

Moderne verspaningstechnieken

Efficiënte en betrouwbare verspaningsmethoden voor draaien en frezen

In deze publicatie wordt een 'tool' aangeboden om tot een gestructureerde selectie, keuze en implementatie van innovatieve verspaningstechnieken te komen. Deze tool is ontwikkeld in het kader van het project "Procesinnovatie Verspaning voor MKB-bedrijven". Naast deze publicatie zijn ook vijf andere tools ontwikkeld en uitgegeven in de vorm van een publicatie (te downloaden via <http://www.verspaning-online.nl>):

TI.05.28: "CAD/CAM systemen; Selectie, keuze en implementatie";

TI.05.29: "Innovatieve verspaningsmachines; Selecteren, kiezen en implementeren";

TI.06.30: "Toepassen van slimme opspanmiddelen";

TI.06.32: "Automatiseren van de handling van bewerkingsmachines";

TI.06.33: "Optimaliseren van de technische bedrijfsvoering".

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Algemeen	1
1.2	Trends in markt, materialen en productietechnologie	1
1.3	Basisbegrippen in verspaning	2
2	Toepassingsmogelijkheden van moderne verspaningsstrategieën	6
2.1	Hogesnelheidsverspanen (HSM)	6
2.2	Hoge voeding verspanen (HFM)	9
2.3	Axiaal frezen (plungen)	10
2.4	Cycloïde frezen	11
2.5	Multi-directioneel draaien	12
3	Voorwaarden moderne verspaningstechnieken aan gereedschaphouders	13
3.1	Gereedschaphouders	13
3.2	Balanceren	15

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Door sterk toenemende concurrentie staat procesinnovatie in het brandpunt van de verspanende industrie. Om de concurrentiepositie te versterken, vergroten deze bedrijven hun toegevoegde waarde door technologische procesinnovaties voor het maken van zowel complexere producten als wel kostprijsverlaging door het toepassen van nieuwe verspaningstechnologieën.

Het implementatieproces van moderne productietechnologieën is echter voor elk bedrijf anders. Dit wordt met name veroorzaakt door de verschillende kenmerken (materiaalsoorten, geometrieën, afmetingen, nauwkeurigheden, bewerkingen, seriegroottes, enz.) van de producten die in de desbetreffende bedrijven worden gemaakt. Anderzijds heeft dit ook te maken met het feit dat elk bedrijf haar eigen specifieke productiemiddelen en (CAD/CAM) systemen heeft.

De ontwikkelingen op het gebied van verspanende productietechnieken gaan razendsnel en voor bedrijven is het moeilijk deze ontwikkelingen bij te houden. De doelstelling van het kennisoverdrachtproject "Procesinnovatie Verspaning voor MKB bedrijven" is het opheffen van het kennis tekort bij verspanende bedrijven op het vlak van de toepassing van nieuwe verspaningstechnologieën.

Deze publicatie is onderdeel van een zestal publicaties en gaat met name over de toepassingsmogelijkheden van moderne verspaningsmethoden en snijgereedschappen en de voordelen die hiermee te behalen zijn.

1.2 Trends in markt, materialen en productietechnologie

Markt

Mondiaal gezien blijft de markt voor de industrie een groeimarkt. De industrie in Nederland wordt echter wel geconfronteerd met een sterke toename in concurrentie door globalisering. De productie van laagwaardig en

repetitief werk verdwijnt steeds vaker naar lage lonen landen.

Uitbesteders (grote bedrijven) gaan zich steeds meer toeleggen op hun kernactiviteiten: productontwikkeling, design, marketing en verkoop. Zij gaan meer uitbesteden en stoten eigen productiefaciliteiten af, maar tegelijkertijd verminderen ze het aantal toeleveranciers waarmee ze zaken doen. Van dat kleinere aantal toeleveranciers vragen zij meer, namelijk completer toeleveren en het toepassen van innovatieve productietechnologieën. De Nederlandse industrie richt zich op producten en productieprocessen met een hogere toegevoegde waarde. Met name op producten die steeds kleiner en nauwkeuriger worden, en die steeds meer bewerkingen moeten ondergaan. Ook wordt de 'lifetime cycle' en 'time to market' van deze complexere producten steeds korter. Verspanende bedrijven (toeleveranciers) zijn in Nederland grof onder te verdelen in de volgende drie categorieën:

- Regionale (kleine) bedrijven die zich richten op onderhoud, service en het leveren van kleine series producten voor vaste klanten in de regio.* Het bestaansrecht van deze bedrijven is snelheid en flexibiliteit. Er is relatief weinig sprake van prijsdruk.
- Toeleveranciers die zich richten op seriematige (repeat) productie.* Het grootserie eenvoudige werk, met een hoge looncomponent in de kostprijs, verdwijnt naar lage lonen landen zoals bijv. China, Tsjechië en Turkije. Kenmerkend voor het type werk dat uit Nederland verdwijnt is, dat het eenvoudig, arbeidsintensief, met beperkte kennis en investeringen te produceren is. Complexe seriematige productie, met hoge kwaliteitseisen (kritische producten) blijft in Nederland. Om deze productie concurrerend te kunnen blijven aanbieden, moet er veelal worden geïnvesteerd in productieautomatisering (bijv. door robotisering of palletisering). Deze bedrijven maken de slag van arbeidsintensieve productie naar geautomatiseerde productie en worden hierdoor productiespecialisten. Met het oog hierop worden deze bedrijven door de uitbesteders steeds vaker betrokken bij het verbeteren van de maakbaarheid van het productontwerp.
- Gespecialiseerde toeleveranciers in de productie van kleine series complexe producten.* Deze bedrijven specialiseren zich in maakbaarheid, prototyping, aanloopseries en productontwikkeling. Vaak zijn de opdrachten eenmalig, wat betekent dat de werkvoorbereidingstijd hoog wordt ten opzichte van de productietijd. Deze bedrijven moeten innovatieve productieprocessen beheersen en veelal voorlopen in productietechnologieën; zoals geavanceerde CAD/CAM systemen en bewerkingsmachines. Ook deze groep bedrijven moet om economische redenen meer gebruik maken van geautomatiseerde productiemiddelen.

Materialen/producten

De prestaties van machines, apparaten en gereedschappen moeten steeds verder omhoog. Apparaten moeten bijv. steeds sneller bewegen. Hierdoor is het noodzakelijk om lichtere materialen toe te passen. Lichtere materialen, zoals aluminium, titanium en magnesium stellen specifieke eisen aan de bewerkingsmachine, het verspaningsgereedschap en de verspaningscondities.

Een andere trend is dat machines, apparaten, machineonderdelen en gereedschappen ingezet worden onder zwaardere condities. Denk hierbij aan hogere temperaturen en het in aanraking komen met agressieve gassen en vloeistoffen. Ten behoeve van deze applicaties worden exotische materialen zoals Inconel, Hastelloy, Monel, enz. ingezet. Deze materialen zijn vaak lastig te verspanen, maar met de juiste gereedschappen en verspaningsmethoden is dit wel zeker goed mogelijk.

Ook het verspanen van (ge)harde materialen is momenteel goed mogelijk. Bijvoorbeeld het frezen van een matrijs uit gehard staal. Het verspanen van (ge)harde materialen stelt hoge eisen aan de stabiliteit, stijfheid en rondlooptrouwbaarheid van de bewerkingsmachine, maar ook hier zijn met de juiste gereedschappen en verspaningsstrategieën veel voordelen te behalen.

Een heel andere trend is de behoefte aan steeds kleinere producten (miniaturisering). Deze producten bestaan steeds vaker uit uiterst nauwkeurige precisieonderdelen. Het produceren van deze kleine precieze producten wordt ook wel 'Swiss Machining' genoemd.

