

Productietechnologie — Samenvatting

Ruben Ryckaert

21 december 2025

Inhoudsopgave

1 Inleiding	3
1.0.1 Keuzes bij productie	4
1.1 Passing	5
1.2 Tolerantie	5
1.3 Oppervlaktekwaliteit	5
2 Materialen	7
2.0.1 Vervorming	7
3 Verspanen: Algemeen	7
3.1 bijtelbewerkingen	8
3.1.1 Secundaire afschuifvlak(shear zone)	9
3.2 Beweging, snelheden en voedingen, temperaturen, slijtage	11
3.2.1 Krachten	12
3.3 Factoren bij bijtelbewerking	13
3.4 Snijmaterialen	14
3.4.1 Classificatie van snijmaterialen	16
3.5 Optimale snijsnelheid	16
4 Verspanen: Draaien	18
4.1 Het Draaiproces	18
4.2 Krachten bij Draaien	19
4.3 Invloeden voeding f en snedediepte a op de kracht en snijsnelheid	21
4.4 Spaanvorming bij Draaien	22
4.5 Oppervlakteruwhed bij Draaien	23
4.6 De Draaioperatie	24
5 Verspanen: Boren, Fabricage en ronde gaten	25
5.1 Inleiding Boren	25
5.1.1 Boorgeometrie	26
5.2 Optredende krachten	26
5.2.1 gevolgen van onevenwichtige krachten	27
5.3 Keuze van voeding	28

5.3.1	Torsie bij Boren	28
5.4	Boormachines en booroperaties in de industrie.	30
5.4.1	NC-gestuurde boormachines	30
5.4.2	Boren	30
5.4.3	Kotteren	30
5.4.4	Draadtappen	31
5.4.5	Ruimen	31
6	Verspanen: Frezen	31
6.1	Inleiding Frezen	32
6.1.1	Soorten frezen	32
6.1.2	Geometrie van de frees	32
6.2	krachtwerking bij frezen	32
6.3	Richting van frezen	34
6.3.1	Wanneer kiezen: meelopend vs tegenlopend	35
6.4	Soorten frezen	36
6.5	De Freesmachine	36
7	Verspanen:Hybridetechnieken	37
8	Verspanen:Slijpen	37
9	Fysische en Chemische afnemende bewerkingen	37
10	Scheiden	37
11	Automatiseren & machinekeuze	37
12	Productie werkvoorbereiding	37
13	Productiegericht ontwerpen	37

1 Inleiding

Wat is ProductieTechnologie?

ProductieTechnologie gaat over het produceren van goederen. Hier komt veel bij te pas: niet alleen verschillende technieken en machines, maar ook kosten, snelheid en kwaliteit spelen een rol.

Deze samenvatting geeft een overzicht van de belangrijkste begrippen en technieken.

Hieronder verschillende productietechnieken,

- Gieten
 - Zandgieten
 - Sputtigieten
- Frezen
- Lassen
 - CO₂-lassen
 - MIG/MAG, TIG, ...
- Vonkerosie
- Waterstraalsnijden
- Chemisch bewerken
- 3D-printen
- Draaien
- Snijden
- Ponsen
- Stralen

Energiedrager	Bewerking
vaste stof:	
kogeltjes van glas of metaal	kogelstralen
korrels van metaal	staalstralen
abrasief materiaal	abrasief stralen
vloeistof (water)	waterstralen
vaste stoffen in vloeistof	abrasief waterstralen
vaste stoffen in gas	abrasief luchtstralen
ionen	ionenstralen of ionenbundel
elektronen	elektronenstralen
fotonen	laserstralen
geïoniseerde gassen	plasmastralen

Figuur 6.19 Overzicht van bewerkingen met stralen,
gebruikmakend van verschillende energiedragers

Figuur 1.1: Overzicht van bewerkingen met stralen, gebruikmakend van verschillende energiedragers

1.0.1 Keuzes bij productie

Bij produceren moet je afhankelijk van al deze technieken keuzes maken over welke technieken het beste is. Hoeveel producten moet ik produceren en wat kost dat? Het is allemaal afhankelijk van de eisen die aan het product worden gesteld.

- Kosten
- snelheid
- kwaliteit

- milieu
- veiligheid
- functionaliteit
- materiaal
- tolerantie
- oppervlaktekwaliteit
- aantal
- onderhoud

al deze factoren zijn belangrijk bij het kiezen van een productietechniek.

1.1 Passing

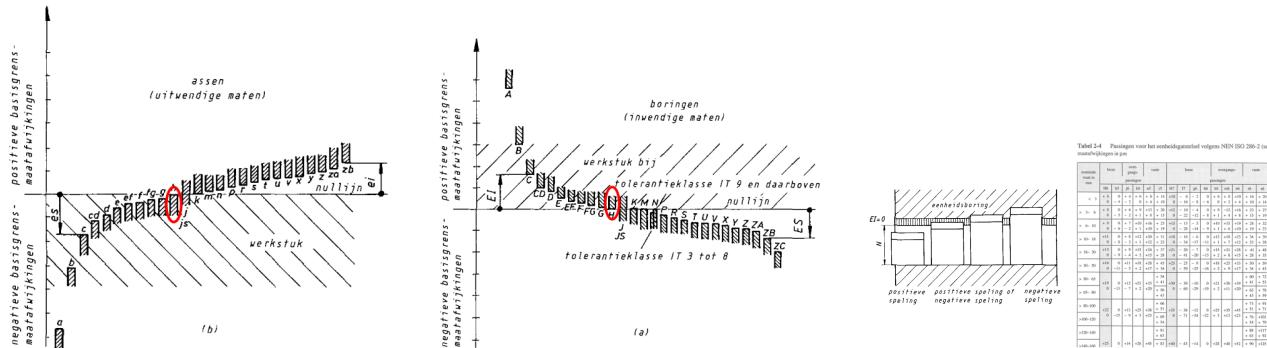
Passing is een maat voor hoe goed twee oppervlakken op elkaar aansluiten.

- Losse Passing: Er is nog speling tussen de twee oppervlakken.
- Nauw Passing: De twee oppervlakken sluiten goed op elkaar aan, er is bijna geen speling meer.
- PersPassing: De twee oppervlakken worden in elkaar gedrukt.

1.2 Tolerantie

Toleranties worden geklassificeerd via diagrammen

- inwendige
- uitwendige
- passing

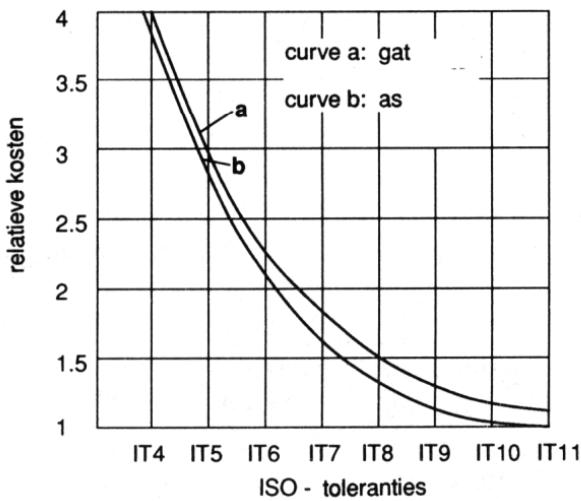


Figuur 1.2: Tolerantie diagrammen voor inwendige, uitwendige en passing

Je moet kiezen welke tolerantie nodig is voor een product. Precieze toleranties zijn duurder om te produceren.

1.3 Oppervlaktekwaliteit

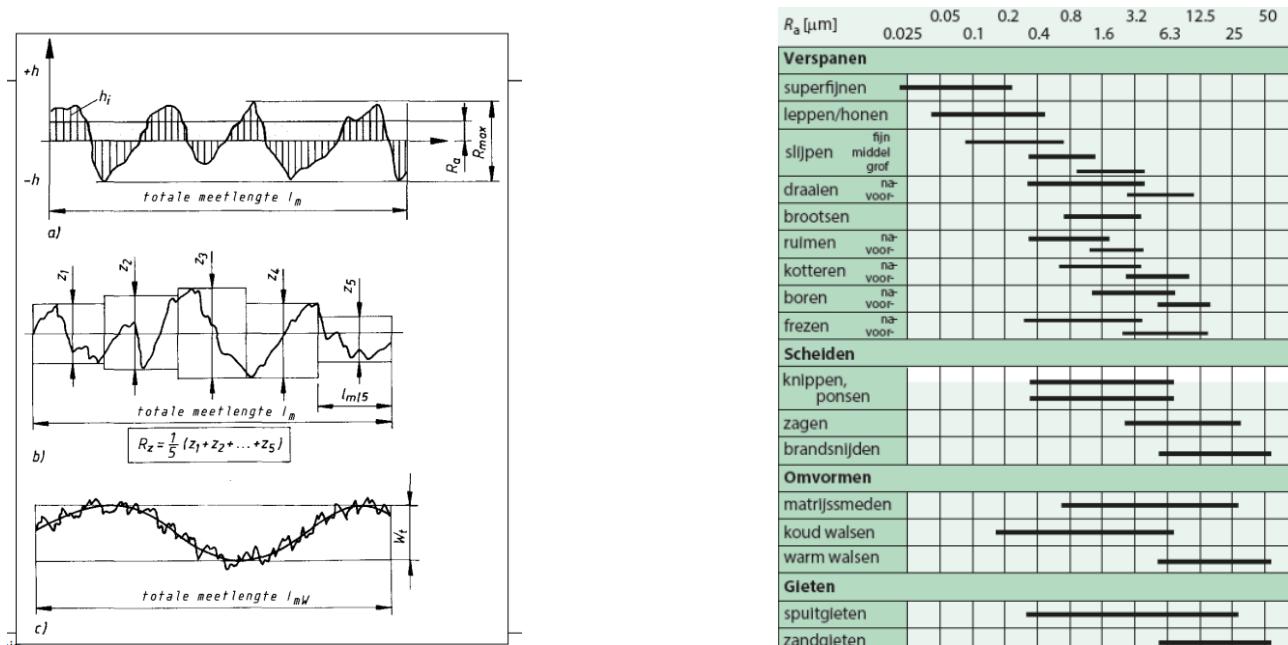
Oppervlaktekwaliteit moet ook gekozen worden bij het produceren van een product.



Figuur 1.3: Kosten vs Tolerantie

- Een ruw oppervlak is goedkoper om te produceren.
- Een glad oppervlak is duurder om te produceren.
- Soms is een glad oppervlak nodig voor de functionaliteit van het product.
- Textuur kan ook functioneel zijn (antislip, esthetisch, ...). bv: een handvat, keyboard, tafels, pennen, ...

Oppervlaktekwaliteit wordt uitgedrukt in ruwheid. Ra, Rz, Rmax



Figuur 1.4: Voorbeelden van oppervlaktekwaliteiten

verschillende productietechnieken hebben verschillende oppervlaktekwaliteiten.

2 Materialen

Dit hoofdstuk gaat over de effecten van verschillende materialen op productietechnieken en over het effect van de gekozen productietechniek op het materiaal.



Figuur 2.1: Effect van thermische processen op materialen

Er zijn verschillende soorten materialen die je kunt kiezen. Allemaal hebben ze verschillende materiaaleigenschappen.

- Metalen
- Kunststoffen
- Keramiek
- Composieten

2.0.1 Vervorming

Je hebt elastische en plastische vervormingen in een materiaal die gebeuren tijdens het bewerken van een materiaal.

- Elastische vervorming: Het materiaal keert terug naar zijn originele vorm nadat de kracht is weggenomen.
- Plastische vervorming: Het materiaal blijft vervormd nadat de kracht is weggenomen.

Elastische vervorming gegeven door Hooke's law:

Hooke's law: $\sigma = E \cdot \varepsilon$

waarbij σ de spanning is, E de elasticiteitsmodulus en ε de rek.

3 Verspanen: Algemeen

Dit hoofdstuk is de basis van verspannen en is relevant voor alle verspaningstechnieken.

Verspannen is het verwijderen van materiaal van een werkstuk. Dit kan door boren, frozen,

draaien of slijpen, ... Je begint met een ruw werkstuk en verwijdert materiaal totdat je de gewenste vorm en afmetingen hebt.

