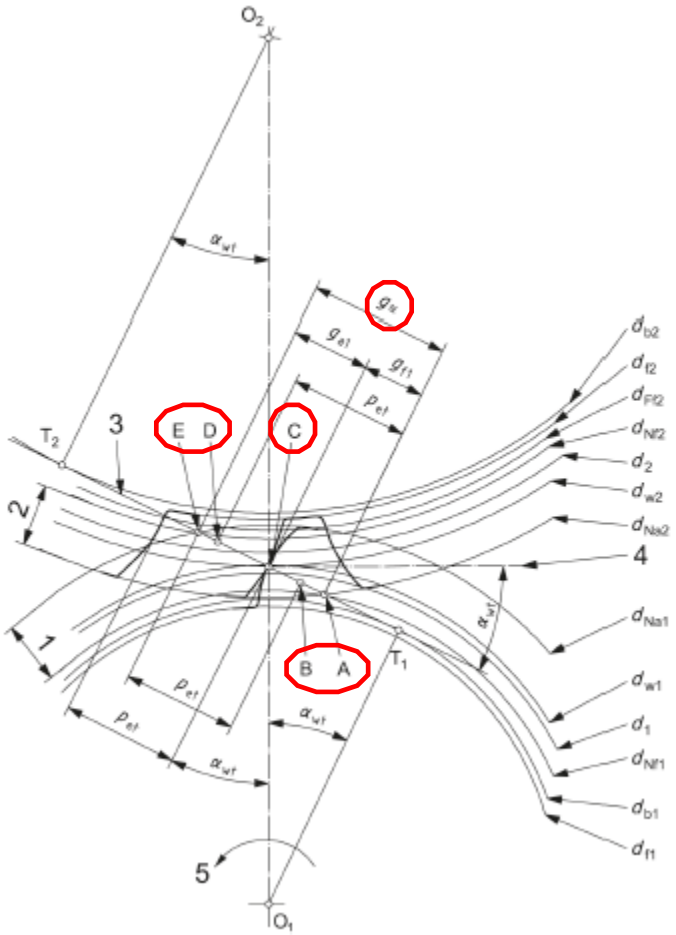
- Ulko- ja sisähammaspyöräparin akseliväli
- Vastapyörä, vastakylki – työkylki vs. vapaakylki
- Hammaskosketuksen ryntösuora g_α ja sen ryntöpisteet: ABCDE



Kuva 14 Keskiviiva, akseliväli

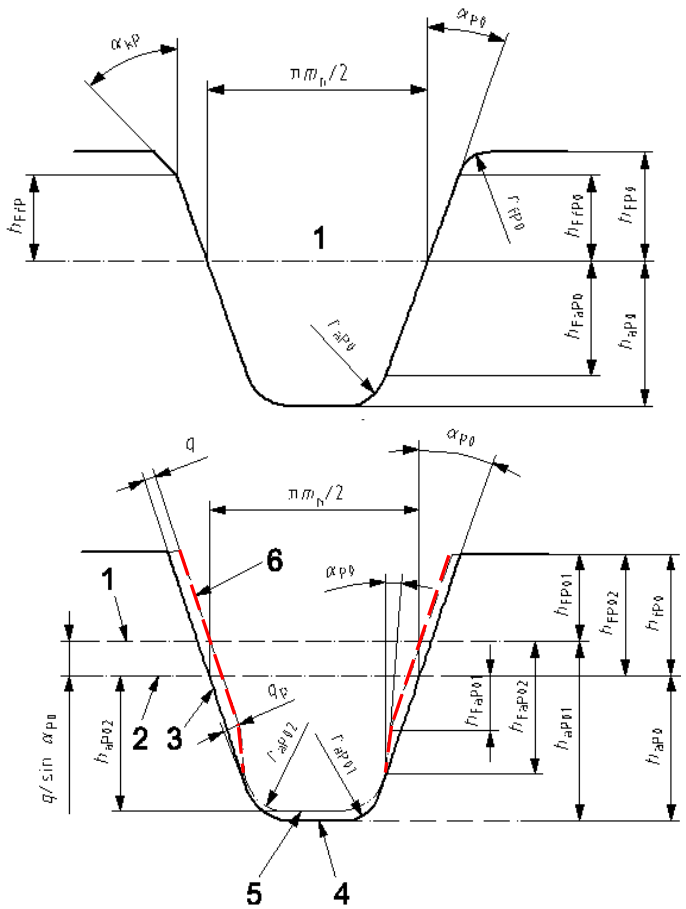
Hampaiden työ- ja vapaakylki





ISO 21771:2012 – Hammaspyörät. Lieriöhammaspyörät ja –hammaspyöräparit. Käsitteet ja geometria.

Geometriset rajat eli valmis kappale kaikkien valmistusvaiheiden jälkeen



Selite:

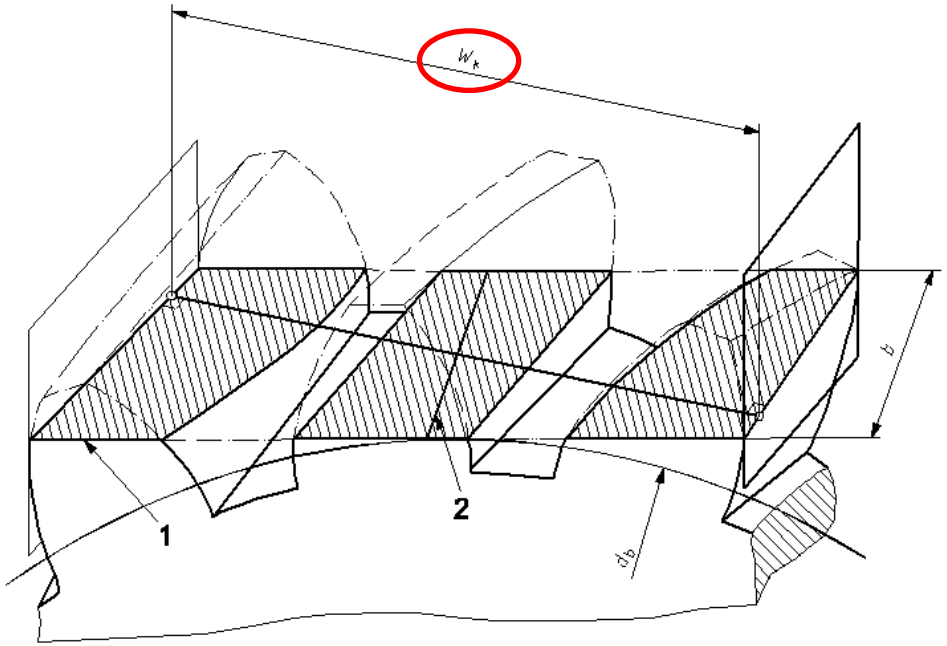
1. Rouhintatyökalun jakosuora
2. Viimeistelytyökalun jakosuora
3. Viimeistelyhammastanko
4. Rouhintatyökalun pää
5. Viimeistelytyökalun pää
6. Rouhintahammastanko

q_p Työvara eli protuberanssi

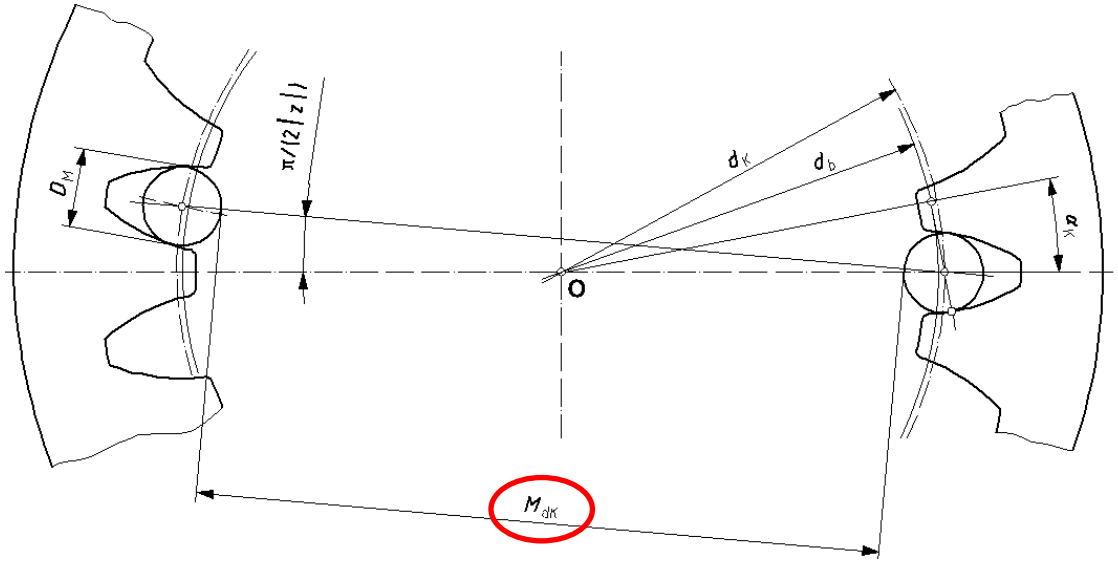
Vastahammastangon muokatut hammasprofiilit

ISO 21771:2012 – Hammaspyörät. Lieriöhammaspyörät ja –hammaspyöräparit. Käsitteet ja geometria.