Productietechnologie

Op het gebied van productietechnologie zien we de volgende trends:

- ▶ kostprijsverlaging door:
 - ♦ het automatiseren van de belading van productiemachines d.m.v. robots, palletsystemen, enz.;
 - ♦ het automatiseren van de werkvoorbereiding en productievoorbereiding door het toepassen van

ERP systemen, CAD/CAM systemen, gereedschapbeheersystemen, voorinstelapparatuur, enz.;

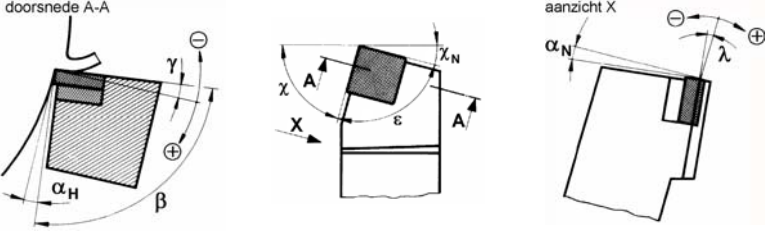
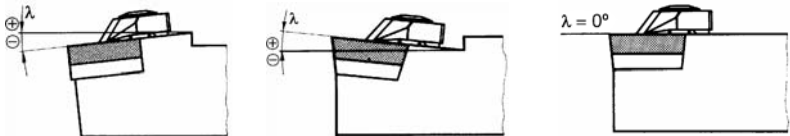
- ♦ efficiënte verspaningsgereedschappen en -strategieën.
- ▶ het verkorten van doorlooptijden van het productieproces door het integreren van alle bewerkingsstappen op één machine:
 - ♦ 5-assige bewerkingscentra;
 - ♦ draai-freescombinaties (multitask machining).
- ▶ het maken van complexere innovatieve producten door middel van:
 - ♦ hogesnelheidsverspanen;
 - volume verspanen;
 - dunne wanden;
 - ♦ hardverspanen;
 - ♦ 5-assig simultaan frezen;
 - ♦ 3D frezen.
- ▶ het flexibiliseren van het productieproces door het productieproces anders te organiseren:
 - ♦ het gecombineerd toepassen van bovenstaande technologieën;
 - ♦ het standaardiseren van opspanttechnologie;
 - ♦ het standaardiseren van verspaningsgereedschappen en -technologie;
 - ♦ het toepassen van 'lean manufacturing' principes.

1.3 Basisbegrippen in verspaning

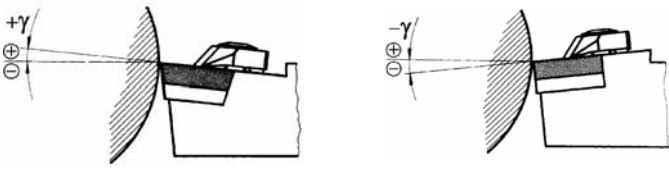
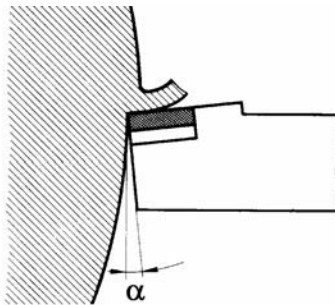
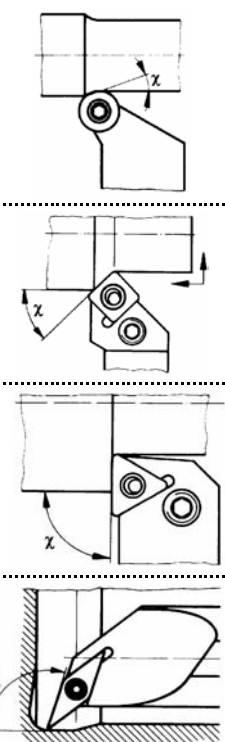
Het 'snijden' vanaf een stuk materiaal noemen we verspanen. Het gereedschap waarmee we dat doen noemen we het 'verspanende gereedschap'. Tijdens het verspanen moet het snijgereedschap in het materiaal dringen om hiervan spanen af te nemen.

Voordat we nader ingaan op de mogelijkheden voor een bedrijf op het gebied van moderne verspaningstechnieken, is het zinvol om de belangrijkste basisprincipes in de verspaningstechniek de revue te laten passeren (zie tabel 1).

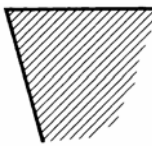
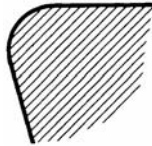
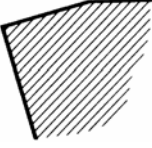
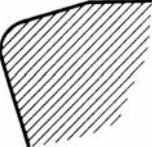
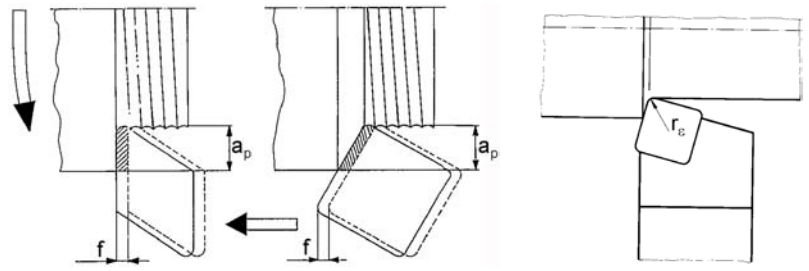
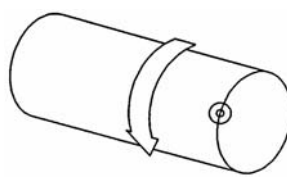
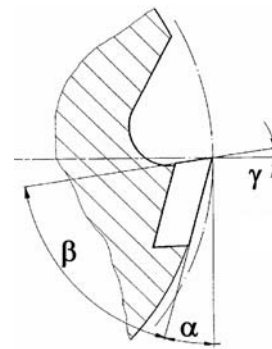
tabel 1 Basisbegrippen van verspaning

Snijkanten en vlakken Snijkanten en vlakken aan een draaigereedschap	
Hoeken bij draaigereedschap Aanduiding van de hoeken bij een draaigereedschap α_H vrijloophoek α_N hulpvrijloophoek β wighoek γ spaanhoek ϵ punthoek χ instelhoek χ_N instelhoek van de hulpsnijkant λ hellingshoek	
Hellingshoek λ De hellingshoek λ bepaalt hoe het spaanmateriaal op de snijkant botst en in welke richting de spaan over het spaanvlak zal lopen.	