Voordelen

- Hoge precisie
- Goede tolerantie
- Goede oppervlaktekwaliteit
- Flexibiliteit in ontwerp

Nadelen

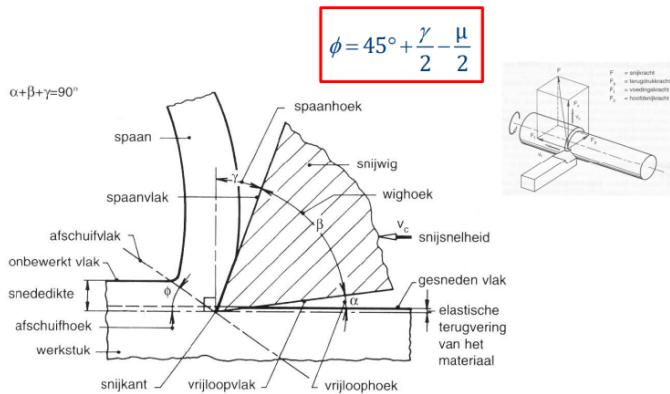
- Materiaalverlies
- Hogere kosten bij grote aantallen
- Langere productietijd
- energieintensies
- Vervuilend (spanen, koelvloeistof)

Bij verspannen kunnen verschillende tools gebruikt worden. Deze tools hebben verschillende snijvlakken en geometrieën die geschikt zijn voor verschillende materialen en bewerkingen.

- bijtel
- frees
- boor
- slijpschijf

3.1 bijtelbewerkingen

Bij bijtelbewerkingen wordt materiaal verwijderd door een scherpe bijtel over het werkstuk te bewegen.



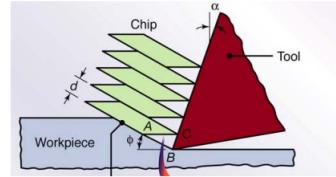
Figuur 3.1: Verwijdering van materiaal door een bijtel → creëert spanen

Bij het verspannen met een bijtel ontstaan er spanen. Spanen zijn kleine stukjes materiaal die worden verwijderd van het werkstuk. De grootte van de spanen wordt bepaald door de snedediepte, de voeding, de spaanhoek en de wrijvingscoëfficiënt.... Zometeen meer in detail

hierover

Spanen is een plastische vervorming van de spanen maar het oppervlak van het werkstuk ondergaat ook een elastische vervorming. Dit kan leiden tot oppervlaktfouten zoals ruwheid, hardheid, ...

- μ = wrijvingscoëfficient
- h = snededikte
- b = snedebreedte (loodrecht op figuur)
- Grootte afschuifvlak A = $b \cdot h / \sin(\phi)$
- Benodigde afschuifkracht (als deel van snijkrachten) $\rightarrow F = A \cdot \tau_{\max}$
- Formule toont belangrijke invloed spaanhoek en wrijving op snijkrachten!



$$\phi = 45^\circ + \frac{\gamma}{2} - \frac{\mu}{2}$$

Figuur 3.2

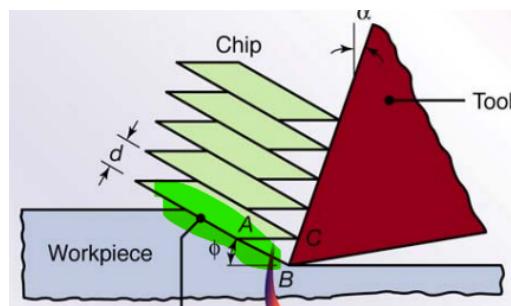
Afschuifhoek: $\phi = 45^\circ + \frac{\gamma}{2} - \frac{\mu}{2}$

waarbij γ de spaanhoek is en μ de wrijvingshoek tussen spaan en snijvlak.

De afschuifhoek bepaalt de richting waarin de spaan wordt afgesneden. Een grotere afschuifhoek leidt tot een betere spaanvorming en minder kracht

afschuifvlak (shear zone) A: $A = \frac{b * h}{\sin(\phi)}$

waarbij b de breedte, h de hoogte en ϕ de afschuifhoek.



Figuur 3.3

afschuifkracht: $F = A * \tau$

waarbij A het afschuifvlak is en τ de schuifspanning van het materiaal.

Grotere spaanhoek \rightarrow kleiner afschuifvlak \rightarrow minder kracht nodig om spaan te vormen.

3.1.1 Secundaire afschuifvlak(shear zone)

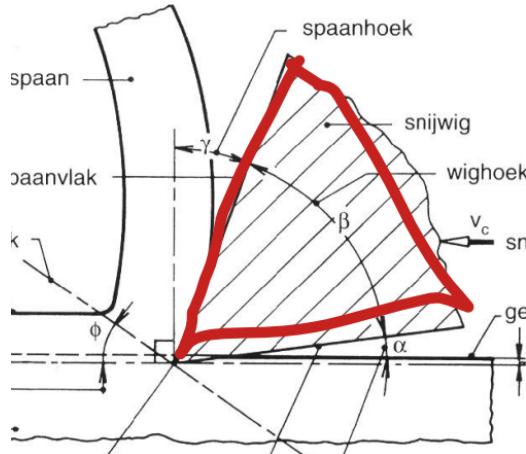
Spanen gaan verwijderd worden en daarbij treedt wrijving op tussen spaan en bijtel; dit is het secundaire afschuifvlak. Als je negatieve spaanhoeken γ meet, dan is er veel meer wrijving

tussen de spaan en de bijtel.

- Spaanhoek $\gamma \rightarrow$ groter \rightarrow minder kracht nodig. Tussen -10° en 30°
- Wighoek $\beta \rightarrow$ zo groot mogelijk maken.

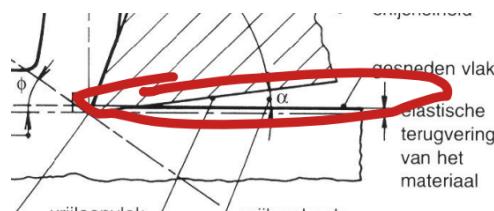
Wighoeken bepalen de sterkte van de bijtel en de warmteafvoer. Grote wighoeken brengen de warmte sneller weg en dus kun je grotere voedingsnelheden gebruiken.

Wighoek moet zo groot mogelijk zijn



Figuur 3.4: Wighoek

- Vrijloophoek $\alpha \rightarrow$ groter \rightarrow minder wrijving tussen werkstuk en bijtel. Tussen 6° en 10° Vrijloophoek moet er zijn zodat je bijtel niet begint te wrijven over het oppervlakte van je materiaal. Zelfs rond 0° kan al zorgen voor veel wrijving.



Figuur 3.5: Vrijloophoek

- Snedediepte \rightarrow groter \rightarrow meer kracht nodig
- Voeding \rightarrow groter \rightarrow meer kracht nodig

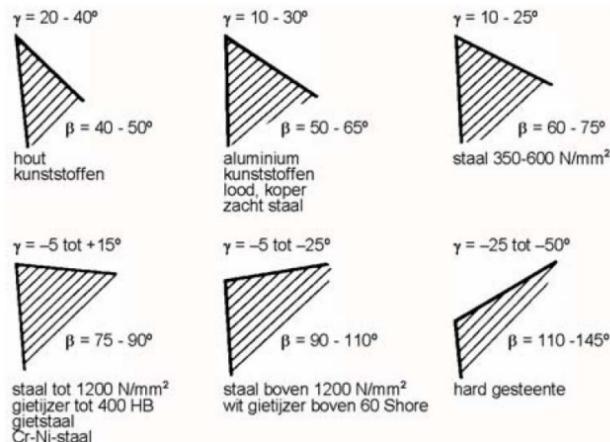
Deze verschillende hoeken hebben effect op elkaar. Dit is dus een optimalisatieprobleem. Je moet afwegen wat de beste hoeken zijn voor jouw materiaal en bewerking.

De spaanhoek is enorm belangrijk. Een grote spaanhoek snijdt makkelijk materialen zoals aluminium, koper, kunststof. Voor hardere materialen zoals staal is een kleinere spaanhoek nodig omdat het materiaal anders te hard is om te snijden en je moet veel te veel kracht zetten. Negatieve spaanhoeken worden gebruikt voor zeer harde materialen.

Extra info

Deze bewerkingen zijn allemaal met ductiele materialen. Brosse materialen gaan snel afbrokkelen en hebben dus niet veel elastische vervorming. Je kunt druk uitoefenen op brosse materialen

tijdens bewerking; het materiaal gaat zich dan meer ductiel gedragen. Hoe oefen je druk uit op materialen? Door een grote spaanhoek te gebruiken, die veel spanning creëert.



Figuur 3.6: Verschillende spaanhoeken voor verschillende materialen

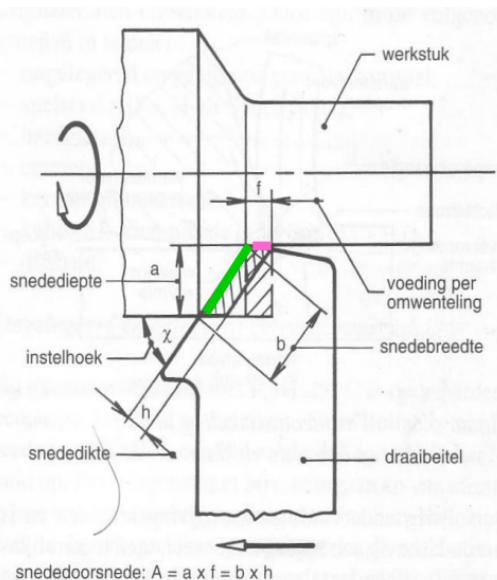
3.2 Beweging, snelheden en voedingen, temperaturen, slijtage

Er zijn verschillende factoren die de kracht op je werkstuk bepalen

- Snijsnelheid (v)
- Voeding (f)
- Snedediepte (a)
- Snedebreedte (b)
- Snededikte (h)

Snijsnelheid: $v = \pi \cdot d \cdot n$

waarbij d de diameter is en n het toerental in omwentelingen per minuut.



Figuur 3.7: Snededoorschneide bij bijtelbewerking

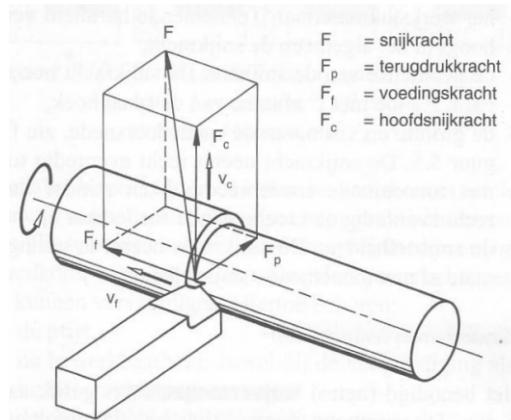
Snededoorsnede: $A_d = a \cdot b$

waarbij a de snedodiepte is en b de snedebreedte.

3.2.1 Krachten

Tijdens het bewerken van materialen met een bijtel komen er verschillende krachten op het werkstuk en de bijtel te staan.

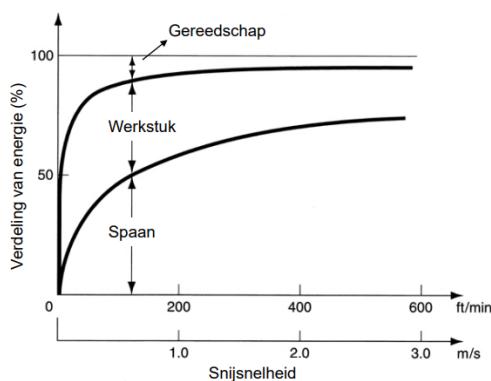
- Snijkracht (F_c): Kracht die nodig is om de spaan te vormen.
- Voedingskracht (F_f): Kracht die in de voedingsrichting werkt.
- Terugdrukkracht (F_p): Kracht die nodig is om de bijtel in het werkstuk te duwen.



Figuur 3.8

Wat neem voeding op?

- Warmteontwikkeling
- Werkstuk
- Gereedschap
- Spaanvorming Afhankelijk van de snijsnelheid v_c en de voeding f . is er een andere verdeling van de energie.



Figuur 3.9: Voeding of snijsnelheid in functie van energieverdeling

3.3 Factoren bij bijtelbewerking

- **Opbouwlaag (build-up edge/BUE)**

Een dunne, hard geworden laag metaal die zich bij lage snijsnelheden aan het snijgereedschap opbouwt aan de punt van de bijtel. Zie video toledo. Deze stukken trekken mee aan het oppervlak van het werkstuk en nemen dus meer af dan nodig is. Je krijgt dan een stappige oppervlakte.