Hampaan paksuuden määrittämiseen liittyvät laskelmat



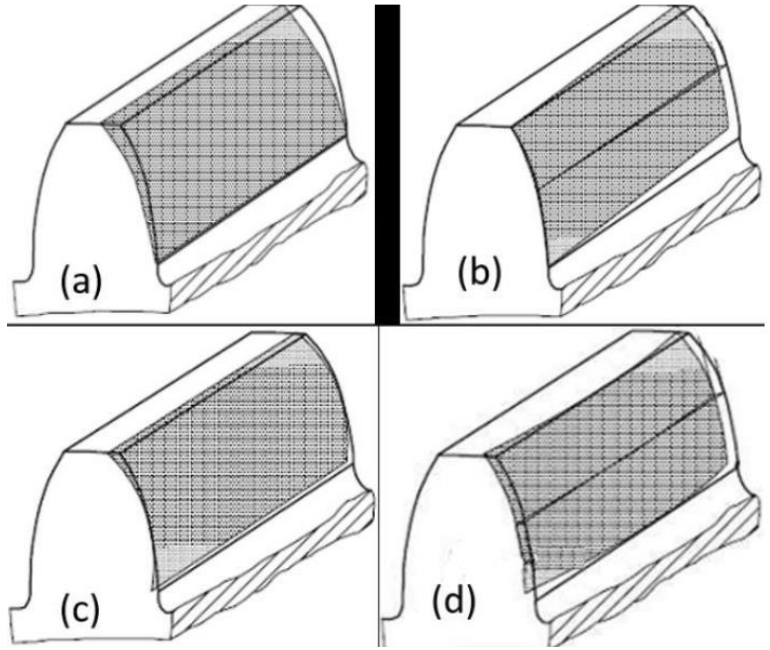
Oikeakätisen vinohampaisen lieriöpyörän hampaan ylimitta-arvo W_k

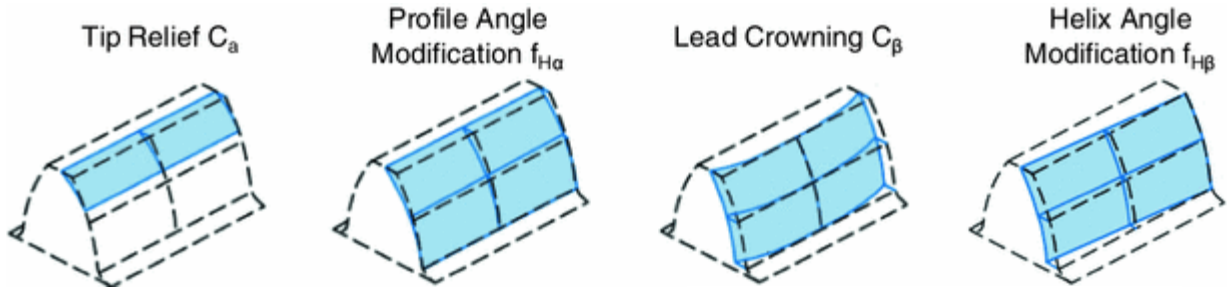


Suorahampaisen sisähammastuksen kuulamitta M_{dK}

ISO 21771:2012 – Hammaspyörät. Lieriöhammaspyörät ja –hammaspyöräparit. Käsitteet ja geometria.

Hampaan kyljen helpotukset ovat kyljen pinnan geometrisia muutoksia verrattuna perusgeometriaan. Niiden avulla kompensoidaan taipumien ja kiertymien aiheuttamaa hammasrynnön kuormituksen epätasaisuutta.





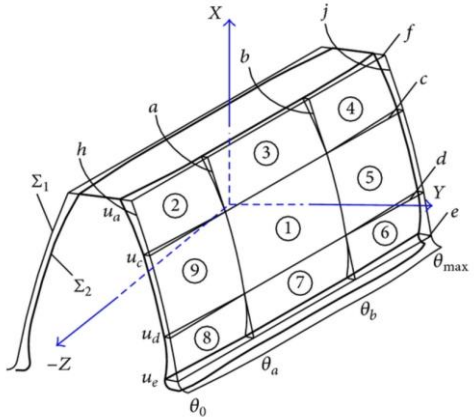
Tavallisimmat helpotukset

a) Päähelpotus C_a

b) Profiilin bombeeraus $f_{H\alpha}$

c) Kyljen bombeeraus C_β

d) Vinouskulmakorjaus $f_{H\beta}$



Hammaskyljen topologia

Hammaspyöräparin tehonsiirron kapasiteetin määrittäminen.

ISO 6336

Huom! Standardi on tarkoitettu ainoastaan kokeneille vaihteistosuunnittelijoille, jotka pystyvät valitsemaan standardissa oleville laskentakaavojen kertoimille sopivat arvot!

ISO 6336 - hammaspyöräparin tehonsiirron kapasiteetin laskeminen

Tehonsiirron laskentaan tarvitaan kokonainen standardien perhe:
ISO 6336-1:2019 - Perusperiaatteet ja yleisten kertoimien esittely
ISO 6336-2:2019 – Hampaan pintapaineen kestävyys (pitting – kuoppautuminen)
ISO 6336-3:2019 – Hampaan tyven taivutuslujuus
ISO 6336-4:2019 – Hampaan kyljen pinnanalainen särö (Tekninen Spesifikaatio)
ISO 6336-5:2016 – Hammaspyörämateriaalien lujuus ja laatu
ISO 6336-6:2019 – Käyttöiän laskenta vaihtelevan kuormituksen alla
ISO 6336-20:2017 – Hampaan scuffing (tahmautuminen) kestävyys (contact temperature)
ISO 6336-21:2017 – Hampaan scuffing (tahmautuminen) kestävyys (integral temperature)
ISO 6336-22:2018 – Hampaan mikropitting (harmaaläikkäisyys) kestävyys

ISO 6336-30:2017 – Laskentaesimerkkejä osioille 1, 2, 3, 5
ISO 6336-31:2018 – Laskentaesimerkkejä mikropitting kestävyydelle

ISO 6336 - hammaspyörien tehonsiirron kapasiteetin laskeminen

ISO 6336-1:2019 Lieriö- ja vinohampaisten hammaspyörien tehonsiirron kapasiteetin laskeminen - Perusperiaatteet ja yleisten kertoimien esittely

- Termit, määrittelyt, symbolit ja lyhenteet
  - H – Pintapaineeseen liittyvät
  - F – Tyven jännityksiin liittyvät
- Laskennan perusperiaatteet
- Käyttökerroin K_A (käyttävän ja käytetyn koneen kuomanvaihtelut)
- Dynaaminen kerroin K_V
- Kyljen kosketusleveyskertoimet $K_{H\beta}$ ja $K_{F\beta}$
- Evolventtiprofiilin kuormituskertoimet $K_{H\alpha}$ ja $K_{F\alpha}$
- Pintapaineen varmuuskerroin S_H
- Tyvilujuuden varmuuskerroin S_F
- Tarvittava kestoikä L_h

ISO 6336 - hammaspyörien tehonsiirron kapasiteetin laskeminen

ISO 6336-2:2019 Lieriö- ja vinohampaisten hammaspyörien tehonsiirron kapasiteetin laskeminen - Hampaan pintapaineen väsymiskestävyyden (pitting) laskenta

$$\sigma_{H0} = Z_H \cdot Z_E \cdot Z_\varepsilon \cdot Z_\beta \cdot \sqrt{\frac{F_t}{d_1 b} \frac{u+1}{u}}$$

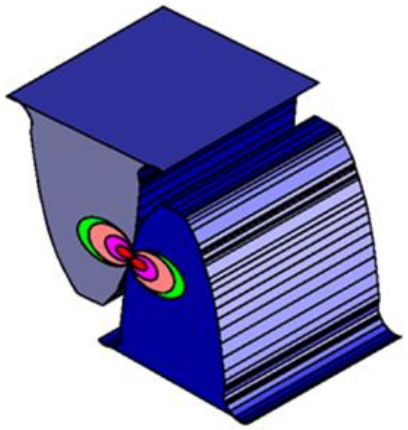
Nimellinen pintapaine yksittäisryntöpisteessä

$$\sigma_{H1} = Z_B \cdot \sigma_{H0} \cdot \sqrt{K_A \cdot K_\gamma \cdot K_v \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha}}$$

$$\sigma_{H2} = Z_D \cdot \sigma_{H0} \cdot \sqrt{K_A \cdot K_\gamma \cdot K_v \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha}}$$

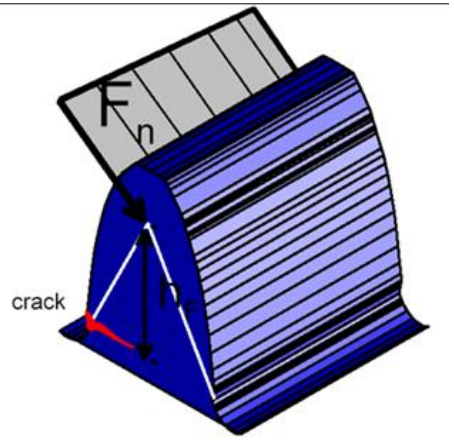
$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{H\,lim} \cdot Z_{NT}}{S_{H\,min}} \cdot Z_L \cdot Z_v \cdot Z_R \cdot Z_W \cdot Z_X = \frac{\sigma_{HG}}{S_{H\,min}}$$

Sallittu pintapaine



ISO 6336 - hammaspyörien tehonsiirron kapasiteetin laskeminen

ISO 6336-3:2019 Lieriö- ja vinohampaisten hammaspyörien tehonsiirron kapasiteetti – tyven väsymisen laskenta



$$\sigma_F = \sigma_{F0} \cdot K_A \cdot K_\gamma \cdot K_v \cdot K_{F\beta} \cdot K_{F\alpha}$$

Nimellinen tyvijännitys

$$\sigma_{F0} = \frac{F_t}{b \cdot m_n} \cdot Y_F \cdot Y_S \cdot Y_\beta \cdot Y_B \cdot Y_{DT}$$

$$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_{F\,lim} \cdot Y_{ST} \cdot Y_{NT}}{S_{F\,min}} \cdot Y_{\delta\,rel\,T} \cdot Y_{R\,rel\,T} \cdot Y_X$$

Sallittu tyvijännitys

ISO 6336 - hammaspyörien tehonsiirron kapasiteetin laskeminen

ISO 6336-4:2019 Lieriö- ja vinohampaisten hammaspyörien h*ampaan kyljen murtolujuuden laskenta (keskeneräinen)*

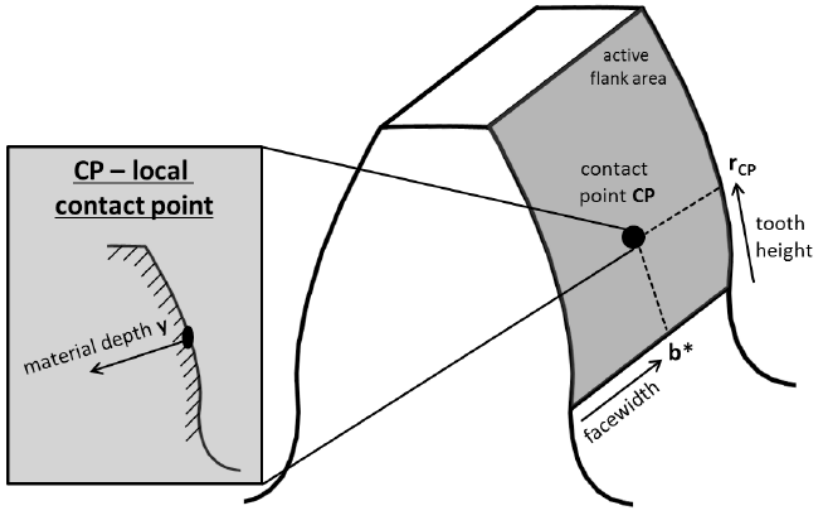
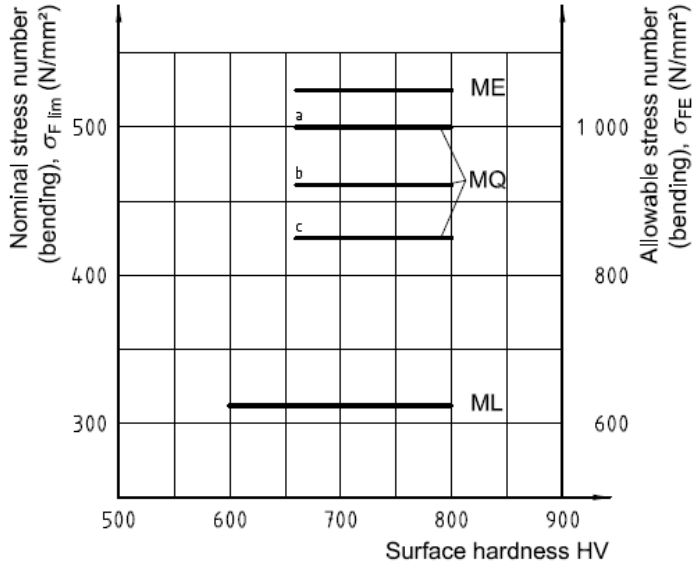