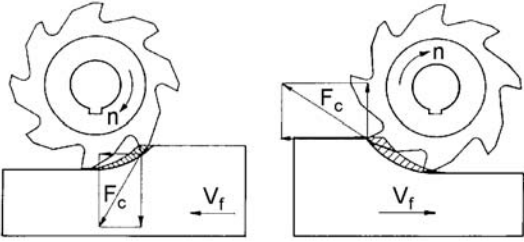
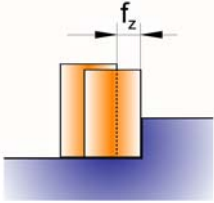
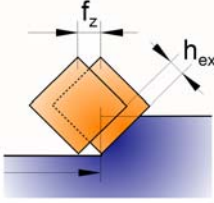
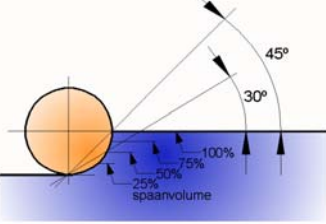
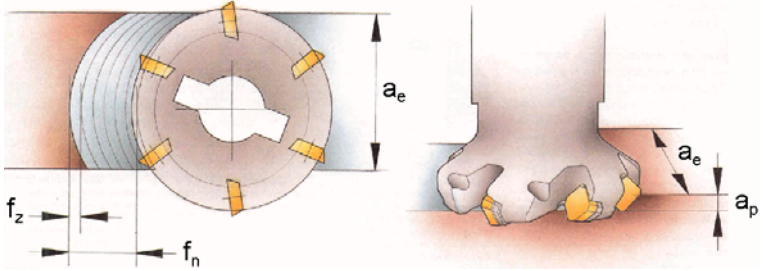
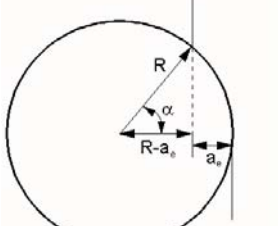
tabel 1 Basisbegrippen van verspaning (vervolg)

Spaanhoek γ Een positieve spaanhoek geeft lagere snijkrachten, weinig trillingsneigingen en een vloeiende spaanafloop, maar heeft een zwakkere snijwig. Wordt met name toegepast op langspanige materialen zoals aluminium, koper, RVS, enz. Een negatieve spaanhoek is stabiel, meer geschikt voor onderbroken sneden, maar vraagt hogere snijkrachten en meer vermogen. Wordt met name toegepast op kortspanige materialen zoals gietijzer en messing.								
Vrijloophoek α De vrijloophoek bedraagt bij de verspaning van staal 6° tot 10°. Bij werkstukmaterialen met geringe sterkte (kunststof, lichtmetaal, e.d.) kan de vrijloophoek aanzienlijk groter zijn. Te kleine vrijloophoeken veroorzaken verhoogde wrijving en snelle vrijloopvlakslitage. Harde materialen zijn het beste met kleine vrijloophoeken (4°) te verspanen.								
Wighoek β De wighoek wordt allereerst bepaald door de eigenschappen van het te verspanen materiaal. Materialen met een hoge hardheid vragen om een grote wighoek, zachte en taai materialen laten zich het beste met kleine wighoeken verspanen.	<table><tr><td>$\gamma = 20 - 40^\circ$ $\beta = 40 - 50^\circ$ hout kunststoffen</td><td>$\gamma = 10 - 30^\circ$ $\beta = 50 - 65^\circ$ aluminium kunststoffen lood, koper zacht staal</td><td>$\gamma = 10 - 25^\circ$ $\beta = 60 - 75^\circ$ staal 350-600 N/mm²</td></tr><tr><td>$\gamma = -5 \text{ tot } +15^\circ$ $\beta = 75 - 90^\circ$ staal tot 1200 N/mm² gietijzer tot 400 HB gietstaal Cr-Ni-staal</td><td>$\gamma = -5 \text{ tot } -25^\circ$ $\beta = 90 - 110^\circ$ staal boven 1200 N/mm² wit gietijzer boven 60 Shore</td><td>$\gamma = -25 \text{ tot } -50^\circ$ $\beta = 110 - 145^\circ$ hard gesteente</td></tr></table>		$\gamma = 20 - 40^\circ$ $\beta = 40 - 50^\circ$ hout kunststoffen	$\gamma = 10 - 30^\circ$ $\beta = 50 - 65^\circ$ aluminium kunststoffen lood, koper zacht staal	$\gamma = 10 - 25^\circ$ $\beta = 60 - 75^\circ$ staal 350-600 N/mm ²	$\gamma = -5 \text{ tot } +15^\circ$ $\beta = 75 - 90^\circ$ staal tot 1200 N/mm ² gietijzer tot 400 HB gietstaal Cr-Ni-staal	$\gamma = -5 \text{ tot } -25^\circ$ $\beta = 90 - 110^\circ$ staal boven 1200 N/mm ² wit gietijzer boven 60 Shore	$\gamma = -25 \text{ tot } -50^\circ$ $\beta = 110 - 145^\circ$ hard gesteente
$\gamma = 20 - 40^\circ$ $\beta = 40 - 50^\circ$ hout kunststoffen	$\gamma = 10 - 30^\circ$ $\beta = 50 - 65^\circ$ aluminium kunststoffen lood, koper zacht staal	$\gamma = 10 - 25^\circ$ $\beta = 60 - 75^\circ$ staal 350-600 N/mm ²						
$\gamma = -5 \text{ tot } +15^\circ$ $\beta = 75 - 90^\circ$ staal tot 1200 N/mm ² gietijzer tot 400 HB gietstaal Cr-Ni-staal	$\gamma = -5 \text{ tot } -25^\circ$ $\beta = 90 - 110^\circ$ staal boven 1200 N/mm ² wit gietijzer boven 60 Shore	$\gamma = -25 \text{ tot } -50^\circ$ $\beta = 110 - 145^\circ$ hard gesteente						
Instelhoek χ of aanvalshoek bij draaien $\chi < 30^\circ$ $\chi = 45^\circ, 75^\circ$ $\chi = 90^\circ$ $\chi > 90^\circ$		Toepassing en consequenties ➤ bewerking van harde materialen ➤ schillend draaien ➤ kleine specifieke snijkantsbelasting, dus weinig slijtage ➤ nadeel: grote terugdrukkkrachten ➤ grote stabiliteit gevraagd van werkstuk, machine en opspanning ➤ voorbereken ➤ geringere specifieke snijkantsbelasting dan bij $\chi = 90^\circ$ en daardoor minder slijtage ➤ beitelneus wordt ontzien bij het in snede komen ➤ geringe snijkrachten in de richting van de werkstuk-as ➤ weinig doorbuiging van het werkstuk en daardoor geschikt voor slanke en trillingsgevoelige producten nabewerken ➤ draaien van verbijgingen en schouders ➤ met hetzelfde gereedschap zowel langsdraaien als vlakdraaien ➤ kopieerdraaien, hoeken vrijleggen ➤ beitelneus steekt relatief ver uit, dus breukgevaar						

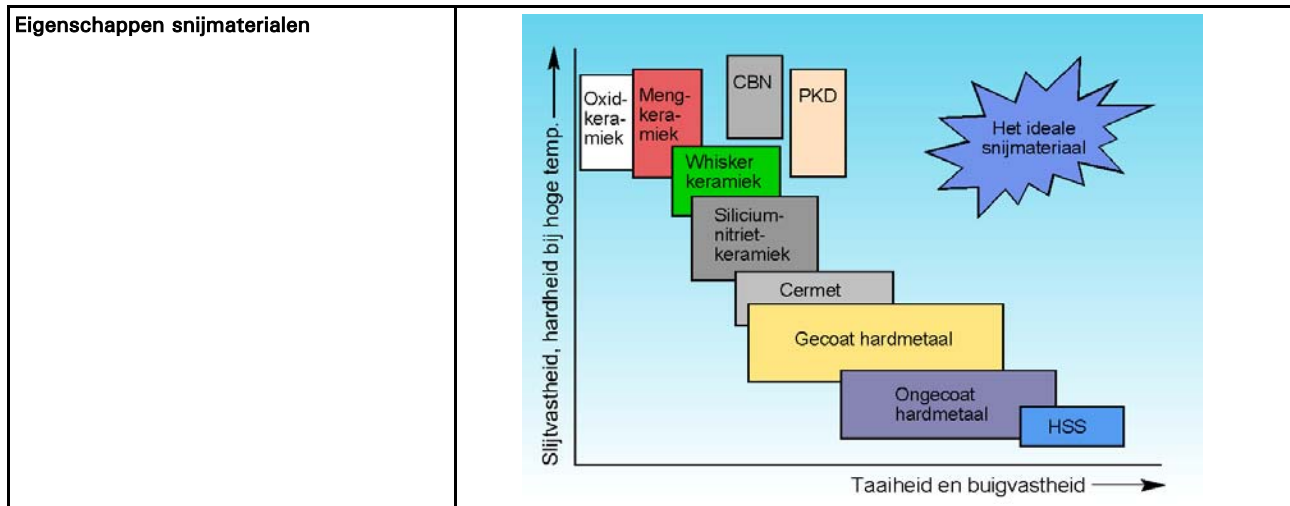
tabel 1 Basisbegrippen van verspaning (vervolg)