Verbeteren / voorkomen:

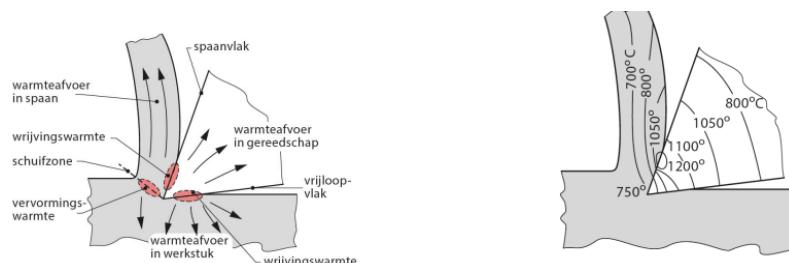
- Verhoog de snijsnelheid: bij hogere snelheden herstelt het materiaal sneller, waardoor BUE minder snel vormt.
- Gebruik koeling of smering: vermindert hechten en verlaagt gereedschapstemperatuur.
- Kies geschikte gereedschapsmaterialen en coatings (bv. TiN/AlTiN) en houd de snijkant scherp.
- Pas voeding en snedediepte aan of gebruik onderbroken snedes (pecking) om opbouw te vermijden.
- Controleer en vervang gereedschap regelmatig; verwijder opbouwranden veilig indien nodig.

- **Warmte**

Deze processen genereren veel warmte. Dit kan het materiaal aan de oppervlakte vervormen, leiden tot veranderde hardheid en ruwheid en verhoogde slijtage. Er zijn verschillende manieren om de warmte te verminderen:

- Koelen met koelvloeistof -> hoge nauwkeurigheid en lage ruwheid.
- Smeren met olie -> hogere snijsnelheid mogelijk, hogere voeding.
- Spaanafvoer optimaliseren -> vermijd ophoping van spanen die warmte vasthouden.
- Werkstuk emulseren in water, koelvloeistof of olie.

Warmte wordt op het werkstuk op drie plaatsen gecreeerd: 1. Afschuifvlak (shear zone): 2. Secundaire afschuifvlak (tussen spaan en bijtel): 3. Vrijloopvlak (tussen werkstuk en bijtel):



Figuur 3.10

- **Spaanvorming**

Spanen kunnen het werkstuk beschadigen als ze niet goed worden afgevoerd. Dit kan leiden tot krassen en ruwheid.

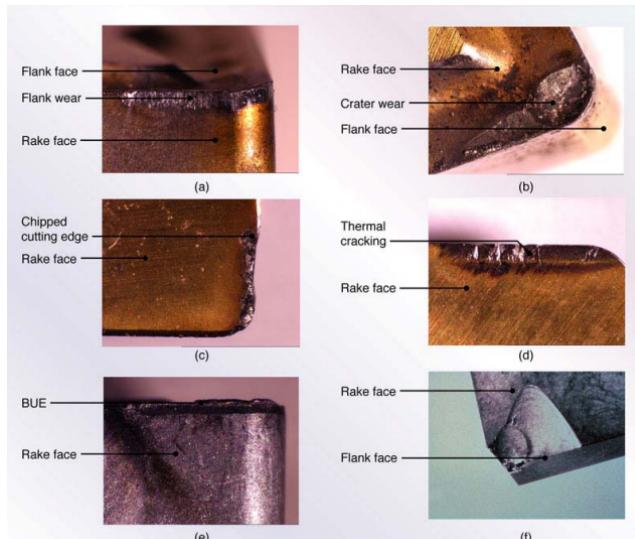
- Continue spaanvorming

- Lamelsspaan
- brokspaan

- **Slijtage**

Tijdens het bewerken van materialen slijt het gereedschap. Dit kan leiden tot een slechtere oppervlaktekwaliteit, hogere krachten, hogere temperaturen, enz. Slijtage kan veroorzaakt worden door:

- Vrijloopslijtage: door wrijving tussen gereedschap en werkstuk.
- Thermische slijtage: door hoge temperaturen die het gereedschap verzwakken
- Kerfslijtage: door herhaalde spanningsconcentraties bij het vrijloopvlak.
- Breuk: Afbreken van een stuk
- Werkstuksslijtage: Vlijloopvlak slijtage verhoogd met verbruik van de bijtel.
- Neusslijtage: slijtage aan de punt van de bijtel door hoge krachten en temperaturen.



Figuur 3.11

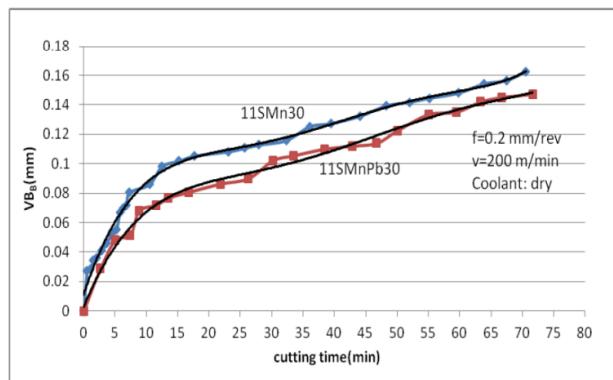
Je kunt slijtage verminderen door:

- Gebruik van coatings op gereedschap (bv. TiN, AlTiN) om wrijving en hitte te verminderen.
- Optimaliseren van snijsneldheid, voeding en snedediepte om overmatige hitte en krachten te vermijden.
- Toepassen van koeling en smering om hitte af te voeren en wrijving te verminderen.
- Tool met lood PB gebruiken – lood geeft minder slijtage omdat het smerende eigenschappen heeft -> minder wrijving.

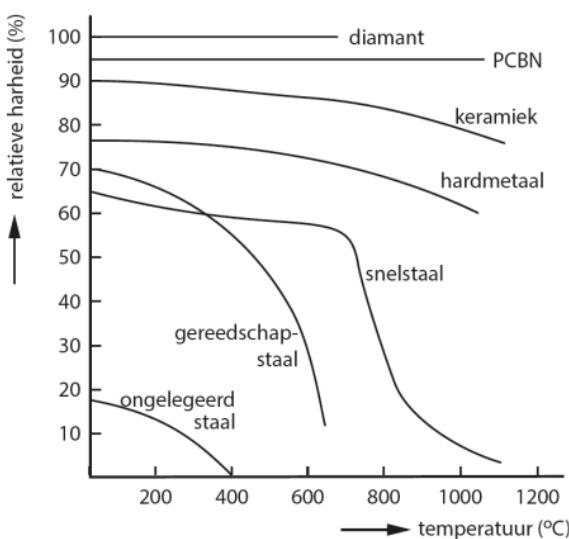
3.4 Snijmaterialen

Met welk materiaal ga je je bijtel maken? Je beitel moet ductiel zijn en taai zijn. Het perfecte gereedschap is goedkoop, ductiel en taai.

1. **Snelstaal (HSS)** (v_c 6-12m/min). gehard staal; geschikt voor algemene toepassingen bij



Figuur 3.12



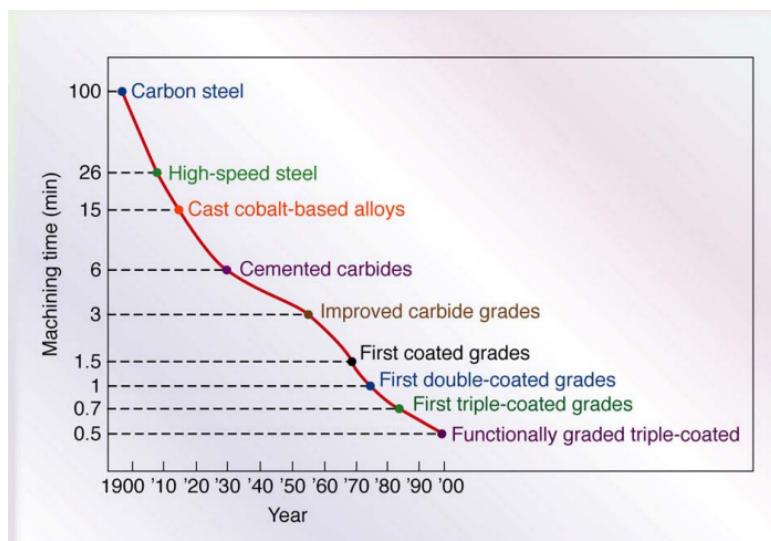
Figuur 3.13: Relatieve hardheid in functie van temperatuur voor verschillende snijmaterialen

lage tot matige snijsnelheden. Goedkoop om te maken.

2. **Hardmetaal (wolframcarbide, WC + Co)** hittebestendig; geschikt voor hogere snijsnelheden en hardere materialen dan HSS.
3. **Gecoate hardmetaal (v_c 60–600 m/min)** Dunne coatings (bv. TiN, AlTiN) verbeteren slijtvastheid en hittebestendigheid; de bovenste laag moet slijtage weerstaan terwijl binnenste lagen warmte afvoeren. **Productie:** PVD (Physical Vapor Deposition) of CVD (Chemical Vapor Deposition).
4. **Keramiek in metaalmatrix (hoge v_c)** Zeer hard en hittebestendig; geschikt voor hoge snijsnelheden bij harde materialen. Keramische deeltjes zijn ingebed in een metaalmatrix (nitriden, oxiden of carbiden). Vermijd onderbroken sneden omdat keramiek brok is; houd de snijdedoorsnede klein.
5. **Diamant** — zeer hard; beperkt toepasbaar bij bewerking van staal omdat diamant bij hoge temperaturen en in aanwezigheid van ijzer kan reageren en degraderen.

Snelstaal is goedkoop, maar het wordt duurder naarmate je betere materialen gebruikt. Je moet dus bepalen hoe goed je gereedschap moet zijn voor jouw toepassing.

Al deze snijmaterialen zijn gecreeerd door de jaren heen. Er wordt nog steeds onderzoek gedaan



Figuur 3.14: Overzicht van snijmaterialen en hun toepassingsgebieden

aan betere, goedkopere en duurzamere materialen.

3.4.1 Classificatie van snijmaterialen

- Aanduiding (ISO-norm 513) - bv. **HC-K15**

HC gecoat hardmetaal
HW onbekleed hardmetaal op wolframbasis
HT cermets
CA keramiek op aluminium basis
CM keramiek op siliciumnitride basis
CC gecoat keramiek
CN keramiek op siliciumnitride basis
BN polykristallijn kubisch boriumnitride (PCBN)
DP polykristallijn diamant (PKD)

2 cijfers: toepassingsbereik/mechanische belastbaarheid

- klein getal → bros, hard, hittebestendig → finisseren, hoge snijsneldheid
- Groot getal → taai → grote snijkrachten en dynamische belastingen

P	staal (afgezien van de apart genoemde groepen staalsoorten)
M	corrosievast staal, austenitisch staal
K	gietijzer, ferrometalen, legeringen op Ni-, Ti- en Co-basis, geharde materialen
N	non-ferrometalen, niet-metallische materialen, keramiek, kunststoffen en composieten
S	hittebestendige legeringen op basis van Ni en Co, titanium en Ti-legeringen
H	geharde materialen, RVS-series 300 en 400, gesinterde carbiden

Figuur 3.15: Classificatie van snijmaterialen

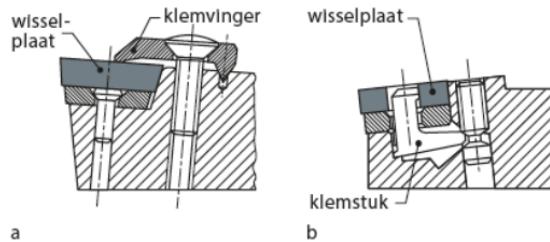
belangrijk voor tijdens het examen. Hij kan een klasse gegeven zoals in de figuur en jij moet weten waar dat voor staat!

3.5 Optimale snijsneldheid

Bij alle machines worden inserts gebruikt voor bittels. Als bittels kapot gaan door slijtage, kan je die vervangen. Je moet dus de optimale snijsneldheid kiezen zodat je zo lang mogelijk met een insert kan werken

Bij grotere snijsneldheden is er meer slijtage.

Je kunt de levensduur van een gereedschap voorspellen met de formule van Taylor:



Figuur 3.16: Klemming van Inserts in een houder

formule van Taylor: $v_c T^n = C$

waarbij C een constante is en n een materiaalconstante, T de gereedschaplevensduur in minuten en v_c de snijssnelheid in m/min.

Je kunt deze formule gebruiken om de optimale snijssnelheid te bepalen.

Hier zijn C en n materiaalconstanten. Deze formule laat zien hoe veranderingen in snijssnelheid de levensduur beïnvloeden.