Figure 1 — Definition of local contact point CP and material depth y

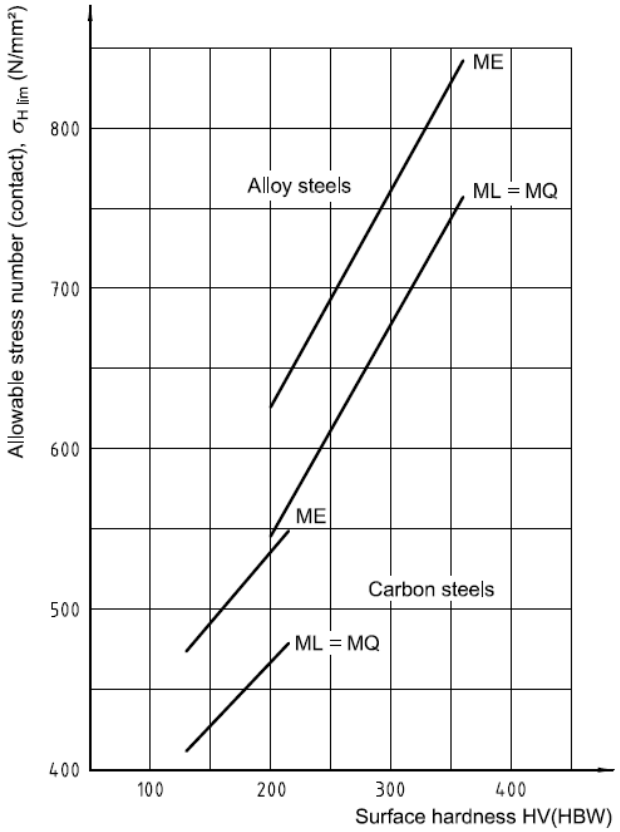
- **Suurten ja raskaasti kuormitettujen pintakarkaistujen hammasmoduuleiden vaurio.**
- **Hampaan kyljen murtuma on vakava väsymisvaurio, jossa halkeama alkaa kyljen pinnan alapuolelta.**
- **Väsymismurtuma alkaa pinnan alapuolella pintapaineen aiheuttaman leikkausjännityksen vuoksi.**
- **Ydintymiskohdassa on usein, mutta ei aina, ei-metallinen sulkeuma.**

ISO 6336 - hammaspyörien tehonsiirron kapasiteetin laskeminen

ISO 6336-5:2016 Lieriö- ja vinohampaisten hammaspyörien materiaalien lujuus ja laatu



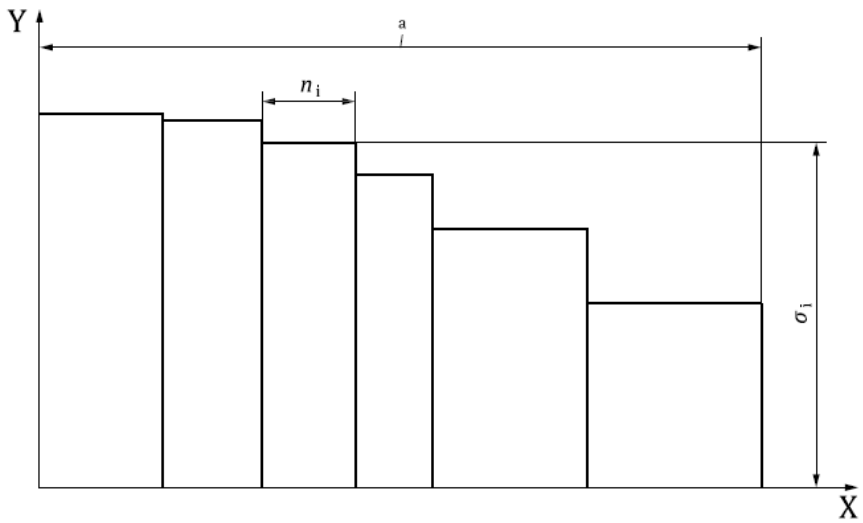
Sallittu tyven taivutusjännitys
Hiiletyskarkaistu teräs



Sallittu kyljen pintapaine
Seos- ja hiiliteräkset

ISO 6336 - hammaspyörien tehonsiirron kapasiteetin laskeminen

ISO 6336-6:2019 Lieriö- ja vinohampaisten hammaspyörien käyttöiän laskenta vaihtelevan kuorman tapauksessa



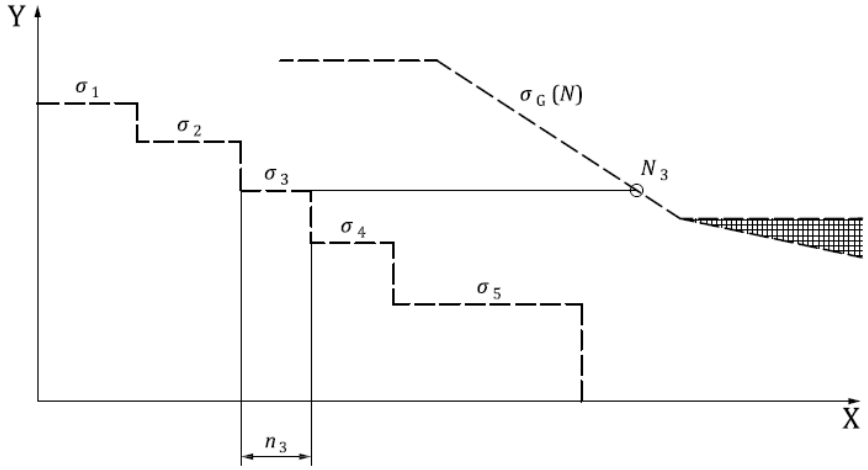
Key

X cumulative number of applied cycles

Y stress

[a] Load spectrum, $\Sigma\, n_i$, total cycles.

Figure 1 — Example for a cumulative stress spectrum



Key

X number of load cycles, N (log)

Y stress, σ (log)

$\sigma_G(N)$ stress value used to describe the permissible S-N-curve

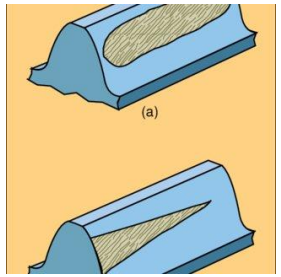
NOTE For each level of stress σ_i with a number of cycles n_i the allowable number of cycles N_i can be determined by help of the methods described in ISO 6336-2 and ISO 6336-3 for the pinion or the wheel.

Figure 3 — Stress spectrum and S-N-curve

ISO 6336 - hammaspyörien tehonsiirron kapasiteetin laskeminen

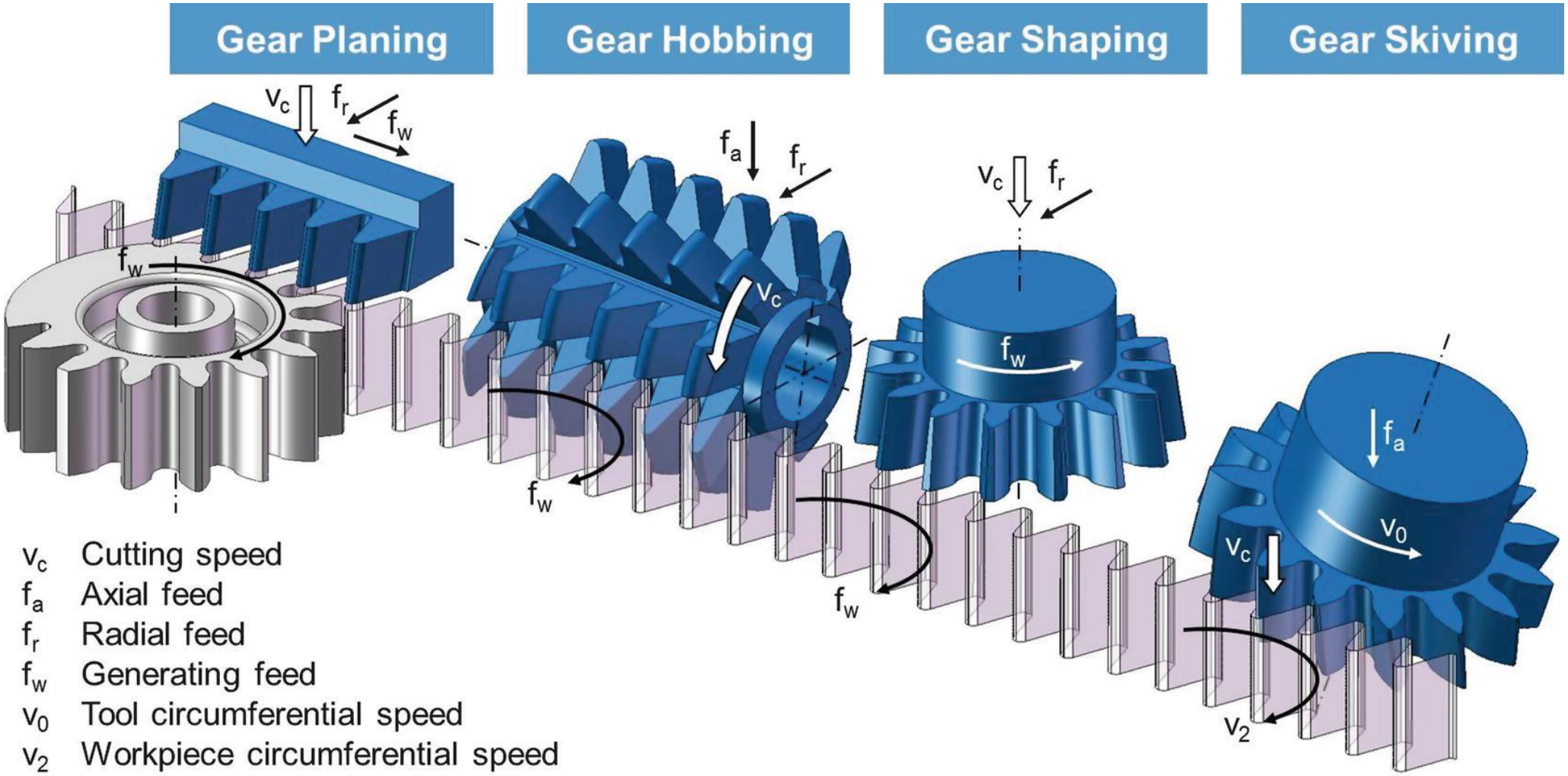
ISO 6336-20 ja -21:2017 Lieriö- ja vinohampaisten hammaspyörien hampaan kyljen scuffing -varmuuden laskenta

Standardien ISO 6336-20 ja -21 laskentamenetelmät perustuvat olettamukseen, että scuffingin esiintyy todennäköisesti silloin, kun lämpötila kosketuskohdassa ylittää kriittisen arvon. Tämä riippuu hammas-geometriasta, kuormituksesta, liukunopeudesta, kitkakertoimesta ja materiaalien ominaisuuksista. Seurauksena on hammaskylkiä erillään pitävän öljykalvon pettäminen ja pinnat joutuvat metalliseen kosketukseen.