Snijkantuitvoering scherp, uitvoering F		Voordelen, toepassing ▶ laagste snijkrachten en temperaturen ▶ voor niet-onderbroken snede ▶ voor de gladste oppervlakken ▶ voor de fijnste verspaning ▶ bewerking van gietijzer ▶ voor zachte en taaie materialen ▶ voor lichtmetalen en overige non-ferro's
afgerond, uitvoering E		▶ gebruikelijke uitvoering voor ferrometalen ▶ onvermijdelijk bij hardmetaal met harde deklaag (minimale afrondingsstraal 0,02 tot 0,08 mm) ▶ biedt enige bescherming bij onderbroken snede en spaanklemming
fase, uitvoering T		▶ bij de zwaarste sneden ▶ bij sterk onderbroken sneden en sterk wisselende snededieptes ▶ maximale zekerheid van de bewerking, echter verhoogde snijkracht en temperatuur, alsmede neiging tot trillen ▶ voor afdraaien van wielstellen van spoorwagens
fase en afgerond, uitvoering S		▶ bij de zwaarste sneden ▶ bij sterk onderbroken sneden en sterk wisselende snededieptes ▶ maximale zekerheid van de bewerking, echter verhoogde snijkracht en temperatuur, alsmede neiging tot trillen ▶ voor afdraaien van bijv. wielstellen van spoorwagens
Voeding (f), snedediepte (a_p) en neusradius (r_ε) bij draaien Voeding f in mm/omw. Snedediepte a _p in mm Grote neusradiussen verbeteren de stabiliteit van de neuspunt en zijn nodig bij voorbewerkingen. Grote neus-radiussen maken, bij gelijke voeding, lagere ruwheidswaarden mogelijk dan kleine neusradiussen.		
Toerental en snijsnelheid Omtrek × toerental n = afgelegde weg per tijdseenheid Omtrek × toerental n = snijsnelheid V _c in meters/minuut In formulevorm: $n = \left(\frac{V_c}{\pi \times D} \right) \times 1000$ $V_c = \frac{\pi \times D \times n}{1000}$		
Hoeken bij freesgereedschap De hoeken van draaigereedschappen zijn ook te 'vertalen' naar freesgereedschappen Aanduiding van de hoeken bij een freesgereedschap: α (alfa) = vrijloophoek β (bêta) = wighoek γ (gamma) = spaanhoek Hoe positiever de spaanhoek γ is, des te geringer zijn de snijkrachten en het benodigde vermogen. Taaie, aanklevende materialen zoals bijv. lichtmetaal vragen een grotere spaanhoek dan harde brosse materialen zoals bijv. grijs gietijzer. De vrijloophoek wordt onderverdeeld in een primaire en secundaire vrijloophoek. Deze zorgt ervoor dat de wisselplaat ten opzichte van het te bewerken materiaal "vrijloop" heeft. Zachte materialen zoals bijv. koper, vragen een grotere vrijloophoek dan harde materialen. De vrijloopvlakslitage neemt bij een grotere vrijloophoek langzamer toe. De wighoek is afhankelijk van de grootte van de spaan- en vrijloophoek. Deze beïnvloedt in hoge mate de breukgevoeligheid van een wisselplaat.		

tabel 1 Basisbegrippen van verspaning (vervolg)

Meelopend en tegenlopend frezen Op machines met kogelomloopspillen (CNC-machines) bij voorkeur meelopend frezen. De verspaningskrachten worden bij meelopend frezen namelijk richting het werkstuk gericht. Bij tegenlopend frezen zal het product eerder uit de opspanning worden getrokken. Tevens vindt bij meelopend frezen het intreden van de snijkant in volmateriaal plaats. Bij tegenlopend frezen begint de snijkant zich bij intreden 'af te zetten' van het materiaal. Dit geeft een onrustige loop en een verkorting van de standtijd.		
Instelhoek of aanvalshoek bij frezen Bij frezen is de spaandikte mede afhankelijk van de instelhoek van de vlakfrees. De instel- of aanvalshoek is de hoek tussen de voorste snijkant van de wisselplaat en het werkstukoppervlak. Bij verkleining van de instelhoek (bij gelijkblijvende voeding) neemt de spaandikte af.		Frezen met instelhoek van 90° ▶ werkstukken met dunne wanden ▶ zwak opgespannen werkstukken ▶ waar een 90° vorm vereist is
		Frezen met instelhoek van 45° ▶ eerste keuze voor algemene doeleinden ▶ minder trillingen bij grote uitsteeklengte ▶ spaanverdundingseffect maakt hogere productiviteit mogelijk
		Frezen met ronde wisselplaten ▶ sterke snijkant en meerdere malen te verdraaien ▶ frees voor algemene doeleinden ▶ groter spaanverdundingseffect voor hittebestendige legeringen
Snedediepte (a_p) en snedebreedte (a_e) bij frezen De snedebreedte (a_e) is in de hiernaast staande afbeelding de werkstukbreedte die wordt bewerkt met de frees.		
Freeshoek (ingrijpingshoek) In het voorbeeld hiernaast is de snedebreedte (a_e). M.a.w. de mantel van de frees bevindt zich a_e in het materiaal. De hoek die ontstaat tussen R en de $R-a_e$ is de freeshoek.	 freeshoek $\alpha = \arccos((R-a_e)/R)$	

tabel 1 Basisbegrippen van verspaning (vervolg)



2 Toepassingsmogelijkheden van moderne verspaningstrategieën

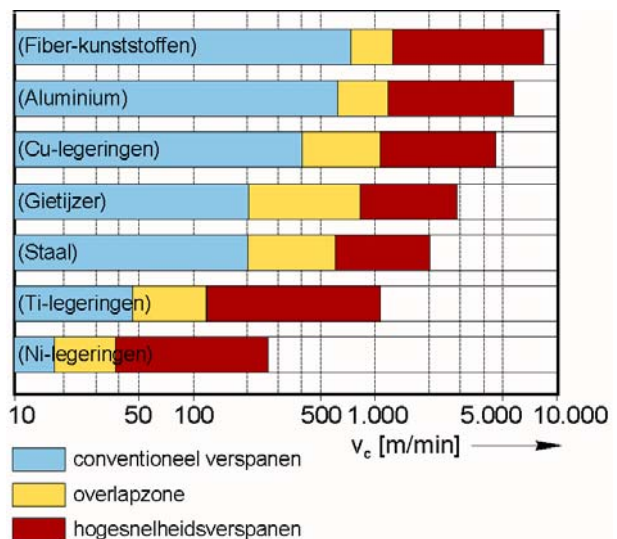
In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de mogelijkheden van een aantal moderne verspaningsstrategieën en hun toepassingsgebieden. Er is voor gekozen om met name op de in tabel 2 genoemde verspaningstrategieën in te gaan, omdat deze modern zijn en bij veel bedrijven nog niet of onvoldoende worden toegepast.