Voorbeeld:

Gegeven: $n = 0.125$. Verhoog de snijssnelheid met 50%: $v_2 = 1.5 v_1$.

Volgens Taylor: $v_1 T_1^n = C$ en $v_2 T_2^n = C$. Daarom

$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^n$$

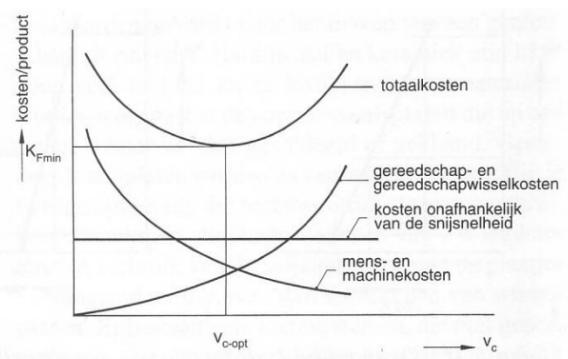
en dus

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{-1/n} = (1.5)^{-1/0.125} = (1.5)^{-8} \approx 0.039.$$

Dus als je de snijssnelheid met 50% verhoogt, wordt de gereedschaplevensduur ongeveer 0.039 keer zo groot — oftewel ongeveer 25 keer korter.

De vraag is wat de optimale snijssnelheid is?

- Optimale snijssnelheid



- Vuistregels (draaien $T=10$ à 20 [minuten] – frozen $T=60$ [minuten])
- Noot: optimaliseren naar productietijd

Figuur 3.17

4 Verspanen: Draaien

Draaien is een veelgebruikte verspaningstechniek waarbij een roterend werkstuk wordt bewerkt met een bijtel om materiaal te verwijderen en de gewenste vorm te creëren.

Je kunt hier verschillende bewerkingen mee uitvoeren:

1. **Langsdraaien:** Het verwijderen van materiaal langs de lengteas van het werkstuk om de diameter te verkleinen.
2. **Vlakdraaien:** Het creëren van een vlak oppervlak aan het uiteinde van het werkstuk.
3. **Insteekdraaien:** Het snijden van een groef of het afkappen van een deel van het werkstuk.
4. **Schroefdraad Snijden:** Het creëren van schroefdraad op het oppervlak van het werkstuk.

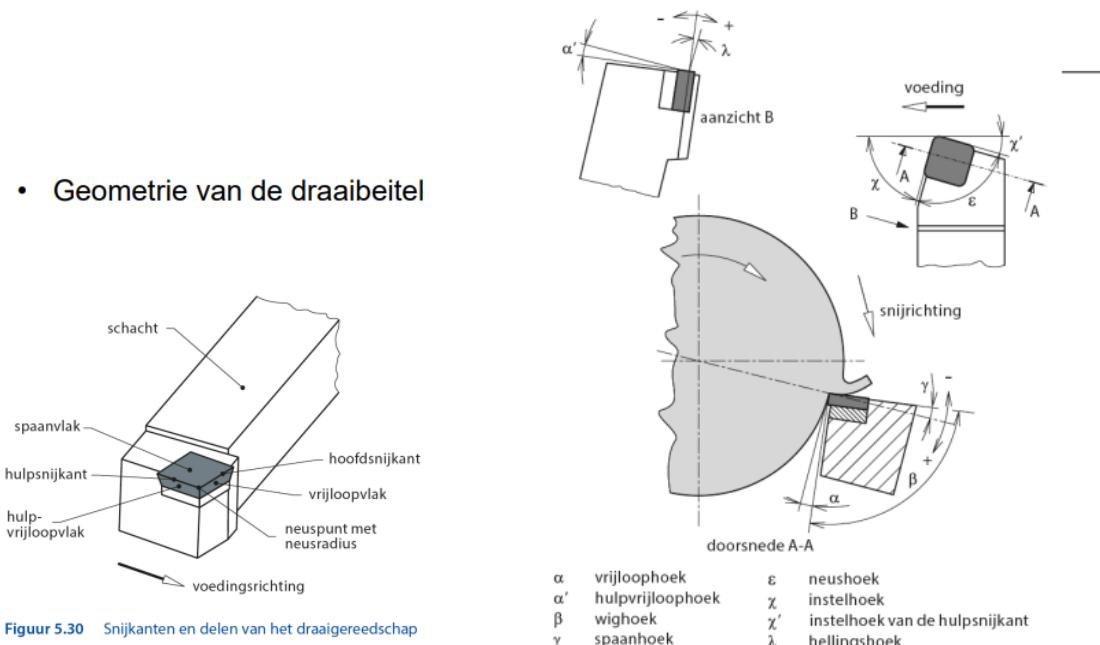
Extra's:

Kopsteken: Het werkstuk wordt in de lengte doorgesneden.

Profiel draaien: Een specifiek profiel van het werkstuk maken die dan gedraaid kan worden. Dit is specifiek en dus duur, maar als je veel van dit stuk moet maken kan dit het waard zijn.

In de industrie: Vandaag de dag wordt er veel gebruikgemaakt van computergestuurde machines. CNC-draaien is een geautomatiseerd proces waarbij computergestuurde machines precies draaien volgens digitale ontwerpen. Veel conventionele machines en profieldraaien zijn vervangen door CNC-draaien.

4.1 Het Draaiproces



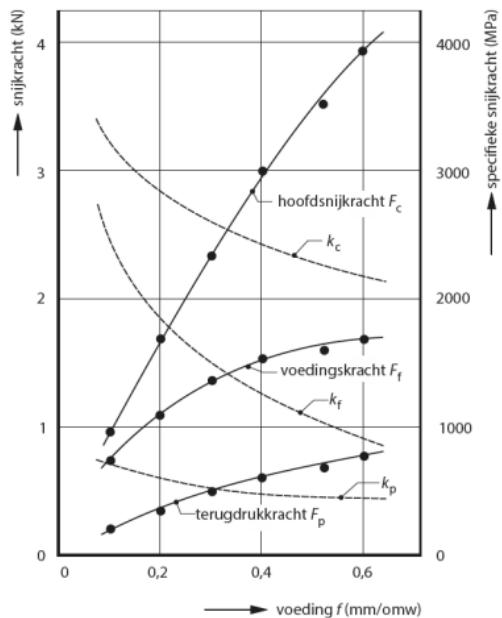
Figuur 4.1: Draaiproces

Hellingshoek Een hellingshoek is de extra hoek die gecreerd wordt door het dat je ronde

dingen aan het verspanen bent. Je vrijloophoek α wordt kleiner hierdoor. Je moet dus hiervoor compenseren door een grotere vrijloophoek te gebruiken.

4.2 Krachten bij Draaien

Zoals vermeld in het algemeen Verspannen heb je drie krachten op je werkstuk



1. De Hoofdsnijkracht (F_c)
2. De Voedingskracht (F_f)
3. De Terugdrukkracht (F_p)

Afhankelijk van de voeding gaan die krachten anders verdeeld zijn. De figuur toont een steekproef van metingen van de krachten bij verschillende voedingen.

Figuur 4.2: Krachten bij Draaien

Zorg dat je de volgende formules kent en kunt uitleggen:

De hoofdsnijkracht wordt berekent met de formule van Kienzle:

Kienzle vergelijking Hoofdsnijkracht: $F_c = k_c \cdot a \cdot f^{(1-e)}$

waarbij k_c (N/mm² of Pa) de snijkrachtcoëfficiënt is, a de snedediepte, f de voeding en e de snijkrachtexponent.

k_c zijn materiaalconstanten die dan ook nog je optimale snijsnelheid gaan bepalen.

b: snedebreedte bij draaien: $b = \frac{a}{\sin x}$
met a de snedediepte en x de instelhoek (zie figuur).

h: snededikte bij draaien: $h = f \cdot \sin x$
met f de voeding en x de instelhoek (zie figuur).

De optimale snijsnelheid bij draaien is afhankelijk van k_c

Optimale snijsnelheid bij draaien: $v_{c,\text{opt}} = v_c(k_c) \cdot f^{-u}$

waarbij d de diameter is in mm en n het toerental in omwentelingen per minuut.

Aanvullende formules (zonder frm):

$$P_c = F_c v_c$$

$$P_m = \frac{P_c}{\eta}$$

$$v_c = \pi d n$$

$$v_f = f n$$

$$Q = a f v_f$$

$$M_c = F_c \frac{d}{2}$$

Als n in rev/min en d in mm: v_c ([m/min]) = $\pi \frac{d \text{ [mm]}}{1000} n$ [rev/min].

Korte uitleg en eenheden:

- $P_c = F_c v_c$: vermogen is kracht maal snelheid ($N \cdot m/s = W$). Als v_c in m/min gegeven is, deel door 60 om naar m/s te gaan.
- $P_m = P_c/\eta$: rekening houden met mechanische/elektrische efficiëntie η (dimensieloos); motorvermogen is altijd groter dan of gelijk aan het snijvermogen.
- $v_c = \pi d n$: op één omwenteling legt een punt op de omtrek een afstand πd af; keer het aantal omwentelingen per tijd geeft lineaire snelheid. Let op eenheden (mm vs m, rev/min vs rev/s).
- $v_f = f n$: voedingssnelheid is voeding per omwenteling maal het aantal omwentelingen per tijd; gebruik $mm/rev \times rev/min = mm/min$.
- $Q = a f v_f$: materiaalafname (volume/tijd) is snedediepte \times voeding per omwenteling \times voedsnelheid; zorgt voor mm^3/min bij consequente eenheden.
- $M_c = F_c(d/2)$: koppel is kracht maal arm (halve diameter als hefboom) $\rightarrow N \cdot m$.

Al deze formules zijn belangrijk om te begrijpen hoe de verschillende parameters bij draaien met elkaar in verband staan. Als hij vraag op het examen. Met deze parameters en deze voeding. Wat is de maximale snijsnelheid die ik kan gebruiken? Je kunt deze logarithmisch plotten zoals de figuur hieronder om te zien welke snijsnelheid je maximaal kunt gebruiken

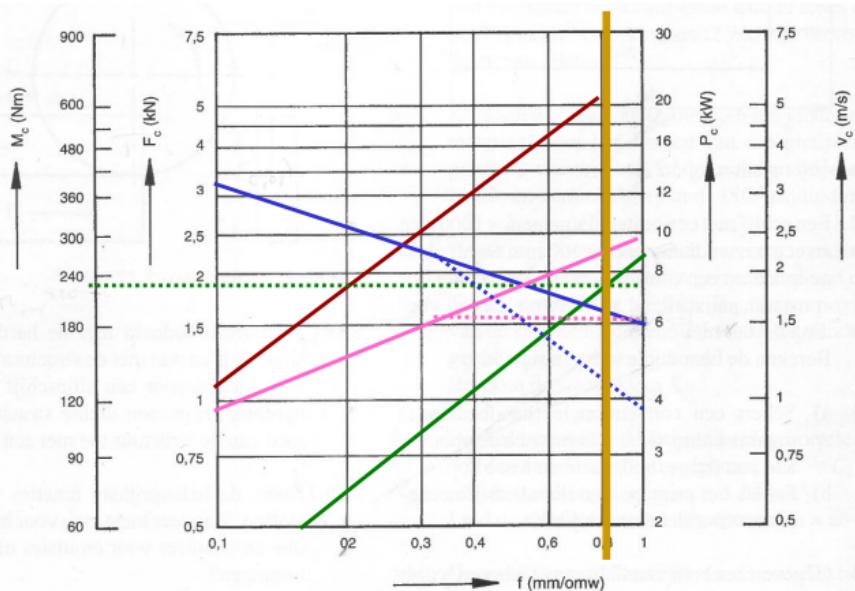
Zie dat alle formules in verband staan met de voeding.

$$F_c = k_{c1.1} \times a \times f^{(1-\varepsilon)}$$

$$M_c = F_c d/2$$

$$v_{c-opt} = v_{c1.1} \times f^{-u}$$

$$P_c = F_c \times v_c$$



Figuur 4.3: Bepaling krachten, voeding of moment op werkstuk

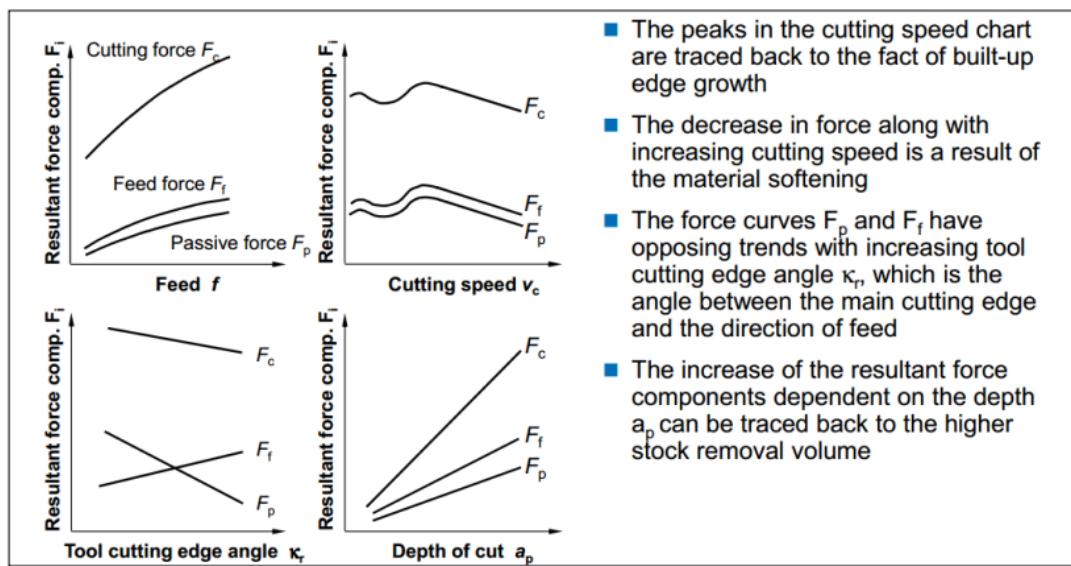
Zo zie je hoe instelparameters zoals voeding, snijsnelheid en snedediepte in de industrie, bepaald worden.