Hammaspyörän valmistuksesta

Hammaspyörän valmistuksessa tarvittavat tiedot



Hammaspyörän valmistuksessa tarvittavat tiedot

Hammaspyörän valmistajan tarvitsemat tiedot ja mitat:

1. Siirrettävä vääntömomentti
2. Pyörimisnopeus
3. Tarvittava välityssuhde
4. Hampaan leveys
5. Akselireiän halkaisija toleransseineen (tai halkaisija ja toleranssit sille akselin osalle, joka tarvitaan asetusta varten koneistettaessa)
6. Asennuspinta / -pinnat
7. Päähalkaisija toleransseineen
8. Hampaan kyljen, tyvipinnan ja tyvipyöristyksen pinnankarheus
9. Hampaan pituus- ja profiilihelpotus sekä tynnyrimäisyys erillisen kuvan ja/tai taulukon avulla

Mitoituksen perustaksi tarvittavat tiedot (1 – 3)

Usein hammasvaihdetehdas määrittää kohtien 7 – 9 tiedot asiakkaan puolesta.

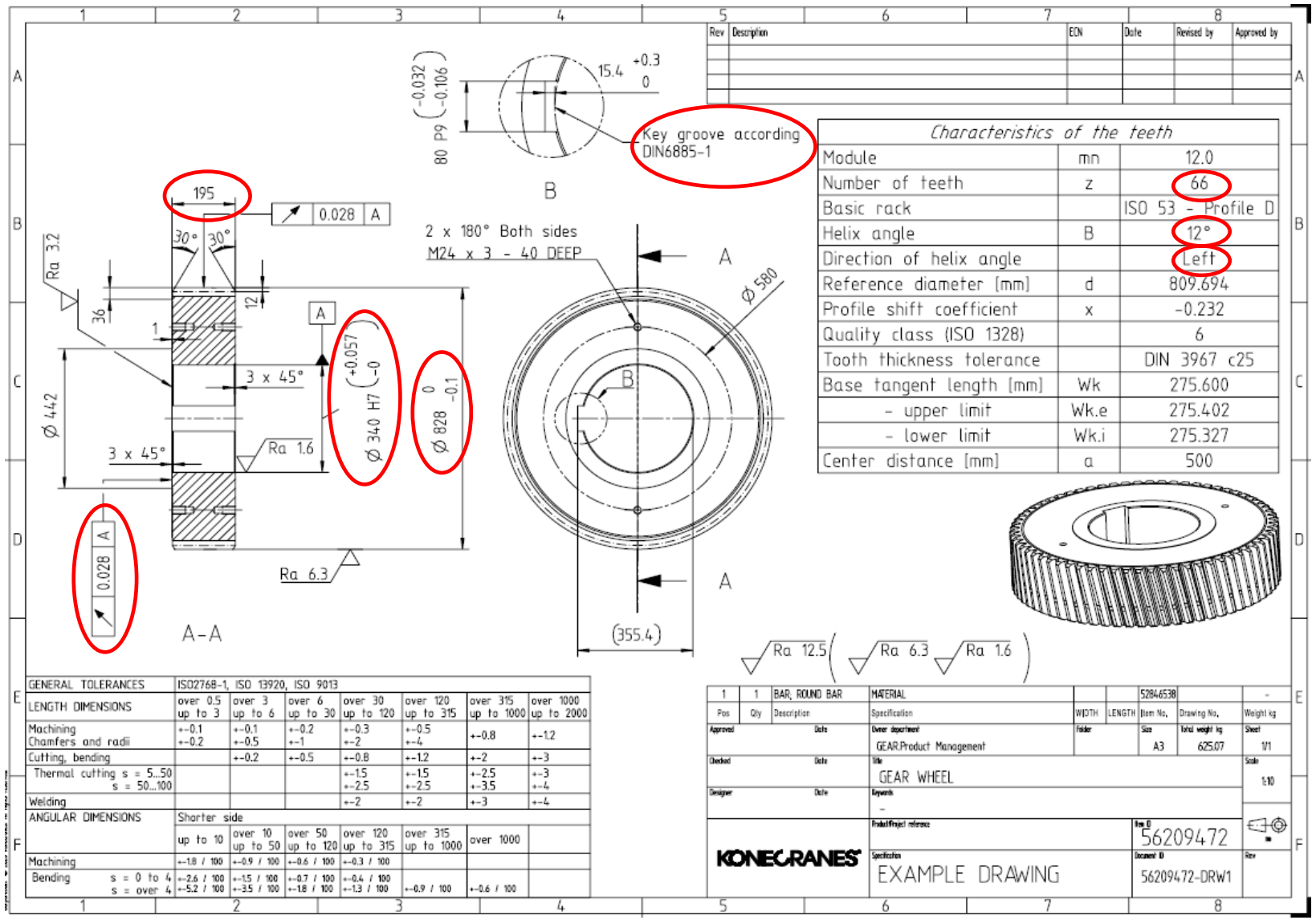
Hammaspyörän valmistuksessa tarvittavat tiedot

Hammaspyörän piirustuksen taulukossa annettavat tiedot:

- Normaalimoduuli
- Hammasluku (sektorille myös sen hammaspyörän kokonaishammasluku, josta sektori on osa)
- Perusprofiili SFS-ISO 53:
  - Annetaan standardin numero + teräryntökulman suuruus. Jos perusprofiili ei ole minkään standardin mukainen, on profiilin yksityiskohdat annettava, mieluimmin kuvan avulla.
  - Hampaiden pituus- ja profiilihelpotusten suuruudet ja niiden toleranssit annetaan joko hampaan profiilin suunnassa tai ryntösuoralla.
- Vinouskulma
- Kätisyys (kaksoisvinohammastuksen kätisyys merkitään standardin SFS-EN ISO 2203 mukaisella tunnuksella)
- Jakohalkaisija
- Profiilinsiirtokerroin (= profiilinsiirron ja normaalimoduulin suhde)
- Hampaan paksuus: perusmitta sekä ylä- ja alaeromitta + mittaustapaan liittyvä lisätieto. Perusmitta voidaan antaa jollakin seuraavista tavoista:
  - Hammasvälimittana W, jolloin kauttaviivan jälkeen ilmoitetaan mittahammasluku k.
  - Hampaan jännemittana ŝ, jolloin kauttaviivan jälkeen ilmoitetaan mittakorkeus ha.
  - Ulko- tai sisäpuolisena kuula- tai lieriömittana M, jolloin kauttaviivan jälkeen ilmoitetaan mittakuulan tai -lieriön halkaisija DM.
- Hammastuksen tarkkuusluokka ja toleranssiasema
- Materiaali ja lämpökäsittely
- Akseliväli toleransseineen
- Vastapyörän hammasluku
- Vastapyörän piirustuksen numero

Useimmiten hammaspyörän valmistaja määrittää nämä tiedot asiakkaan puolesta.

Hammaspyörän piirustus

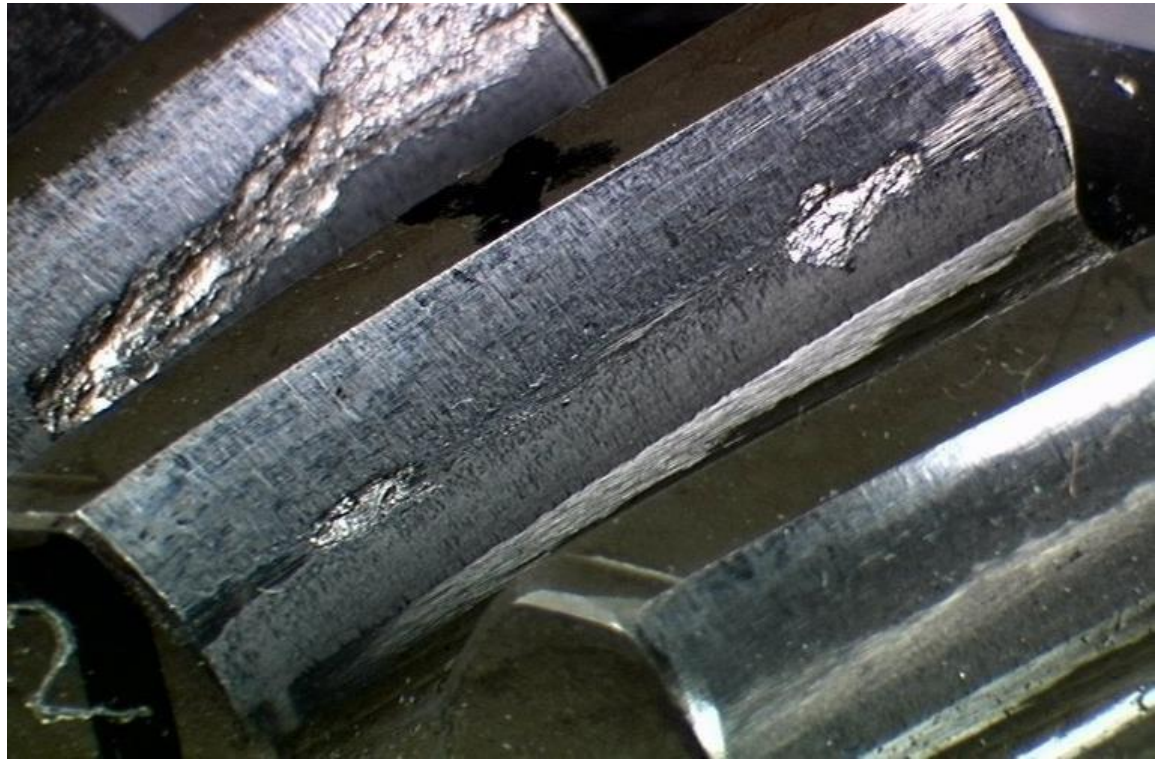


Hammaspyörän vaurioista.