In de matrix van tabel 2 zijn de beschreven strategieën en hun toepassingsgebieden benoemd. In de daarop volgende paragrafen worden de verschillende verspaningsstrategieën behandeld.

dermate hoog, dat het werkstukmateriaal in de snijzone plastisch wordt. Hiervoor zijn zeer hoge snijsnelheden nodig. Figuur 1 maakt duidelijk, bij welke materiaal-soorten en bijbehorende snijsnelheden er sprake is van hogesnelheidsverspanen.

tabel 2 Toepassingen versus bewerkingsstrategieën

Toepassing	Bewerkingsstrategie					
	het bewerken van diepe kamers	het bewerken van dunne wanden	het bewerken van sleuven (frezen)	het bewerken van grote volumes	het bewerken van harde materialen	het bewerken van heatresistance materiaal
Hogesnelheidsverspanen (High Speed Machining)						
Hoge voeding verspanen (High Feed Machining) (voorbewerking)						
Axiaal frezen (voorbewerking)						
Cycloïde frezen (voorbewerking)						
Multi-directioneel draaien						



figuur 1 Snijsnelheid versus materiaalsoorten

Snijmaterialen

De snijmaterialen die worden ingezet bij hogesnelheids-frezen moeten geschikt zijn voor de hoge temperaturen die optreden aan de snijkant. Deze hoge temperaturen zijn enerzijds nodig om het werkstukmateriaal plastisch te deformeren, anderzijds heeft het snijmateriaal deze warmte nodig om taaier te worden, zodat afbrokkeling wordt voorkomen. Bij hogesnelheidsfrezen wordt de warmte veel meer afgevoerd in de spanen dan bij traditionele verspaningsmethoden. Veel gebruikte snijmaterialen bij hogesnelheidsfrezen zijn:

- PCD (Poly Crystalline Diamond) en PCBN (Cubic Bore Nitride)
 - ♦ geschikt voor hardere materiaaltypes
 - ♦ niet geschikt voor bewerking van Ferro-legeringen
 - ♦ geschikt voor hoge snijsnelheden
 - ♦ hoge standtijden
 - ♦ niet geschikt voor onstabiele werkstukken
 - ♦ hoge kostprijs PCD t.o.v. hardmetaal
 - ♦ kwetsbare snijkant door brosheid
 - ♦ snijvoorwaarden liggen kritisch (smal spectrum)

2.1 Hogesnelheidsverspanen (HSM)

Er is geen eenduidige en exacte definitie van hogesnelheidsverspanen. De termen hogesnelheidsverspanen, HSM (High Speed Machining) of HSC (High Speed Cutting) worden vaak als modewoord te pas en te onpas gebruikt. Bij hogesnelheidsverspanen zijn de snijsnelheden

- ♦ alleen geschikt voor eenvoudige snijkantgeometrie
- ♦ stabiele en stevige machine is een voorwaarde
- ♦ toepassing met name op grote series
- ▶ Hardmetaal (indien de warmte in de snijkant niet te hoog wordt)
 - ♦ geschikt voor onstabielere werkstukken
 - ♦ laat breed spectrum aan snededieptes toe (a_p)
 - ♦ gunstige kostprijs t.o.v. PCBN en PCD
 - ♦ geometrisch veel mogelijkheden (snijkant)
 - ♦ eenvoudige gereedschappen
 - ♦ niet geschikt voor zeer hoge snijsnelheden
 - ♦ niet geschikt voor grote snededieptes bij vlakfreen

Bij hogesnelheidsfreen is het van groot belang de warmtehuishouding in de snijkant te beheersen. Door de snijsnelheid zodanig te verhogen dat de wrijvingstijd afneemt en de warmte in de spanen gaat zitten, en niet in de snijkant of het werkstuk, wordt de standtijd verbeterd. Bij grotere freeshoeken kan dit niet worden toegepast (voor definitie freeshoek zie §1.3). Een te grote snijsnelheid gecombineerd met een te grote freeshoek geeft te veel warmte.

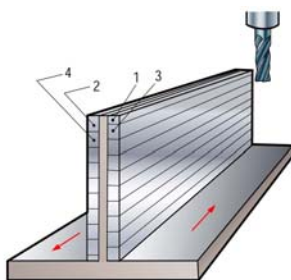
Basisregels hogesnelheidsfreen

- ▶ gebruik snijsnelheden die 5 tot 10 keer hoger liggen dan gebruikelijk;
- ▶ gebruik relatief kleine snedebreedtes (a_p) t.o.v. de snededieptes (a_d) (voor definities a_p en a_d zie § 1.3);
- ▶ gebruik harde hardmetaalsoorten, PCBN of PCB;
- ▶ gebruik scherpe snijkanten. Hardmetaal wordt taaier als het warmer wordt;
- ▶ voorkom schokkende bewegingen. Gereedschapbanen vloeiend laten lopen;
- ▶ gebruik altijd een stabiele machine die snel kan accelereren en vertragen (zie eisen aan de machine, bijvoorbeeld hardfreen).

Voorbeelden

Voorbeeld 1 - Het frezen van dunne wanden

Het frezen van dunne wanden kan het beste gebeuren door van boven naar beneden om en om gelijk op maat te frezen. Belangrijk is de sneden om en om in hoogte te variëren, zodat er tijdens het frezen aan de andere zijde voldoende 'vlees' zit om het product stabiel te houden (zie figuren 2 en 3). De cijfers 1, 2, 3, 4 (enz.) in figuur 2 geven de bewerkingsvolgorde aan.



figuur 2 Dunne wanden frezen

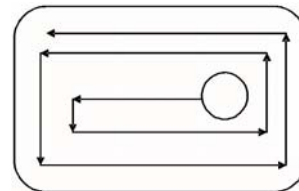


figuur 3 Praktijkvoorbeeld 'dunne wanden'

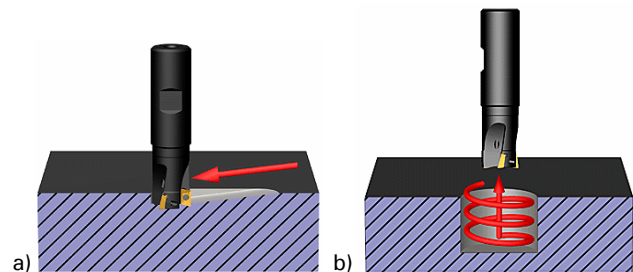
Voorbeeld 2 - Pocketfreen

Aanbevelingen bij pocketfreen:

- ▶ Er zijn diverse strategieën om pockets te frezen. De strategie zoals in figuur 4 te zien is, wordt in de praktijk veel toegepast. Starten in het centrum van de pocket en naar buiten toe vergroten (meelopend frezen). Hierdoor wordt de overblijvende dunne wand in het midden vermeden.
- ▶ Het intreden van de frees bij een pocket kan op meerdere manieren. Er worden in de praktijk twee methoden vaak toegepast. Intreden door middel van kopieerfreen (zie figuur 5a), en bij diepe pockets heeft helicoïdaal intreden de voorkeur (zie figuur 5b).



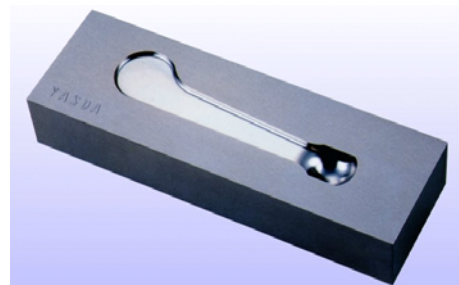
figuur 4 Pocketfreen (schematisch)



figuur 5 Intreden door middel van kopieerfreen (a) en helicoïdaal intreden (b)

Voorbeeld 3 - hardfreen

Hardfreen is met name interessant voor gereedschapmakers en voor producenten van machine-onderdelen die moeten worden gehard. Traditioneel volgt na het harden nog een nabewerking zoals bijvoorbeeld slijpen, honen en/of vonken. Bij hardfreen wordt zowel de voorbewerking als de nabewerking op een vooraf gehard stuk materiaal uitgevoerd. Deze manier van werken biedt voordelen door enerzijds verkorting van de doorlooptijd, alsmede reductie van de nabewerkingkosten anderzijds (zie figuur 6).



figuur 6 Matrijsdeel uit gehard materiaal HRC 60

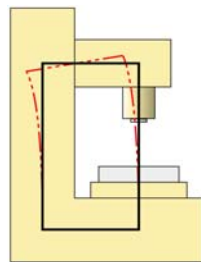
Eisen aan de machine

Bij hogesnelheidsfreen, en dus ook hardfreen, treden lagere snijkrachten op dan bij traditionele freesstrategieën. De hoge versnellingen en vertragingen die optreden, stellen wel hoge eisen aan de stijfheid van de machine. Een machineconcept met een portaalconstructie heeft duidelijke voordelen ten aanzien van de stijfheid ten opzichte van bijvoorbeeld een machine met een C-frame.