4.3 Invloeden voeding f en snedediepte a op de kracht en snijsnelheid

BELANGRIJK, HIJ KAN LEGE FIGUREN GEVEN OP HET EXAMEN EN JIJ MOET EFFECTEN UITLEGGEN

- Softening effect (verzachting):** Bij hogere voeding ontstaat meer warmte in het snijgebied. Die warmte maakt het oppervlak lokaal zachter, waardoor voor dezelfde snijsnelheid de snijkracht en voedingskracht doorgaans afnemen.
- Build-up edge (BUE):** Bij lage snijsnelheden en bepaalde voedingen kan materiaal aan de snijkant aanhechten (BUE). Dit veroorzaakt tijdelijke pieken in de krachten en kan de oppervlaktekwaliteit verslechtern; bij hogere voeding of snelheid neemt dit effect vaak af.
- Snijkanthoek κ_r :** Het veranderen van de hoek van het snijvlak verschuift de richting en verdeling van de krachten; sommige componenten (bijv. F_c) kunnen toenemen terwijl andere (bijv. F_f of F_p) afnemen, waardoor de krachten anders verdeeld zijn.
- Snedediepte a_p :** Een grotere snedediepte vergroot het verwijderde volume per omwenteling en verhoogt daardoor alle resulterende krachtcomponenten (snijkracht, voedingskracht, terugdrukkracht).

- Invloed f, ap, vc, Xr



Figuur 4.4

4.4 Spaanvorming bij Draaien

Er zijn verschillende parameters die spaanvorming beïnvloeden

- **Instelhoek κ_r :** De spaanslankheid $\frac{b}{h}$ hangt mede af van de instelhoek (met b de snedebreedte en h de snededikte).
- **Hellingshoek λ :** Een grotere hellingshoek kan de effectieve snedebreedte b vergroten en daarmee de spaanslankheid beïnvloeden.
- **Snedediepte a :** Een grotere snedediepte vergroot doorgaans b en verhoogt de spaanslankheid.
- **Voeding f :** Grottere voeding verhoogt de snededikte h , wat resulteert in dikkere spanen die moeilijker breken.
- **Materiaal:** Ductiele materialen veroorzaken vaak lange, samenhangende spanen; brosse materialen geven korte, brokkelige spanen.
- **Spaanhoek γ :** Een grotere afschuifhoek maakt spaanvorming gemakkelijker en vermindert de kans op gebroken spanen.

Spaanslankheid bij Draaien:
$$\frac{b}{h} = \frac{a}{f \cdot \sin \kappa_r}$$

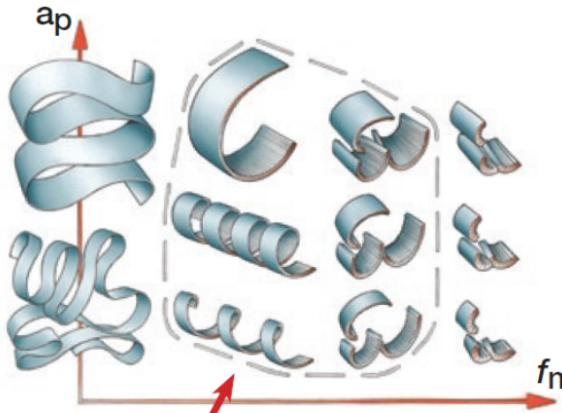
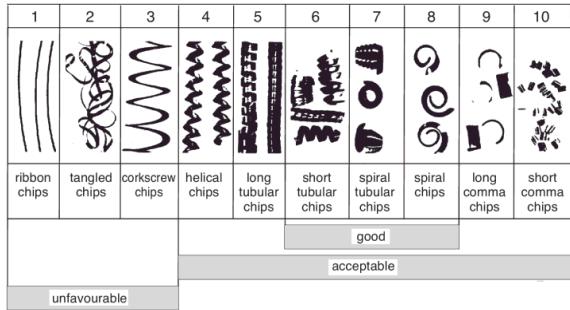
waarbij b de snedebreedte is, h de snededikte, a de snedediepte, f de voeding en κ_r de instelhoek.

$$h = f \cdot \sin \kappa_r$$

De snededikte h bij draaien wordt bepaald door de voeding f en de instelhoek κ_r . Een grotere voeding of een kleinere instelhoek resulteert in een dikkere spaan, wat de spaanvorming beïnvloedt.

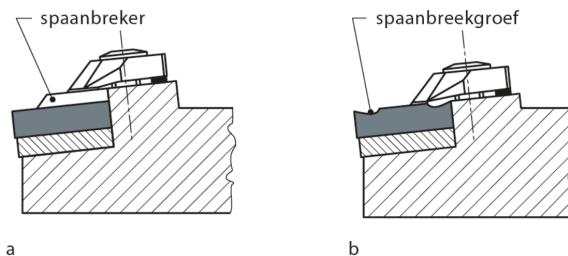
$$b = \frac{a}{\sin \kappa_r}$$

De snedebreedte b bij draaien wordt bepaald door de snedediepte a en de instelhoek κ_r . Een grotere snedediepte of een grotere instelhoek resulteert in een bredere spaan, wat de spaanvorming beïnvloedt.



Figuur 4.5: Verschillende types spaanvorming bij draaien en welke goed zijn en welke parameters invloed hebben.

Om grote spannen te worden spaanbrekers gebruikt. Spaanbrekers zijn inkepingen in de bijtel die de spaan breken in kleinere stukken.



Figuur 4.6: Spaanbrekers in bijtels

4.5 Oppervlakteruwheid bij Draaien

De oppervlakteruwheid wordt gecreerd door de bijtel. De bijtel is niet perfect scherp en is dus licht bol, dit is de neusradius $*r_\epsilon$. Deze bol zal kleine inkepingen maken in het oppervlak. De ruwheid wordt dus bepaald door de neusradius en de voeding.

De oppervlakte ruwheid wordt bepaalde door de voeding en de neusradius.

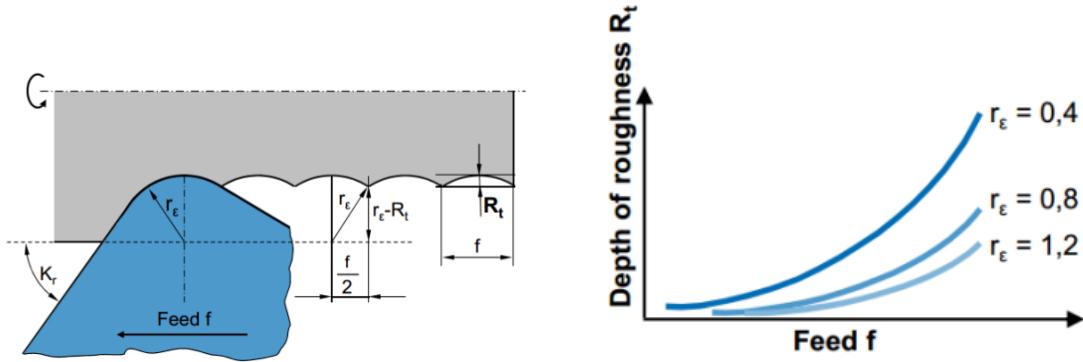
- R_t is de totale hoogte van de ruwheid
- R_a is de gemiddelde hoogte van de ruwheid

Kinematische ruwheid of drawsruwhheid bij draaien:

Kinematische ruwheid is puur door de geometrie van het systeem.

De processruwheid

De processruwheid is de ruwheid die ontstaat door trillingen en andere onvolkomenheden in het systeem. Het is de ruwheid door de opbouwsnijkant (Build-up edge BUE) en andere factoren.



Figuur 4.7

Totale ruwheid

De totale ruwheid wordt bepaald door de kinematische ruwheid en de processruwheid

$$\text{gemiddelde ruwheid bij Draaien: } R_a = \frac{f^2}{32 \cdot r_\epsilon}$$

waarbij f de voeding is en r_ϵ de neusradius van de bijtel.

$$\text{totale ruwheid bij Draaien: } R_t = \frac{f^2}{8 \cdot r_\epsilon}$$

waarbij f de voeding is en r_ϵ de neusradius van de bijtel.

Afleiding (oppervlakteruwheid). Stel dat de neus van de bijtel lokaal een cirkelboog met straal r_ϵ vormt en dat de voeding per omwenteling f de koorde van die boog is. De booghoogte (sagitta) is

$$s = r_\epsilon - \sqrt{r_\epsilon^2 - \left(\frac{f}{2}\right)^2} \approx \frac{f^2}{8 r_\epsilon},$$

waarbij in de laatste stap de binomiale benadering wordt gebruikt (geldt voor $f \ll r_\epsilon$). Dit geeft de peak-to-valley ruwheid $R_t \approx s = \frac{f^2}{8 r_\epsilon}$. Voor een periodieke boogvorm is de gemiddelde ruwheid ongeveer $R_a \approx R_t/4$, dus $R_a \approx \frac{f^2}{32 r_\epsilon}$.

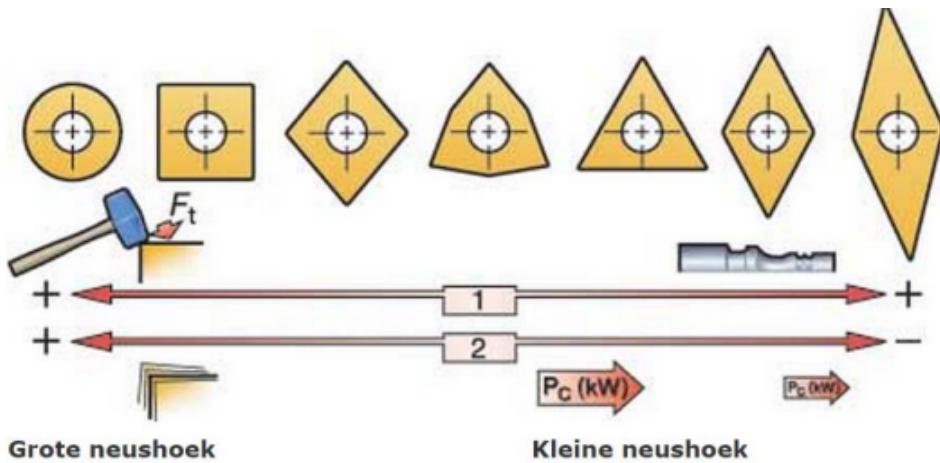
Eenheden en geldigheid: als f en r_ϵ in mm zijn, dan zijn R_t en R_a ook in mm. De benaderingen zijn geldig wanneer $f \ll r_\epsilon$.

4.6 De Draaioperatie

Draaien wordt met **verschillende beitels** gedaan die verschillende bewerkingen kunnen uitvoeren. De punten van de bijtels noemen we **inserts**.

De componenten worden in een draaimachine gestoken die deze beitels kan bewegen langs verschillende assen en het werkstuk kan laten roteren. Ze kunnen bewegen door AC (asynchrone) motoren of servomotoren die de bewegingen zeer precies kunnen uitvoeren. De snelheid van de motoren wordt gecontroleerd door een tandwielkast.