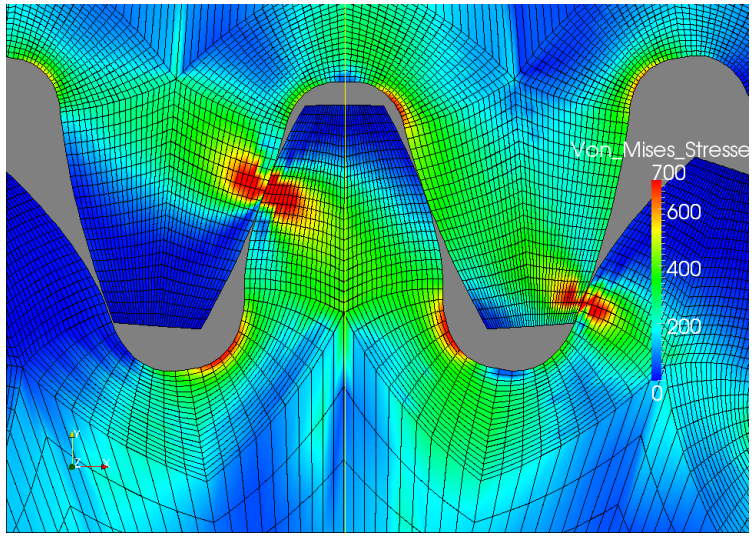
ISO 10825:1995

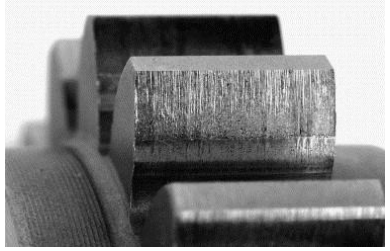
Hammaspyörän muutamia vauriomuotoja

- Materiaalin väsymisvauriot
- Ylikuorma
- Voiteluolosuhteiden puutteet
- Epäpuhtaudet öljyssä
- Materiaalin korroosio
- Sähkövirta



Pintakarkaistujen hammastusten vauriomuotoja Standardi SFS-ISO 10825:1995





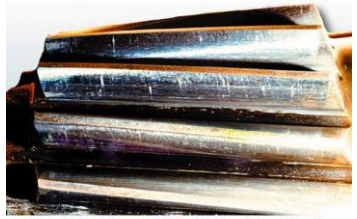
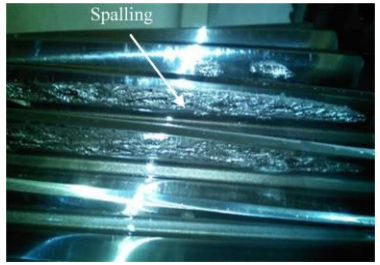
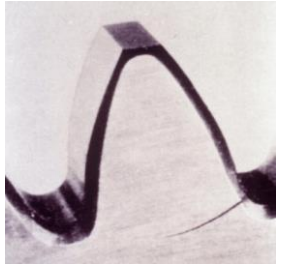


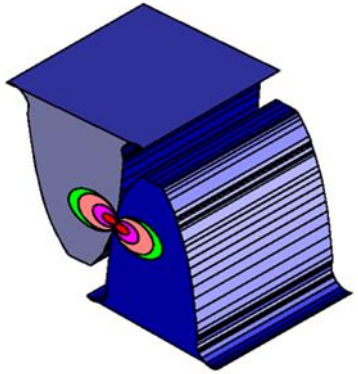
Figure 5. Adhesion Type Wear of Gear Teeth



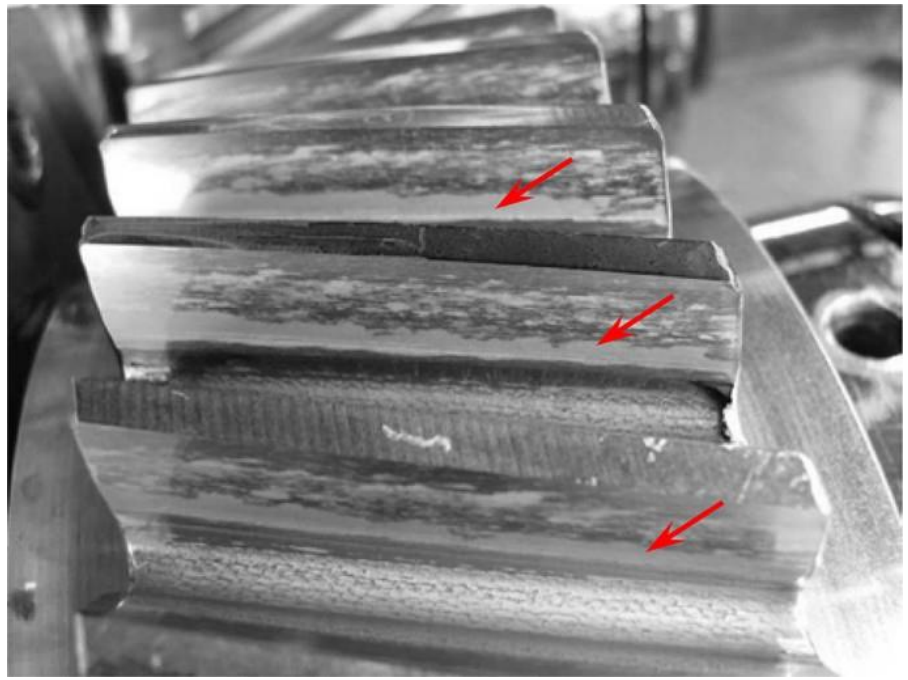


SFS-ISO 10825:1995

Micro Pitting - Harmaaläikkäisyys

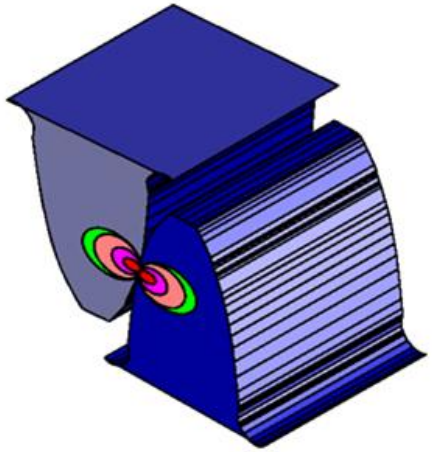


- Pintakarkaistujen, raskaasti kuormitettujen hammaspyörien vaurio
- Voitelukalvo on liian ohut kuormitukseen nähden
- Hampaan pinta muuttuu himmeäksi – valoa heijastamattomaksi
- Aiheutuu pintaan syntyvistä mikrohalkeamista
- Voi edetä makropittingiksi mutta näin ei välttämättä tapahdu

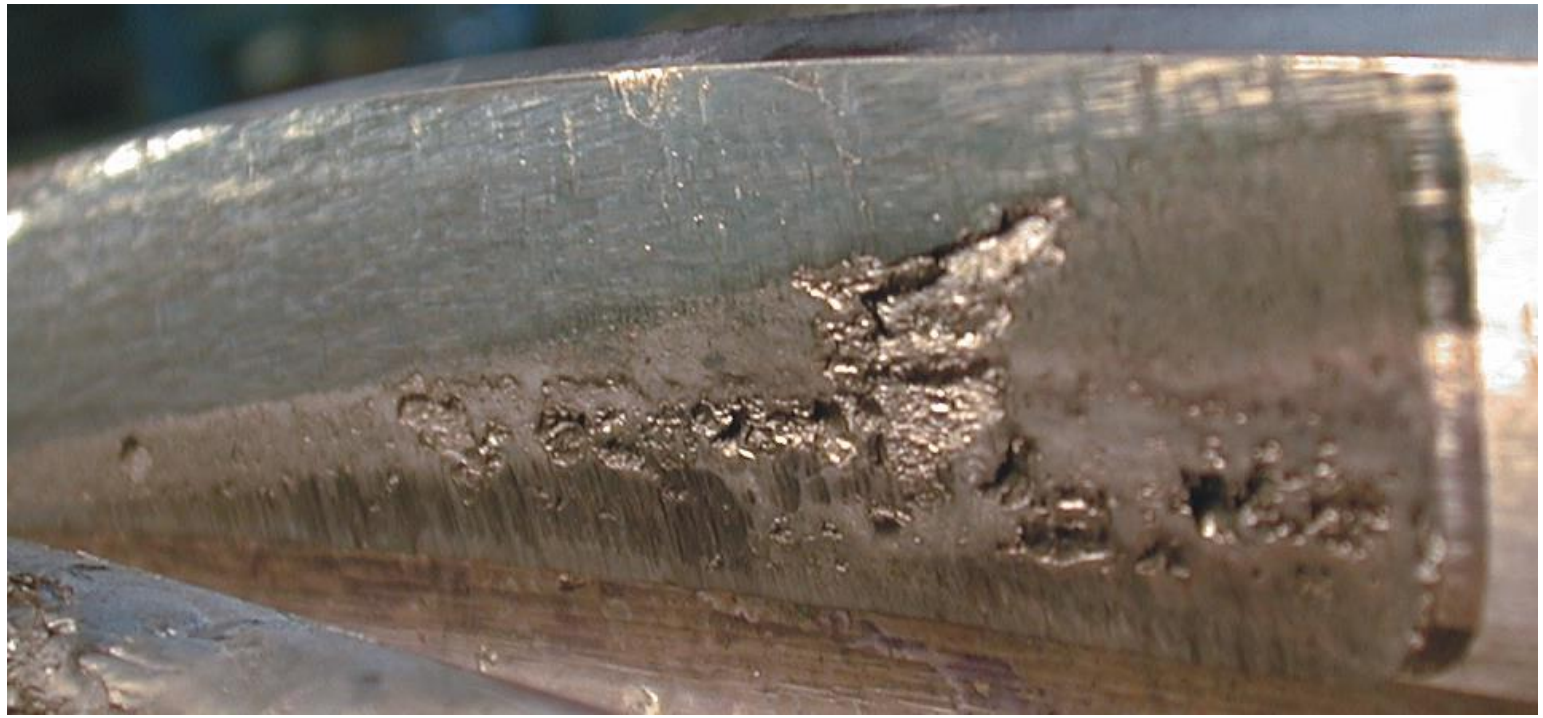


SFS-ISO 10825:1995

Macro Pitting

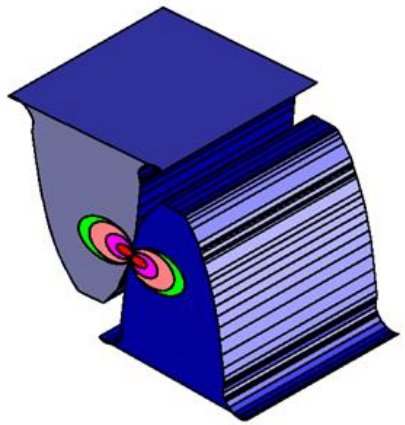


Syntyy, kun pinnan tai pinnan alaisten jännitysten aiheuttamat väsymishalkeamat etenevät. Halkeaman suurentuessa murtuu materiaalia pois jättäen jälkeensä kuopan. Halkeamien jatkaessa etenemistään suurenevat kuopat pitkin hammaskylkeä.