Machineconcepten met een C-frame hebben de neiging bij belasting in de richting van de Z-as door te buigen. Kleine doorbuigingen tijdens het hogesnelheidsfreen veroorzaken trillingen en dus gereedschapbreuk, maar ook productafwijkingen. Een ideaal machineconcept voor hogesnelheidsfreen heeft een frameconstructie met een grote massa om trillingen tijdens het verspaningsproces te dempen. De bewegende delen zullen echter van een lichte en stabiele constructie moeten worden voorzien om grote versnellingen en vertragingen mogelijk te maken (zie figuur 7 en 8).



figuur 7 Machineconcept met portaalconstructie



figuur 8 Machineconcept met C-frame

Andere belangrijke aandachtspunten ten aanzien van de machine bij hardverspanen zijn:

- thermische stabiliteit van de machine (bij voorkeur gecompenseerd);
- hoge acceleratie en vertraging;
- hoge rondlooptrouwkeurigheid van de spil;
- voorkom onbalans door gebruik van gebalanceerde gereedschapshouders (zie hoofdstuk 3).

Belangrijke aandachtspunten ten aanzien van de machinebesturing bij hardverspanen zijn:

- de verwerkingsnelheid van de besturing;
- look ahead functie, zodat de machine kan anticiperen op wat komen gaat;
- snelle koppeling met een data-server (RS-232 koppeling biedt onvoldoende snelheid).

Voorgaande aspecten ten aanzien van machine en besturing zijn in principe voor alle hogesnelheidsstrategieën van belang (zie voor meer informatie de publicatie TI.05.29 'Innovatieve verspaningsmachines: selecteren, kiezen en implementeren').

Verspaningsstrategie hardfreen

Ten behoeve van het hardfreen zijn onderstaande punten aan te bevelen:

- gebruik zo kort mogelijk gereedschap (minimale uitsteeklengtes). Gebruik frezen met een 'dikke ziel' (dus met kleine spaankamers);

- gebruik stabiele houders. Bij voorkeur krimphouders. Deze zijn zeer stabiel, slank en hebben tevens een hoge rondlooptrouwkeurigheid;
- gebruik CAM-software die betrouwbare gereedschapbanen genereert (zie publicatie TI.05.28 'CAD/CAM systemen: selectie, keuze en implementatie');
- gebruik frezen die specifiek ontwikkeld zijn voor hardverspanen;
- volg de aanbevelingen van de gereedschapsleverancier ten aanzien van gereedschapkeuze en verspaningsparameters nauwgezet op;
- geen koeling gebruiken. Gezien de "hoge" snij snelheden komt het koelwater toch niet bij de snijkant van de frees, dus is het effect op het verspanen nihil. Alleen komt het relatief koude koelwater wel op de hete snijkant die net uit het materiaal komt. Er treedt hier een thermoshock op, die haarscheurtjes kan veroorzaken en daardoor de standtijd negatief beïnvloedt! Daarom is minimaalsmering wel aan te bevelen. De lucht zorgt voor de koeling en het verwijderen van de spanen, en de olienevel zorgt voor de smering.

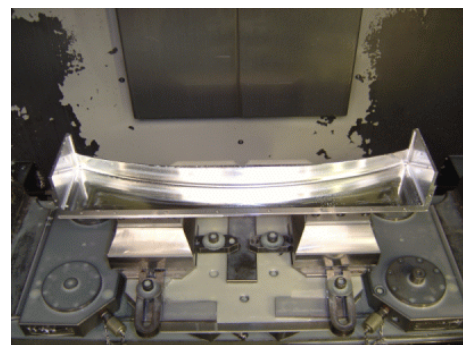
Voorbeeld 4 - Volume verspanen

Aluminium en andere lichtmetalen worden steeds vaker gebruikt als constructiemateriaal. Met name in de aerospace industrie wordt hier al tientallen jaren mee gewerkt. Er zijn voorbeelden van producten waarbij 90% van het materiaal moet worden verspaand. In zo kort mogelijk tijd zoveel mogelijk materiaal verspanen is hier dan ook zeer wenselijk. Dit wordt ook wel volume verspanen genoemd. In figuur 9 wordt een product getoond die op een dergelijke wijze is vervaardigd.



figuur 9 Een aerospace product vervaardigd door middel van volume verspanen

De prestaties van machines, apparaten en gereedschappen moeten steeds verder omhoog. De bewegingen in apparaten moeten bijvoorbeeld steeds sneller. Hierdoor wordt het noodzakelijk om lichtere materialen toe te passen, zoals onder meer aluminium, titanium en magnesium. Deze lichte materialen zijn uitermate geschikt om door middel van hogesnelheidsfreen te bewerken, met name als er relatief grote volumes moeten worden weggehaald (zie figuur 10).



figuur 10 Een machineonderdeel bewerkt door middel van hogesnelheidsfreen

Belangrijk aspect bij volume verspanen van bijvoorbeeld aluminium, is het voorkomen van het 'vol lopen' van het freesgereedschap. Om dit probleem te voorkomen is het belangrijk frezen te kiezen die beschikken over:

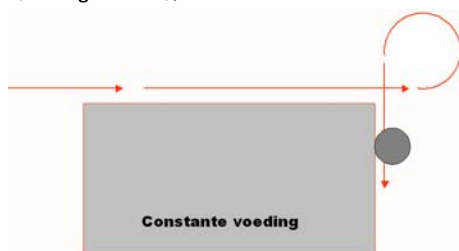
- ▶ zeer grote spaankamers om de spanen af te voeren;
- ▶ een optimale geometrie voor spaanvorming;
- ▶ zeer scherpe snijkanten;
- ▶ en die gepolijst en/of bekleed zijn met een zeer gladde coating (anti adhesie type).

Aspecten ten aanzien van koeling en smering bij volume verspanen van aluminium:

- ▶ koeling is bij volume verspanen niet van belang. Het koelwater komt door de hoge toerentallen sowieso moeilijk bij de snijkant;
- ▶ het afvoeren van de spanen door middel van koelwater is echter wel van groot belang. Spanen kunnen namelijk tussen het snijgereedschap en het product komen. Hierdoor kunnen beschadigingen aan product en/of gereedschap ontstaan;
- ▶ een ander belangrijk punt is smering. Smering is met name belangrijk voor het verkrijgen van een goede oppervlaktegesteldheid en het voorkomen van het 'opbouwen' van de snijkant (dit houdt in dat aluminium vastsmelt aan de snijkant van het gereedschap). Dit probleem is ook te voorkomen door het toepassen van minimaalsmering.