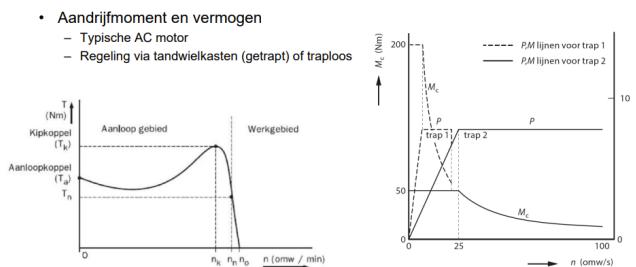
Motoren gaan vooral werken rond de stijle curve. Dit is interessant omdat je met verschillende



- Sterkere snijkant
- Hogere voedingen
- Verhoogde snijkrachten
- Verhoogde trilling

- Zwakkere snijkant
- Verhoogde toegankelijkheid
- Verlaagde snijkrachten
- Verlaagde trilling

Figuur 4.8



Figuur 4.9: Tandwielkast voor draaimachine

lasten dezelfde toerental kunt behouden.

5 Verspanen: Boren, Fabricage en ronde gaten

5.1 Inleiding Boren

Boren is een verspaningstechniek die wordt gebruikt om ronde gaten in materialen te maken. Het proces omvat het gebruik van een roterend boorgereedschap, meestal een boor, dat in het materiaal wordt gedrukt om materiaal te verwijderen en een gat te creëren.

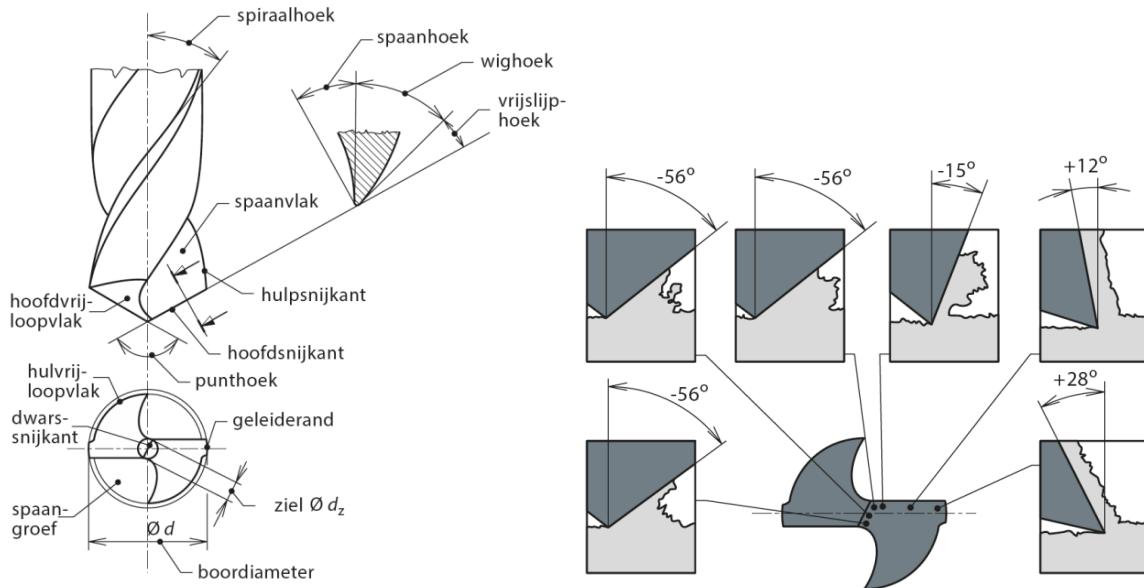
Belangrijke booroperaties zijn:

1. **Boren:** Het primaire proces waarbij een boor wordt gebruikt om een rond gat te maken in het materiaal.
2. **Kotteren:** Een nabewerkingsproces waarbij een kotter wordt gebruikt om de diameter van een bestaand gat te vergroten en de oppervlakteafwerking te verbeteren.
3. **Ruimen:** Een proces waarbij een ruimer wordt gebruikt om de diameter van een bestaand

gat te vergroten en de nauwkeurigheid en oppervlaktekwaliteit te verbeteren. Je kunt niet met normaal boren een accuraatheid van H7 bereiken. Hiervoor moet je ruimen gebruiken.

4. **Tappen:** Het proces van het snijden van interne schroefdraad in een gat met behulp van een tap.

5.1.1 Boorgeometrie



Figuur 5.1: Hoe de geometrie van een boor het werkstuk snijdt

Negatieve spaanhoeken geven enorm veel krachten en is moeilijker te bewerken omdat de afschuifhoek kleiner is. Op een boor heb je belangrijke geometrie die andere functies hebben:

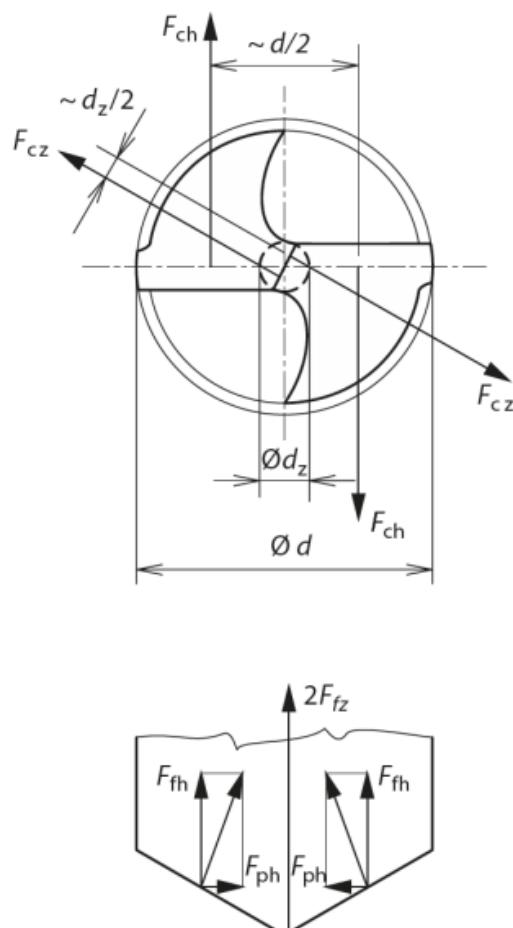
- **Hoofdsnijvlak:** het primaire snijvlak dat het materiaal losmaakt; draagt de meeste snijkracht en beïnvloedt oppervlaktekwaliteit en snijvermogen.
- **Hulpsnijvlak:** een secundair snijvlak nabij de punt dat afwerking en stabiliteit verbetert; draagt bij aan de lokale lastverdeling.
- **Spaanvlak:** het vlak waarlangs de spaan stroomt; bepaalt spaanvorming, spaanaafvoer en warmteontwikkeling (kolkslijtage kan optreden).
- **Vrijloopvlak:** het vlak dat niet in contact mag komen met het bewerkte oppervlak; met voldoende vrijloophoek voorkomt het wrijving en slijtage en behoudt maatnauwkeurigheid.

De boor beweegt naar beneden en maakt een spiraal. De vrijloophoek maakt een spiraal naar beneden. Hoe sneller je beweegt hoe schuiner dat je spiraal ligt. De vrijloophoek is dus kleiner dan de vrijslijphoek. De voeding gaat ook afhankelijk zijn van deze hoek.

5.2 Optredende krachten

Net zoals bij draaien zijn er verschillende krachten die op het werkstuk en de boor werken tijdens het boren. Deze worden met de theorie van Kienzle berekend. 4.2

Boren hebben een grote voedingskracht en een relatief klein snijmoment. De axiale voeding is



Figuur 5.2: Krachten op een boor

groot omdat de boor in het materiaal moet doordringen, terwijl het snijmoment klein is door de geringe diameter. Als de krachten niet in evenwicht zijn, ontstaat excentriciteit en scheef boren, wat leidt tot slechte oppervlaktekwaliteit en onnauwkeurige gaten.

- Grote axiale (voedings) kracht nodig om te penetreren.
- Klein snijmoment door kleine snijcirkel.
- Onevenwicht → scheef boren, variërende diameter en slechte afwerking.

5.2.1 gevolgen van onevenwichtige krachten

Als de krachten niet in evenwicht zijn, gaan de gaten van je boorn groter zijn en niet gelijk over heel het gat.

Net zoals bij draaien worden de krachten, vermogens en momenten berekent met het theorema van Kienzle 4.2.

Belangrijke krachten, vermogens en momenten bij boren:

Voedingskracht: $F_f = k_f \cdot a \cdot f^{(1-e)}$

waarbij k_f de voedingskrachtcoefficiënt is, a de snedediepte, f de voeding en e de voedingskrachtsexponent.

Verspanningsmoment: $M_c = C_m \cdot d^{x_M} \cdot f^{y_M}$

waarbij C_m de momentcoëfficiënt is, d de diameter, f de voeding en x_M, y_M de momentexponenten.

Vermogen bij boren: $P_c = M_c \omega = M_c \cdot 2\pi n$

waarbij M_c het verspanningsmoment is en ω de hoeksnelheid. Het verspanningsmoment is en ω de hoeksnelheid.

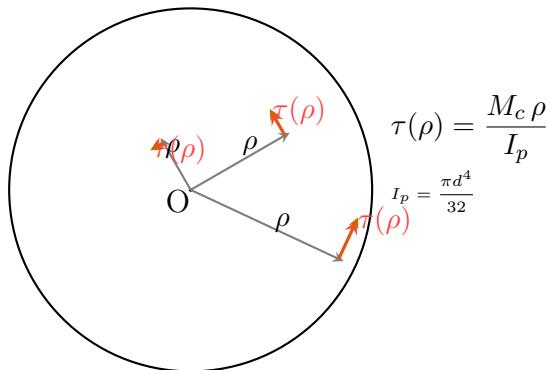
5.3 Keuze van voeding

Het belangrijkste van de keuze van de voeding is de sterkte van de boor. De Torsie kant berekent worden en hieruit de maximale voeding bepaald worden.

5.3.1 Torsie bij Boren

Torsie bij Boren: $\tau = \frac{M_c \rho}{I_p}$

waarbij M_c het verspanningsmoment is, ρ de afstand van het centrum tot het beschouwde punt en I_p het polair traagheidsmoment.



$$\tau(\rho) \propto \rho \text{ (lineair bij vaste } M_c, I_p)$$

Figuur 5.3: Torsiediagram: schuifspanning τ neemt lineair toe met de straal ρ ; relevante formule staat buiten de doorsnede.

Met het traagheidsmoment berekent als volgt (zie statica):

Polair traagheidsmoment voor een cirkelvormige doorsnede: $I_p = \frac{\pi d^4}{32}$

De combinatie van deze formules:

Maximale schuifspanning bij Draaien: $M_d = C_b \cdot d^{x_w}$

waarbij C_b de schuifspanningcoëfficiënt is, d de diameter, x_w de schuifspanningsexponent.

Maximale verspanningsmoment: $M_c = a \cdot M_b$

waarbij M_c het verspanningsmoment is en M_b het maximale verspanningsmoment.

Samen met het verspanningsmoment:

Afleiding van de maximale voeding f_{\max} (twee methodes)

1) Via het schuifspanningscriterium De maximale schuifspanning in de buitenvezel van een ronde doorsnede is

$$\tau_{\max} = \frac{16 M_c}{\pi d^3}.$$

Eis $\tau_{\max} \leq \tau_{\text{allow}}$:

$$M_c \leq \frac{\tau_{\text{allow}} \pi d^3}{16}.$$

Met $M_c = C_m d^{x_M} f^{y_M}$ volgt

$$f_{\max} = \left(\frac{\tau_{\text{allow}} \pi}{16 C_m} \right)^{1/y_M} d^{(3-x_M)/y_M}.$$

2) Via een momentlimiet Als $M_c \leq M_d = C_b d^{x_w}$ dan volgt

$$f_{\max} = \left(\frac{C_b}{C_m} \right)^{1/y_M} d^{(x_w-x_M)/y_M}.$$

Speciale geval – lineair

Wanneer $y_M = 1$ en $x_w - x_M = 1$ volgt

$$f_{\max} = \frac{C_b}{C_m} d,$$

wat overeenkomt met de eenvoudige vorm $f_{\max} = C \cdot d$.