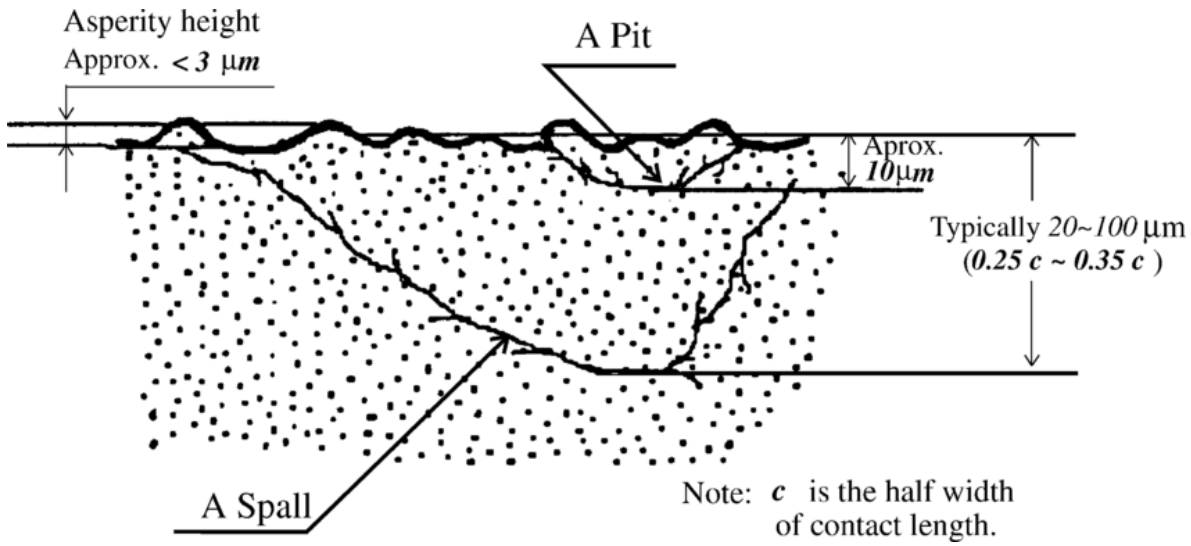


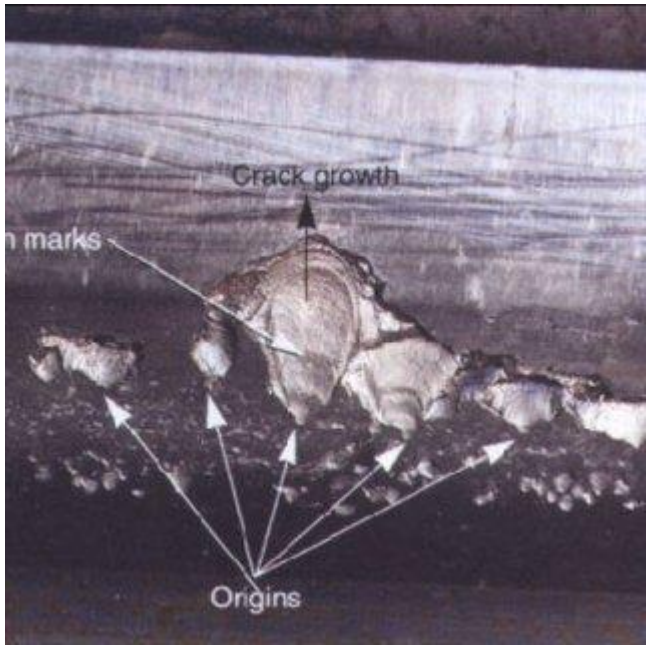
SFS-ISO 10825:1995

Spalling - Lohkeaminen



Korkea Herzin pintapaine aiheuttaa särön muodostumisen ja kasvun johtaen materiaalin lohkeamiseen pinnasta. Pintakarkaistuiden hammastusten pinnan tai pinnanalaiset säröt sekä epäonnistuneen karkaisun tuloksena olevat pinnanalaiset jäännösjännitykset voivat johtaa pinnan lohkeamiseen.



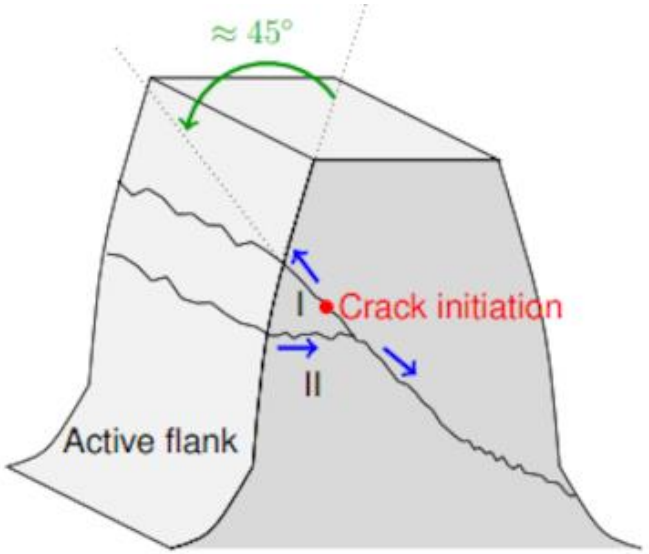


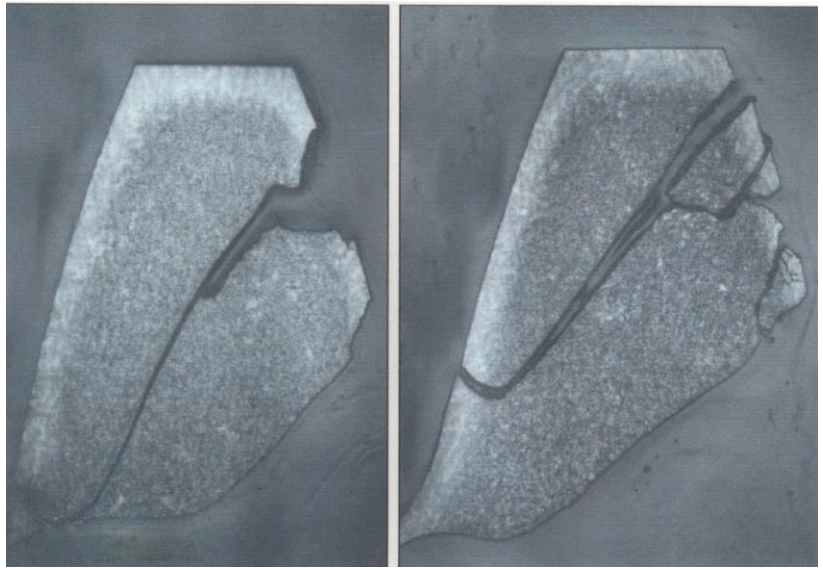
SEM –kuva hampaan pinnan vauriosta

SFS-ISO 10825:1995

Hampaan pinnanalainen murtuminen – Tooth Flank Fracture

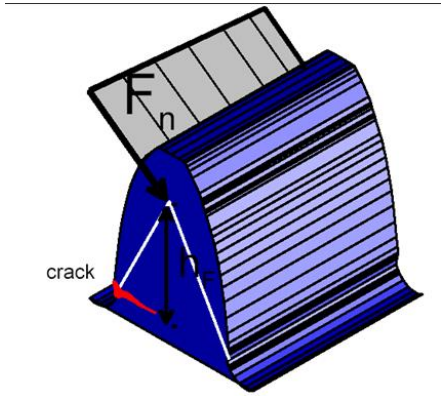
Suurten, raskaasti kuormitettujen ja pintakarkaistujen (hiiletys), hammasmoduulien vaurio. Hampaan kyljen murtuma on vakava väsymisvaurio, jossa halkeama alkaa kyljen pinnan alapuolelta. Väsymismurtuma alkaa siis hampaan sisältä ja johtuu pintapaineen aiheuttaman leikkausjännityksen lisäksi pinnan karkaisusta aiheutuneista jäännösjännityksistä. Lisäksi särön syntyyn vaikuttaa materiaalin paikallinen lujuus (epähomogeenisuus). Oletetaan, että riski kasvaa, jos leikkausjännityksen suhde materiaalin lujuuteen nousee yli arvon 0,8. Ydintymiskohdassa on usein, mutta ei aina, ei-metallinen sulkeuma.