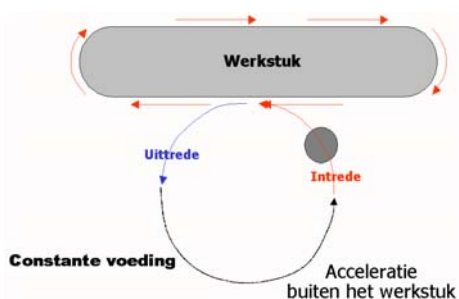
Belangrijke aspecten ten aanzien van de gereedschapbanen zijn:

- ▶ de werkelijke voeding per tand zo constant mogelijk houden, omdat er anders problemen ontstaan op het gebied van spaanbeheersing;
- ▶ scherpe bochten in gereedschapbanen voorkomen door deze zoveel mogelijk af te ronden. CAD/CAM systemen hebben hier vaak specifieke strategieën voor (zie figuur 11);



figuur 11 Soepele banen zonder bruuske bewegingen bij het contourfreen

- ▶ intreden van de frees in het materiaal bij voorkeur met een vloeiende beweging (zie figuur 12);
- ▶ de werkelijke snedebreedte en snedediepte zo constant mogelijk houden;

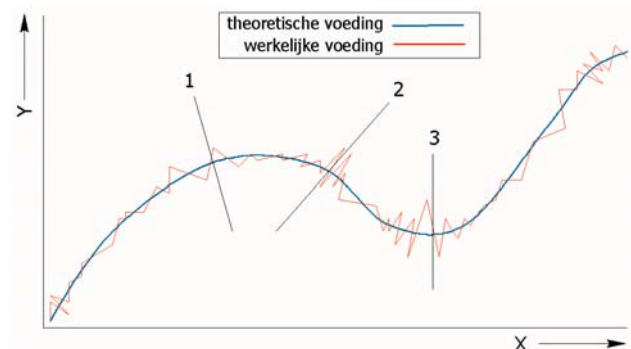


figuur 12 Vloeiend intreden van de frees

- ▶ de werkelijke voeding zo constant mogelijk houden. De werkelijke voeding zal in de praktijk afwijken van de theoretisch geprogrammeerde voeding. Dit zal met name plaatsvinden als de machine de gevraagde versnellingen en de vertragingen niet kan halen. In fi-

guur 13 geeft de blauwe lijn de geprogrammeerde (gevraagde) voeding aan. De rode lijn geeft aan welke voeding de machine werkelijk heeft gerealiseerd;

- ▶ de gereedschapradius moet altijd kleiner zijn dan de radiussen in het product;
- ▶ altijd meelopend frezen.



figuur 13 Theoretische versus werkelijke voeding

2.2 Hoge voeding verspanen (HFM)

Hoge voeding verspanen (High Feed Machining) is gebaseerd op het verspanen met een snijkant die is uitgevoerd met de zogenaamde 'schraap'geometrie (ook wel schilgeometrie genoemd). De snijkant is uitgevoerd met een grote radius (zie figuur 14). Deze grote radius maakt alleen kleine snededieptes mogelijk. De voeding kan hierdoor flink worden verhoogd (ca. 2 tot 10 keer hoger dan normaal).



figuur 14 Frezen met schraapgeometrie

Voordelen van hoge voeding verspanen zijn:

- ▶ een relatief hoog verspanend volume;
- ▶ relatief lage verspaningskrachten (uitermate geschikt voor lange gereedschappen);
- ▶ verspaningskrachten zijn gunstig gericht (bij frezen richting spil);
- ▶ goede spaanbeheersing.

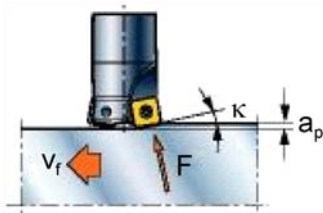
Hoge voeding frezen

Om grote dieptes te verspanen zijn lange gereedschappen nodig (de diepte is groter dan minimaal 3 keer de diameter van de frees, oftewel $L > 3D$). Ga je met traditionele lange gereedschappen met hoge voedingen verspanen, dan zal de frees door de verspaningskrachten afbuigen, waardoor er trillingen ontstaan. Trillingen kunnen snijkantbreuk en afwijkingen in het product veroorzaken (maatnauwkeurigheid en oppervlakteruwheid).

Bij 'hoge voeding frezen' hebben we geen last van afbuigen van het gereedschap. Dit heeft te maken met het gereedschapconcept welke gebruikt wordt bij 'hoge voeding frezen'. Hoge voeding frezen hebben namelijk een snijkant die is uitgevoerd met een schraapgeometrie (zie figuur 14).

Frezen die zijn uitgevoerd met snijkanten volgens de schraapgeometrie worden ook wel 'schilfrezen' genoemd. De term 'schilfrezen' geeft het principe van 'hoge voeding frezen' aan. Het materiaal wordt als het ware 'afgeschild'. De geometrie van de snijkant laat maar hele kleine snededieptes toe, waardoor er grote voedingen mogelijk zijn. De voeding per snijkant is bij 'hoge voeding frezen' gemiddeld tot 10 keer hoger dan bij traditionele frezen.

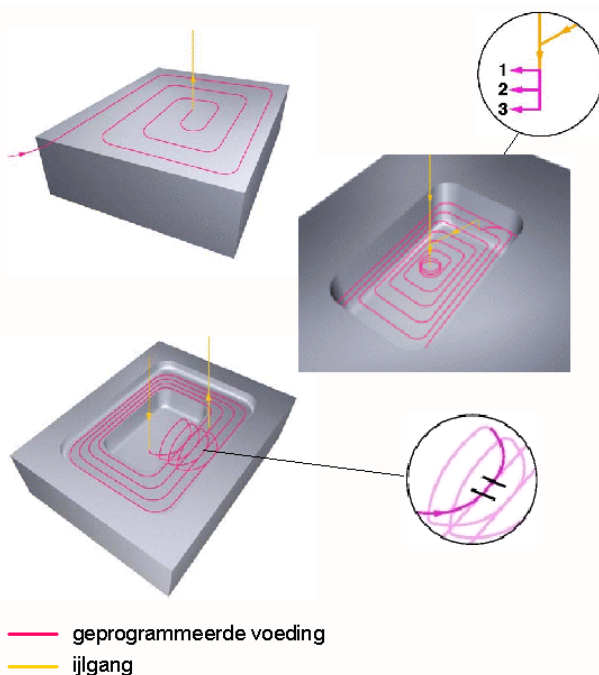
De snedediepte is afhankelijk van de radius (zie radius aan wisselplaten in figuur 14) in de schraapgeometrie (in de praktijk ligt a_p tussen de 0,4 en 2 mm). De schraapgeometrie in combinatie met kleine snededieptes en grote voedingen creëren met name een axiale kracht richting de spil (zie figuur 15). Dit in tegenstelling tot de meeste andere frezen, die met name een radiale kracht in de richting van de spil opwekken.