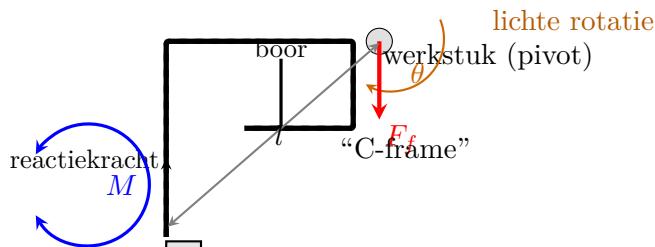
Maximale voeding bij boren: $f_{\max} = C \cdot d$

waarbij C een constante is, d de diameter en f_{\max} de maximale voeding.

Kracht F_f is de kracht recht naar boven bij een boormachine: $F_f = C_f \cdot d^{X_f} \cdot f^{y_f}$

waarbij C_f de voedingskrachtkoëfficiënt is, d de diameter, f de voeding en X_f en y_f de voedingskrachtexponenten.

Deze kracht zal een moment creeëren op de machine die hem kan buigen. Dit is vooral bij C vormige structuren.



Figuur 5.4: C-vormig frame: axiale voedingskracht F_f op het werkstuk (pivot) veroorzaakt een lichte kanteling (θ) rond het werkstuk; de gestippelde lijn toont de gedraaide positie van het frame.

5.4 Boormachines en booroperaties in de industrie.

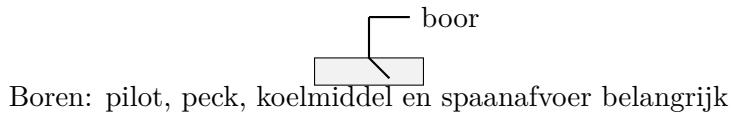
5.4.1 NC-gestuurde boormachines

NC-gestuurde boormachines (Numerical Control) zijn computergestuurde machines die worden gebruikt voor het boren van gaten in materialen met hoge precisie en herhaalbaarheid. Deze machines maken gebruik van vooraf geprogrammeerde instructies om de bewegingen van de boor en het werkstuk te regelen.

5.4.2 Boren

Hier zijn nog relevante type boren en hun toepassingen:

- **Toepassingen:** verspanen van gaten voor bevestigingsmiddelen, passingen en nabewerkingen (ruimen, kotteren); wordt ook gebruikt als pilot voor grotere bewerkingen.
- **Belangrijke parameters:** snijsnelheid v_c , voeding f , snedediepte a , koelmiddel en spanenvorm.
- **Veelvoorkomende borentypes:**
 - **Centerboor / positioneerboor:** korte, stijve boor om een startpunt te maken (voorkomt uitlopen van de boor).
 - **StEEKboor (jobber / stub):** standaard boor voor algemene gaten; lengte en spiraal-type kiezen afhankelijk van diepte en spanenaafvoer.
 - **Verzinkingsboor (countersink):** maakt een conische uitsparing voor schroefkoppen of voor ontbraamwerk.
 - **Split-point / conische punt boren:** verbetert centrering en vermindert wander bij start.



Figuur 5.5: Schematische weergave van een boor in een werkstuk

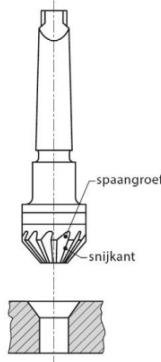
Type boren

- **Verzinkingsboor:** Wordt gebruikt om een conische uitsparing te maken aan het begin van een gat, zodat schroefkoppen gelijk met het oppervlak kunnen liggen.
- **Centerboor:** Wordt gebruikt om een startpunt te creëren.
- **StEEKboor:** Wordt gebruikt voor het boren van algemene gaten.

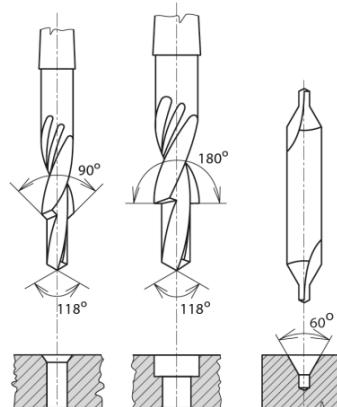
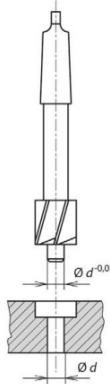
5.4.3 Kotteren

Als je een groot gat hebt en je kunt niet met een boor zo'n groot gat maken, dan kun je kotteren gebruiken. Je kunt ook eventueel frezen maar dat zie je in het volgende hoofdstuk 6. Bij kotteren ga je de boor ook nog laten draaien waardoor je een groter oppervlak gaat verspannen.

- Bijzondere types boren



Figuur 5.56 Verzinkboren



Figuur 5.57 Getrapte boren

Figuur 5.58 Centerboor

Figuur 5.6: Verschillende soorten boren

5.4.4 Draadtappen

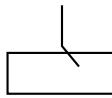
Draadtappen is het snijden van interne schroefdraad in een voorgeboord gat.

Schroefdraad	Pitch (mm)	Aanbevolen tap-boring (mm)
M5 × 0.8	0.8	4.2
M6 × 1.0	1.0	5.0
M8 × 1.25	1.25	6.75
M10 × 1.5	1.5	8.5

Tabel 5.1: Veelvoorkomende metrische tap-boringen

5.4.5 Ruimen

Ruimen is een afwerkingsbewerking om een bestaand gat op nauwkeurige maat en met goede oppervlaktekwaliteit te brengen. Het zorgt ervoor dat je heel precies gaten kunt maken met een goede oppervlaktekwaliteit.



Ruimen: lichte passing en scherpe gereedschapstips voor nauwkeurigheid

Figuur 5.7: Schematische weergave van een reamer in een werkstuk

6 Verspanen: Frezen

Frezen is een verspaningstechniek waarbij een roterend snijgereedschap, de frees, wordt gebruikt om materiaal van een werkstuk te verwijderen. Het proces omvat het bewegen van de frees langs het oppervlak van het werkstuk om de gewenste vorm of maat te bereiken.

- hoofdbeweging

Je gereedschap de **frees** gaat roteren en het werkstuk kan ook roteren.

- voedingsbeweging

Het gereedschap of het werkstuk gaat bewegen om materiaal te verwijderen.

6.1 Inleiding Frezen

- hoofdbeweging

Je gereedschap de **frees** gaat roteren en het werkstuk kan ook roteren.

- voedingsbeweging

Het gereedschap of het werkstuk gaat bewegen om materiaal te verwijderen.

6.1.1 Soorten frezen

Als je gaat frezen via met de as-richting van de frees in de lengteas van de frees, noem je dit **mantelfrezen**.

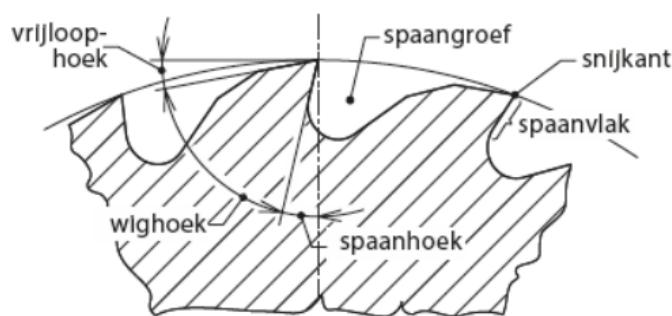
Als je met de punt van de frees gaat frezen noem je dit **kopfrezen**.

6.1.2 Geometrie van de frees

Net zoals bij draaien en boren zijn er verschillende vlakken op de frees die verschillende functies hebben.

- Spaangroef
- Vrijloophoek
- Snijkant
- Snijvlak
- wighoek

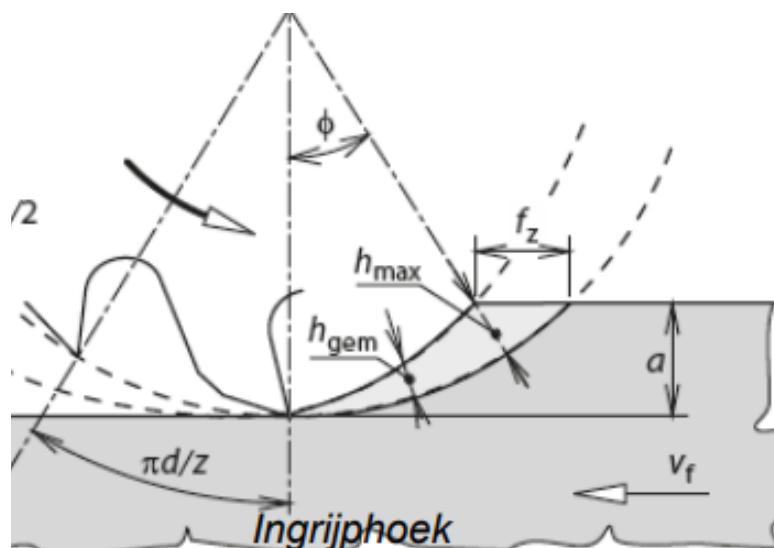
Deze hebben dezelfde eigenschappen als bij boren en draaien. Je kunt meer info vinden bij Algemeen verspannen 3.



Figuur 6.1: Geometrie van een mantelfrees

6.2 krachtwerking bij frezen

Net zoals bij draaien en boren zijn er verschillende krachten die op het werkstuk en de frees werken tijdens het frezen. Ze worden met de theorie van Kienzle berekend.



Figuur 6.2: Krachten op een frees

De krachten op de frees zijn voornamelijk de snijkracht F_c en de voedingskracht F_f ; de terugdrukkracht F_p is meestal kleiner en minder kritisch. Een goed begrip van deze krachten is essentieel voor het optimaliseren van snijparameters en het waarborgen van gereedschapslevensduur.

- Snijkracht F_c : hoofdkracht die het snijproces aandrijft.
- Voedingskracht F_f : kracht die de voeding van de frees aandrijft.
- Terugdrukkracht F_p : kracht loodrecht op F_c en F_f , meestal kleiner.

De snededikte is niet constant omdat je frees rond draait. Voor berekeningen wordt de gemiddelde snededikte gebruikt.

BELANGRIJK VOOR EXAMEN

Je krachten op je frees zijn dus niet constant; zorg dat je dit weet voor het examen. Daarom nemen we het gemiddelde snededikte h_{gem} zodat we toch een berekening hebben voor de kracht.

$$\text{Gemiddelde snededikte bij Frezen: } h_{gem} = f_z \cdot \sqrt{\frac{a}{d}}$$

waarbij f_z de voeding per tand is, a de snedediepte en d de diameter van de frees.

$$\text{Voeding per tand bij Frezen: } f_z = \frac{f}{z_i}$$

waarbij f de voeding is en z_i het aantal tanden van de frees.

$$\text{Snijsnelheid bij Frezen: } v_c = \pi \cdot d \cdot n$$

waarbij d de diameter van de frees is en n het toerental.

$$\text{Ingrijpingshoek bij Frezen: } \phi = \arccos\left(1 - \frac{2a}{d}\right) \Rightarrow \cos \phi = \frac{2/d \cdot a}{d}.$$

waarbij a de snedediepte is en d de diameter van de frees.

$$\text{Tanden per ingrijping: } z_i = \frac{Q}{360} \cdot z$$

waarbij z_i het aantal tanden per ingrijping is, Q de ingrijpingshoek in graden en z het totaal aantal tanden van de frees.

Snijkracht bij Frezen: $F_c = k_c \cdot b \cdot h_{gem}^{(1-e)} \cdot z_i$

waarbij k_c de snijkrachtcoëfficiënt is, b de snedebreedte, h_{gem} de gemiddelde snededikte, z_i het aantal tanden en e de snijkrachtsexponent.

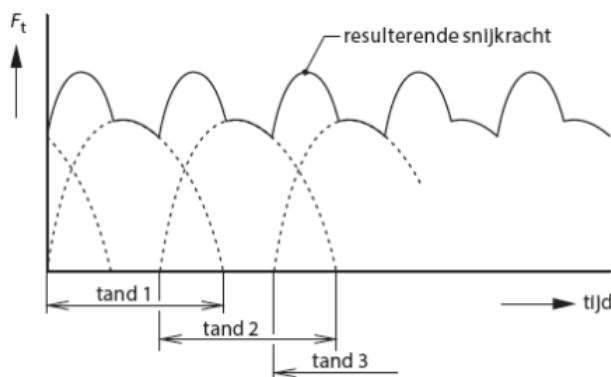
Snijmoment bij Frezen: $M_c = C_m \cdot d^{x_M} \cdot f_z^{y_M} \cdot z_i$

waarbij C_m de momentcoëfficiënt is, d de diameter, f_z de voeding per tand, z_i het aantal tanden en x_M, y_M de momentexponenten.