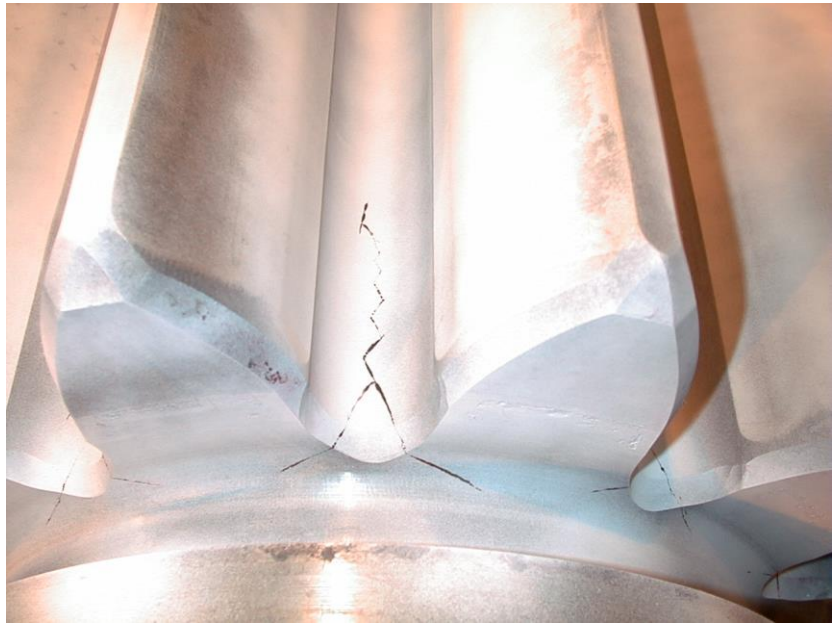


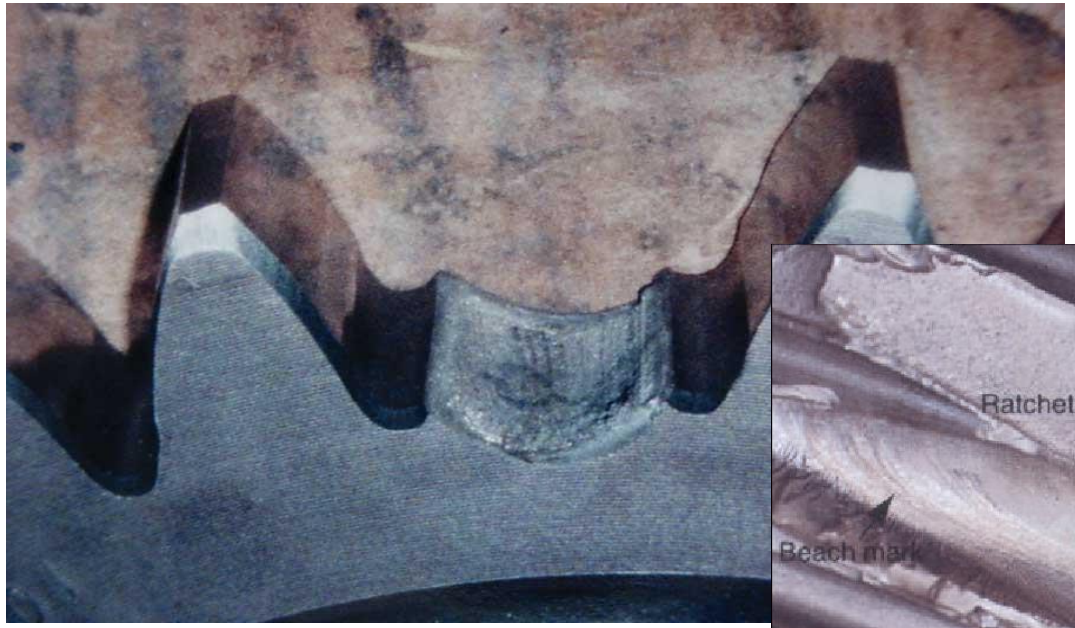
SFS-ISO 10825:1995

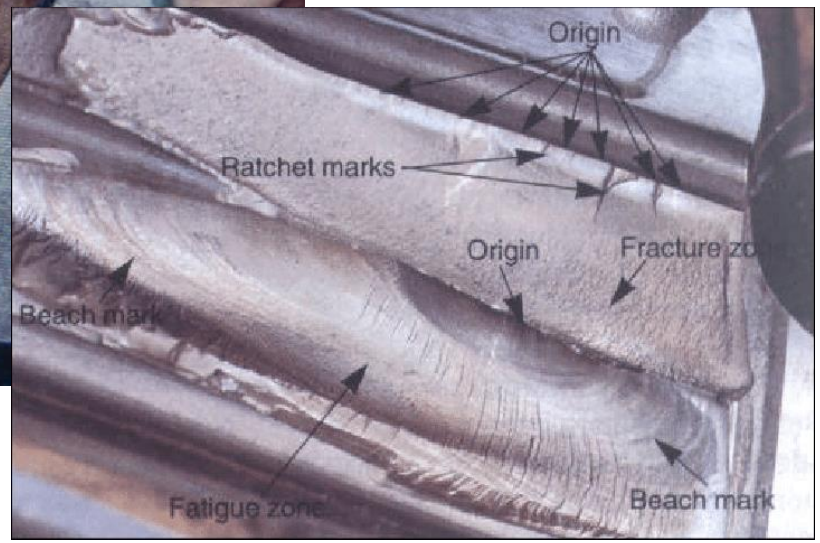
Hampaan taivutusväsyminen



Särö syntyy hampaan tyvialueella ja etenee vähitellen jokaisella hampaan kuormituskerralla hampaan tyven alle. Lopulta hammas murtuu, kun jännitykset ylittävät materiaalin lujuuden. Murtumapinta muodostaa tyypillisesti kuopan hampaan alle.
Murtopinnassa näkyy etenemistä kuvaavia simpukkakuvioita. Hienorakeinen murtopinta.

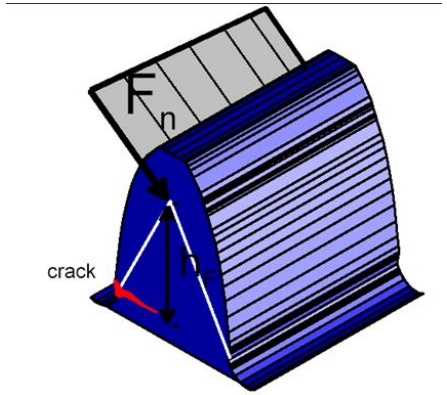






SFS-ISO 10825:1995

Hampaan hauras taivutusmurtuma – vähäisten kuormituskertojen jälkeen – ylikuorma.

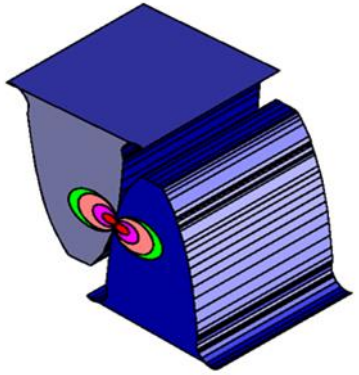


Särön nopea eteneminen ilman plastista muodonmuutosta. Murtopinnassa ei etenemistä kuvaavia simpukkakuvioita. Karkearakeinen murtopinta.

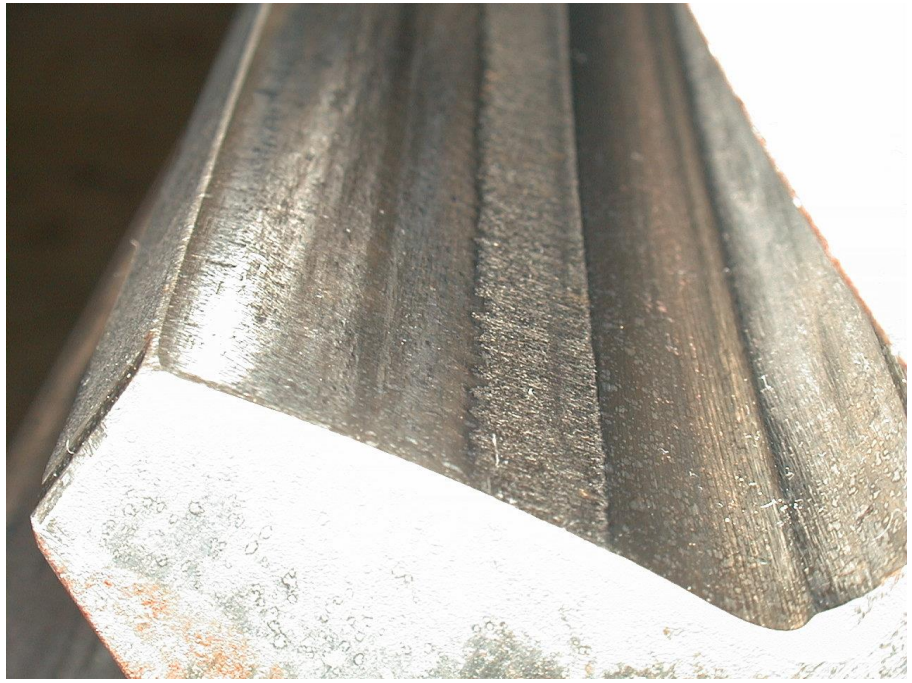
Fig.4

SFS-ISO 10825:1995

Scuffing - Tahmautuminen



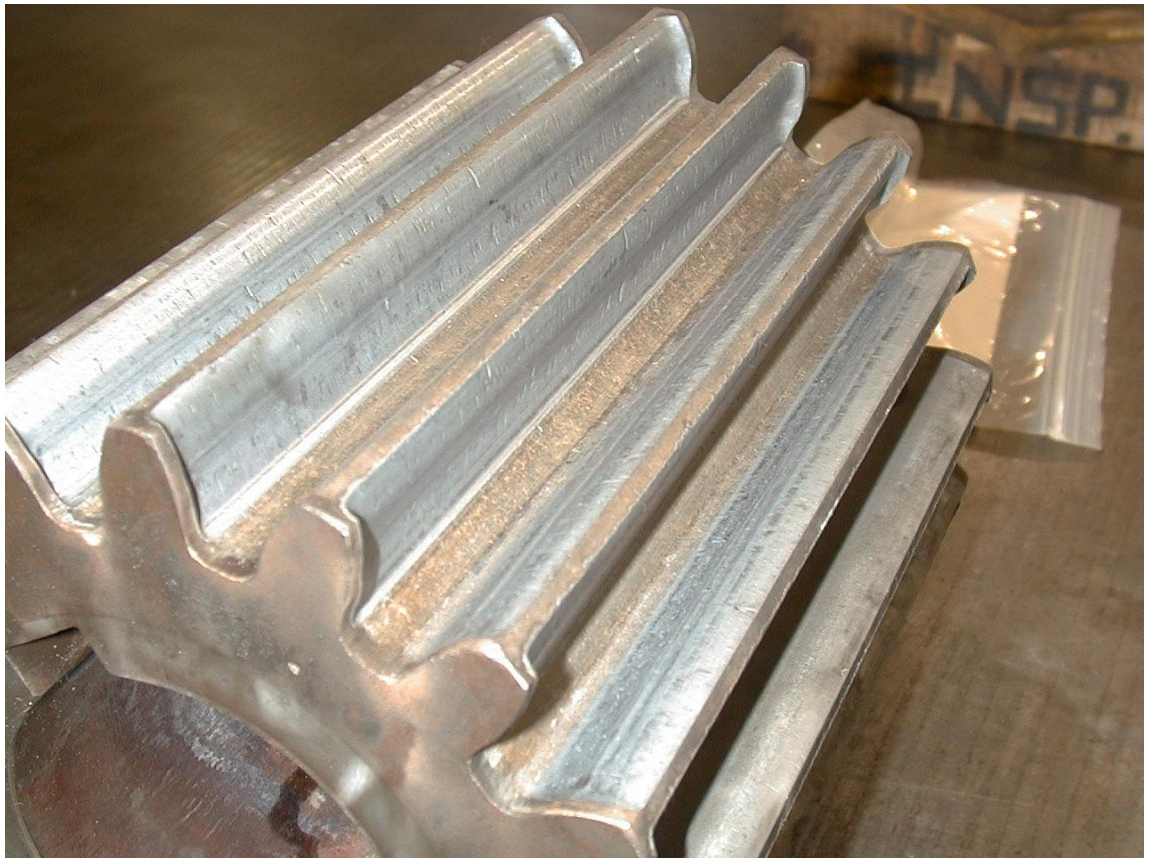
Voiteluainekalvon pettäminen (kuorma x liukunopeus) tietyllä kyljen alueella aiheuttaa hampaiden pintojen välisen kontaktin, jolloin pinnat pääsevät kuluttamaan toisiaan. Esiintyy yleensä vain osalla hammasta, joko pää- tai tyviosalla. Vaurion eteneminen voi pysähtyä itsekseen tai sitten edetä johtaen hammasvaurioon.



SFS-ISO 10825:1995

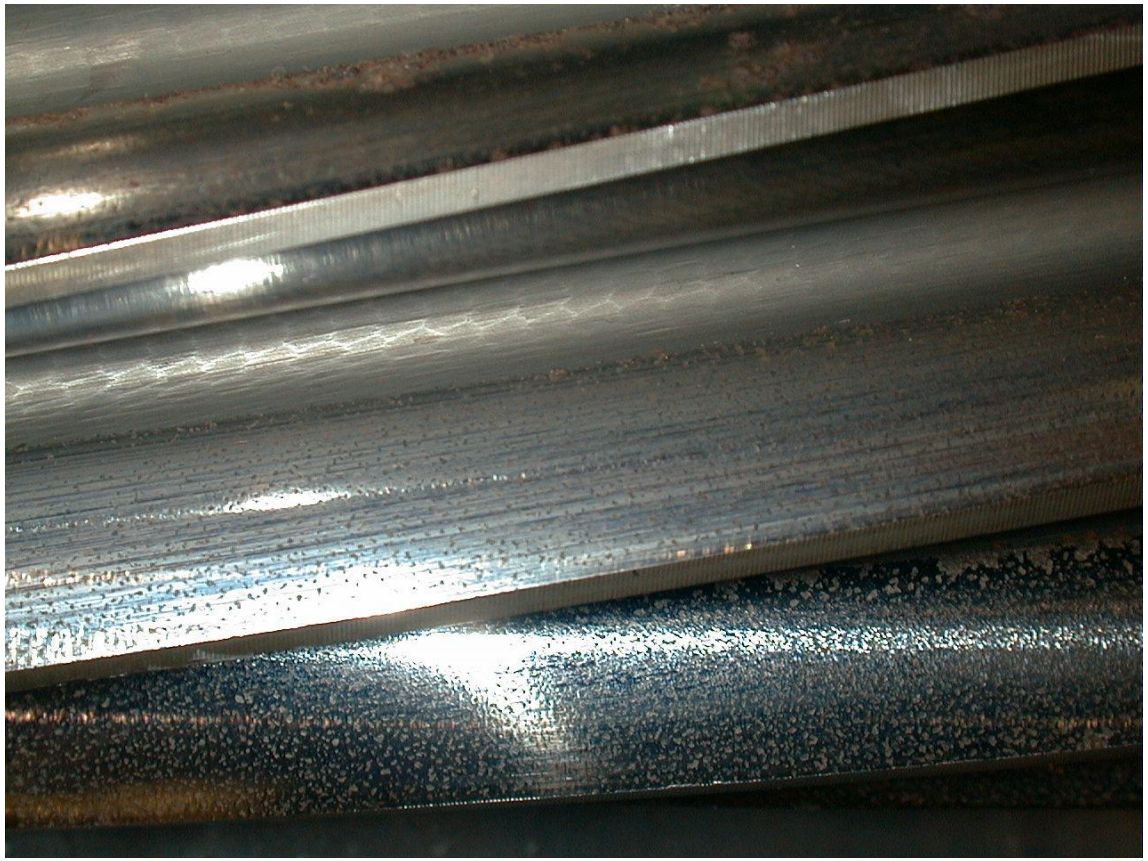
Abrasive Wear - Hankauskuluminen

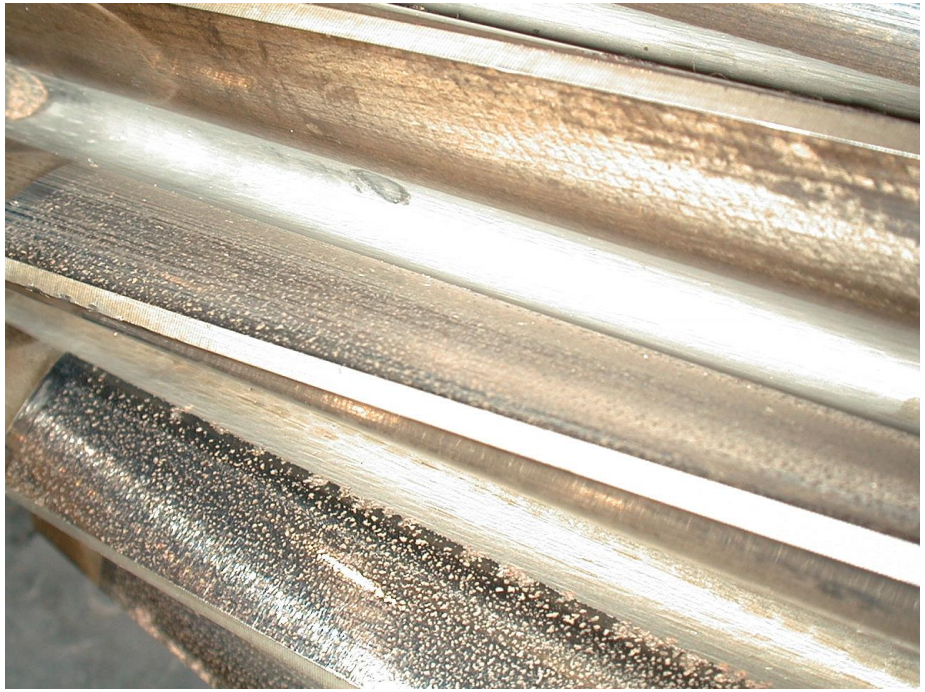
Voiteluaineessa olevat kovat partikkelit (metalliset hiukkaset, hiekka, tms.) toimivat hampaan pinnalla kuin hiomatahna. Jos näitä partikkeleita ei suodateta pois, tuhoavat ne hammaspyörät.



SFS-ISO 10825:1995
Kemiallinen korroosio

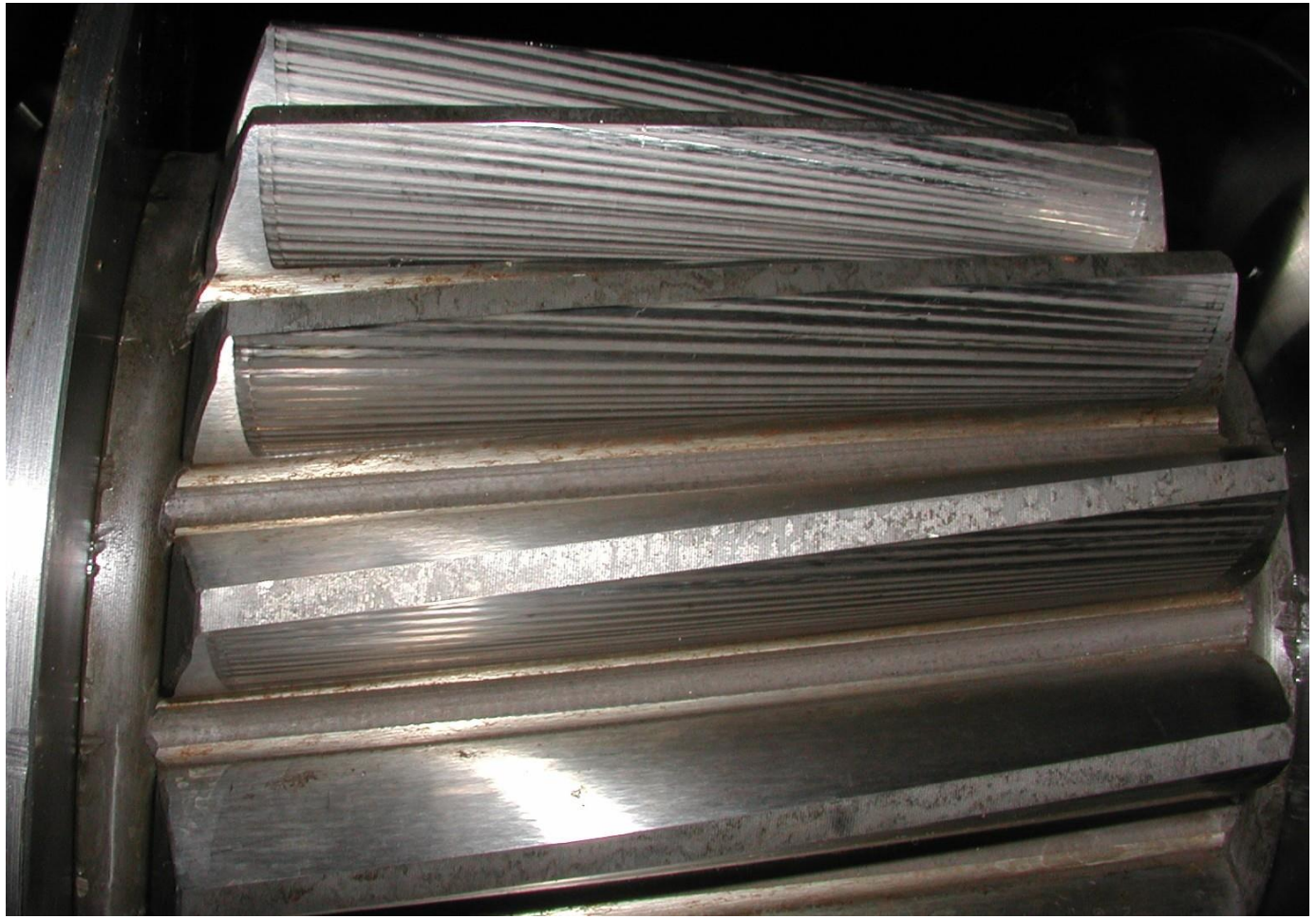
Hampaan pinnalle muodostuu pieniä kuoppia, jotka voivat johtaa makropittingiin. Tyvialueella olevat kuopat voivat toimia hampaan katkeamisen alkupisteenä





SFS-ISO 10825:1995

Sähkövirran aiheuttama pintavaurio



Valokaaret tai kipinät kontaktissa olevien hammaskylkien välillä synnyttävät lukemattomia, sileäreunaisia kraattereita hampaiden pinnoille.
Toisinaan esiintyy suurempia palaneita alueita, joissa on päästövärejä.

Kiitos !