Voedingskracht bij Frezen: $F_f = k_f \cdot b \cdot h_{gem}^{(1-e)} \cdot z_i$

waarbij k_f de voedingskrachtcoëfficiënt is, b de snedebreedte, h_{gem} de gemiddelde snededikte, z_i het aantal tanden en e de voedingskrachtsexponent.

Bij frezen zijn de krachten op je freez niet constant. De kracht op één tant per draaing is parabolisch en als je de invloed van alle tanden samentelt krijg je een heuvelachtige krachtcurve.



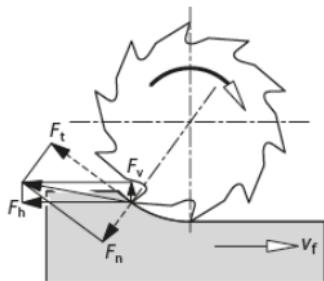
Figuur 6.3: Krachtcurve bij frezen

6.3 Richting van frezen

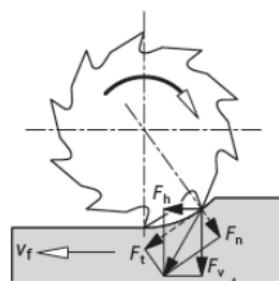
Er zijn twee richtingen van frezen:

- **Meelopend frezen:** De frees draait in dezelfde richting als de voeding. Dit zorgt voor een betere oppervlaktekwaliteit en minder gereedschapsbelasting.
- **Tegenlopend frezen:** De frees draait in de tegenovergestelde richting van de voeding. Dit kan leiden tot een ruwer oppervlak en hogere gereedschapsbelasting.

Tegenlopend frezen



Meelopend frezen



Figuur 6.4: Tegenlopend en meelopend frezen en de krachten die ze creeëren

Tabel 6.1: Vergelijking: Tegenlopend vs Meelopend frezen

Kenmerk	Tegenlopend frezen	Meelopend frezen
Aandrijving / voeding	F_h drukt werkstuk weg van frees.	F_h trekt werkstuk naar frees toe.
Spelingscompensatie	Geen compensatie nodig; veiliger bij backlash.	Spelingcompensatie onmisbaar (gevoelig voor backlash).
Spaanvorming	Dun → dik (chip groeit tijdens snede).	Dik → dun (chip neemt af richting einde).
Snijkracht	Stijgt geleidelijk tijdens ingreep.	Stijgt sneller; hogere piekbelasting bij ingang.
Snijgedrag	Eerst wrijving, later snijden (meer smearing).	Meteen snijden (scherpere insnijding).
Oppervlaktekwaliteit	Meestal matig.	Meestal beter (glad).
Opspanning / stabiliteit	Neiging tot beurtelende krachten → klapperen / chatter.	Werkstuk wordt 'in klem' getrokken; minder klapperen maar vereist stevige klemmen.
Nauwkeurigheid	Kan leiden tot teveel materiaal verwijderd / minder voorspelbaar.	Neiging tot kleinere snij-inhouden (kan preciezer zijn bij goede controle).

6.3.1 Wanneer kiezen: meelopend vs tegenlopend

Praktische richtlijnen:

- **Meelopend (climb milling)** – kies dit bij een stijve machine en goede opspanning, vooral voor afwerking. De chipdikte neemt af tijdens de ingreep (dik → dun), er is minder wrijving bij de instap en doorgaans een betere oppervlaktekwaliteit en langere gereedschapslevensduur; vereist minimale backlash in de aandrijving.
- **Tegenlopend (conventional milling)** – kies dit bij oudere of minder stijve machines, bij ruwe bewerkingen of wanneer er speling is. De chipdikte neemt toe tijdens de ingreep (dun → dik); bij de instap is er meer wrijving en kans op BUE, maar de methode is vaak veiliger voor onstabiele opstellingen of dunwandige onderdelen.

Effecten op oppervlakte en snedediepte

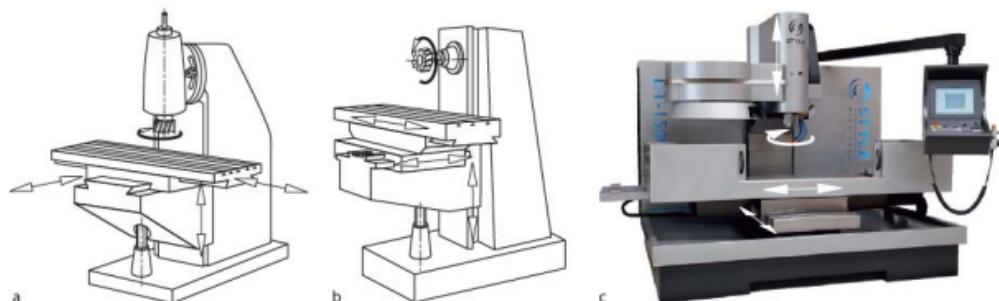
- **Oppervlaktekwaliteit:** Meelopend geeft doorgaans een gladdere afwerking; tegenlopend geeft meer wrijving bij instap en vaak een ruwere afwerking.
- **Snedediepte/productiviteit:** In een stijve opstelling maakt meelopend vaak hogere snededieptes en hogere voedingen mogelijk zonder kwaliteitsverlies; tegenlopend wordt vaak gebruikt voor grove, hoge-volume snedes of wanneer de machine/opstelling de voorkeur geeft aan een voorzichtige instap.

6.4 Soorten frezen

- **Mantelfrezen:** Hierbij wordt de zijkant van de frees gebruikt om materiaal te verwijderen. Dit is geschikt voor het maken van vlakke oppervlakken en contouren.
- **Kopfrezen:** Hierbij wordt de bovenkant van de frees gebruikt om materiaal te verwijderen. Dit is geschikt voor het maken van gaten, sleuven en andere complexe vormen.
- **Bolfrezen:** Hierbij wordt een frees met een bolvormige snijkant gebruikt, geschikt voor het maken van gebogen oppervlakken en complexe 3D-vormen.
- **Vormfrezen:** Hierbij wordt een frees met een specifieke vorm gebruikt om profielen en vormen in het materiaal te frezen.
- **Circulair frezen:** Hierbij wordt een cirkelvormige beweging gebruikt om gaten of cirkelvormige uitsparingen te maken.
- **Trekfrezen of Brootsen:** Hierbij wordt een speciaal gereedschap gebruikt om nauwkeurige vormen en profielen te maken door het materiaal te trekken.

6.5 De Freesmachine

Een freezmachine heeft een bank waar je werkstuk wordt op geklemdt. Hierop steek je de mantel of kopfreez. De freez gaat roteren en de bank gaat bewegen in de x,y en z-richting.



Figuur 6.5: Weergave van een freesmachine

7 Verspanen:Hybridetechnieken

8 Verspanen:Slijpen

9 Fysische en Chemische afnemende bewerkingen

10 Scheiden

11 Automatiseren & machinekeuze

12 Productie werkvoorbereiding

13 Productiegericht ontwerpen

Formularium

Hooke's law $\sigma = E \cdot \varepsilon$ — waarbij σ de spanning is, E de elasticiteitsmodulus en ε de rek. (p. 7)

Afschuifhoek $\phi = 45^\circ + \frac{\gamma}{2} - \frac{\mu}{2}$ — waarbij γ de spaanhoek is en μ de wrijvingshoek tussen spaan en snijvlak. (p. 9)

afschuifvlak (shear zone) A $A = \frac{b * h}{\sin(\phi)}$ — waarbij b de breedte, h de hoogte en ϕ de afschuifhoek. (p. 9)

afschuifkracht $F = A * \tau$ — waarbij A het afschuifvlak is en τ de schuifspanning van het materiaal. (p. 9)

Snijsnelheid $v = \pi \cdot d \cdot n$ — waarbij d de diameter is en n het toerental in omwentelingen per minuut. (p. 11)

Snededoorsnede $A_d = a \cdot b$ — waarbij a de snedodiepte is en b de snedebreedte. (p. 12)

formule van Taylor $v_c T^n = C$ — waarbij C een constante is en n een materiaalconstante, T de gereedschaplevensduur in minuten en v_c de snijsnelheid in m/min. (p. 17)

Kienzle vergelijking Hoofdsnijkracht $F_c = k_c \cdot a \cdot f^{(1-e)}$ — waarbij k_c (N/mm² of Pa) de snijkrachtcoëfficiënt is, a de snedodiepte, f de voeding en e de snijkrachtexponent. (p. 19)

b: snedebreedte bij draaien $b = \frac{a}{\sin x}$ — met a de snedodiepte en x de instelhoek (zie figuur). (p. 19)

h: snededikte bij draaien $h = f \cdot \sin x$ — met f de voeding en x de instelhoek (zie figuur). (p. 19)

Optimale snijsnelheid bij draaien $v_{c,\text{opt}} = v_c(k_c) \cdot f^{-u}$ — waarbij d de diameter is in mm en n het toerental in omwentelingen per minuut. (p. 19)

Spaanslankheid bij Draaien $\frac{b}{h} = \frac{a}{f \cdot \sin \kappa_r}$ — waarbij b de snedebreedte is, h de snededikte, a de snedodiepte, f de voeding en κ_r de instelhoek. (p. 22)

gemiddelde ruwheid bij Draaien $R_a = \frac{f^2}{32 \cdot r_\epsilon}$ — waarbij f de voeding is en r_ϵ de neusradius van de bijtel. (p. 24)

totale ruwheid bij Draaien $R_t = \frac{f^2}{8 \cdot r_\epsilon}$ — waarbij f de voeding is en r_ϵ de neusradius van de bijtel. (p. 24)

Voedingskracht $F_f = k_f \cdot a \cdot f^{(1-e)}$ — waarbij k_f de voedingskrachtcoëfficiënt is, a de snedodiepte, f de voeding en e de voedingskrachtexponent. (p. 27)

Verspanningsmoment $M_c = C_m \cdot d^{x_M} \cdot f^{y_M}$ — waarbij C_m de momentcoëfficiënt is, d de diameter, f de voeding en x_M, y_M de momentexponenten. (p. 28)

Vermogen bij boren $P_c = M_c \omega = M_c \cdot 2\pi n$ — waarbij M_c het verspanningsmoment is en ω de hoeksnelheid. het verspanningsmoment is en ω de hoeksnelheid. (p. 28)

Torsie bij Boren $\tau = \frac{M_c \rho}{I_p}$ — waarbij M_c het verspanningsmoment is, ρ de afstand van het centrum tot het beschouwde punt en I_p het polair traagheidsmoment. (p. 28)

Maximale schuifspanning bij Draaien $M_d = C_b \cdot d^{x_w}$ — waarbij C_b de schuifspanningcoëfficiënt is, d de diameter, x_w de schuifspanningsexponent. (p. 28)

Maximale verspanningsmoment $M_c = a \cdot M_b$ — waarbij M_c het verspanningsmoment is en M_b het maximale verspanningsmoment. (p. 28)

Maximale voeding bij boren $f_{max} = C \cdot d$ — waarbij C een constante is, d de diameter en f_{max} de maximale voeding. (p. 29)

Kracht F_f is de kracht recht naar boven bij een boormachine $F_f = C_f \cdot d^{X_f} \cdot f^{y_f}$ — waarbij C_f de voedingskrachtcoëfficiënt is, d de diameter, f de voeding en X_f en y_f de voedingskrachtsexponenten. (p. 29)

Snijkracht bij Frezen $F_c = k_c \cdot b \cdot h_{gem}^{(1-e)} \cdot z_i$ — waarbij k_c de snijkrachtcoëfficiënt is, b de snedebreedte, h_{gem} de gemiddelde snededikte, z_i het aantal tanden en e de snijkrachtsexponent. (p. 34)

Snijmoment bij Frezen $M_c = C_m \cdot d^{x_M} \cdot f_z^{y_M} \cdot z_i$ — waarbij C_m de momentcoëfficiënt is, d de diameter, f_z de voeding per tand, z_i het aantal tanden en x_M, y_M de momentexponenten. (p. 34)

Voedingskracht bij Frezen $F_f = k_f \cdot b \cdot h_{gem}^{(1-e)} \cdot z_i$ — waarbij k_f de voedingskrachtcoëfficiënt is, b de snedebreedte, h_{gem} de gemiddelde snededikte, z_i het aantal tanden en e de voedingskrachtsexponent. (p. 34)