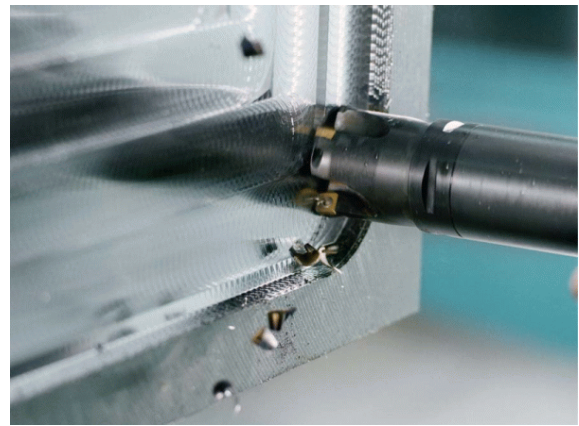
figuur 15 Krachtenspel bij 'hoge voeding frezen'

Belangrijke aspecten bij het 'hoge voeding frezen' (zie figuur 16):

- ▶ stilstand van de frees (voeding = 0) tijdens het verspaningsproces is funest (gevolg: trilling, breuk, enz.);
- ▶ geen scherpe bochten maken, altijd vloeiende bewegingen maken;
- ▶ de voeding altijd constant houden;
- ▶ de snedediepte altijd constant houden;
- ▶ bij voorkeur helicoïdaal intreden;
- ▶ let op de maximale machineprestaties (toerental, voeding, enz.). Deze worden in de praktijk al snel gehaald;
- ▶ let op bij de overlap van gereedschapbanen. Omdat de frees geen vlakke bodem achter laat, kun je door met de opschuifafstand van de gereedschapbanen te 'spelen' dit probleem minimaliseren;
- ▶ je krijgt geen mooie vlakke oppervlakken. Nabewerking is meestal nodig (zie figuur 17).



figuur 16 Voorbeelden ideale gereedschapbanen HFM



figuur 17 Praktijkvoorbeeld HFM

Hoge voeding draaien

Bij draaien is de oppervlakteruwheid afhankelijk van de relatie tussen de voeding en de grootte van de neusradius. Een grote voeding verkort de verspaningstijden, maar resulteert normaal in een minder goede oppervlaktekwaliteit. Een grote neusradius leidt tot een betere oppervlaktekwaliteit en meer sterkte. Een overmatig grote neusradius kan echter leiden tot trillingsneigingen, onvoldoende spaanbreking en kortere standtijden, omdat de intrede van de snijkant onvoldoende is.

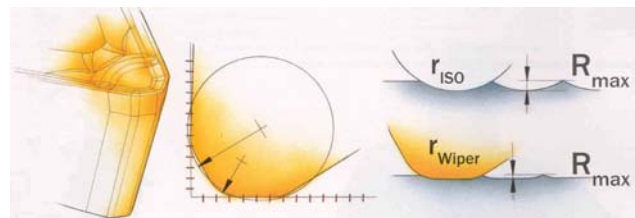
Om een betere oppervlaktekwaliteit te realiseren is de schraapgeometrie ontwikkeld. Met name de neusradius van de wisselplaat is aangepast. De schraapgeometrie zorgt voor een kleinere profielhoogte van het snijvlak op het gegenereerde oppervlak, waardoor het gedraaide oppervlak gladder wordt. Het is nu mogelijk om bij gelijkblijvende voeding een veel gladdere oppervlaktekwaliteit te behalen of bij gelijkblijvende oppervlaktekwaliteit een veel hogere voeding te behalen.

Richtlijn:

- ▶ $2 \times$ de voedingssnelheid = dezelfde oppervlaktekwaliteit;
- ▶ dezelfde voedingssnelheid = een dubbel zo goede oppervlaktekwaliteit.

Door de vaak aangepaste spaanbreker op de wisselplaat kan de technologie worden toegepast als probleemoplosser bij draaibewerkingen waar onaanvaardbare spaanvormen tot problemen leiden.

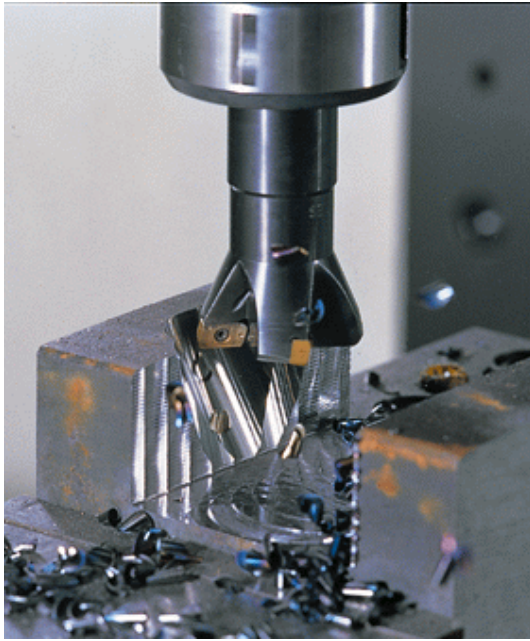
Het verschil in uitvoering van een normale ISO wisselplaat en een wisselplaat met schraap(wiper)geometrie wordt duidelijk in figuur 18.



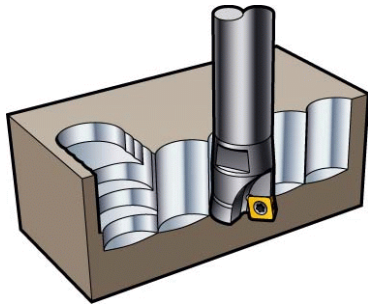
figuur 18 Wisselplaat voor draaien met schraapgeometrie

2.3 Axiaal frezen (plungen)

Een ruwfreesbewerking waarbij de frees gebruikt wordt met een aanzetrichting evenwijdig aan de frees-as (spil) wordt axiaal frezen genoemd. Frezen die voor axiaal frezen in aanmerking komen, zijn speciaal ontworpen voor deze bewerking. Axiaalfrezen zijn ruwfrezen, die worden toegepast in voorbereidingen waar grote uitsteeklengtes nodig zijn. Typische toepassingen vindt men onder andere terug in de matrijzenbouw (zie figuren 19 en 20).



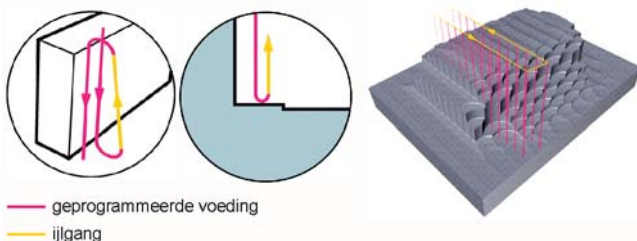
figuur 19 Voorbeeld van axiaal frezen



figuur 20 Schematisch voorbeeld van axiaal frezen

Belangrijk aspecten bij axiaal frezen (zie figuur 21):

- ▶ geen boorcyclus gebruiken. De snijkant raakt bij het terugtrekken de wand van het product, waardoor er ondersnijding en trillingen kunnen ontstaan en het gereedschap kan breken;
- ▶ het gereedschap bij terugtrekken bij voorkeur 0,5 tot 1 mm van de wand af bewegen;
- ▶ voorkom het intreden van de frees op scherpe hoeken (bijvoorbeeld op een hoek van een blokvormig stuk uitgangsmateriaal).



figuur 21 Bewerkingsvolgorde bij het axiaal frezen

De optredende krachten bij het axiaal frezen zijn voornamelijk volgens de aslijn van de frees gericht, terwijl dit bij radiaal frezen hoofdzakelijk loodrecht op de freesas zal zijn. Een frees is in axiale richting echter veel sterker dan in radiale richting. De kans op buiging van de frees (of freesschacht) is bij axiaal frezen veel geringer dan bij radiaal frezen. Om het risico van doorbuiging te verminderen gaat men bij een radiaal freesbewerking snijgege-

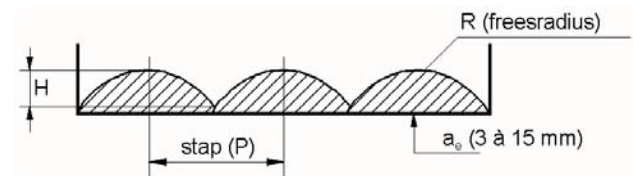
vens verminderen. Dit betekent een daling van de productiviteit. Axiaal frezen laat toe dat snijgegevens toegepast kunnen worden in combinatie met uitsteeklengtes die vele malen groter zijn dan bij radiaal frezen.

Naast de aanzetrichting is er nog een tweede wezenlijk verschil tussen axiaal frezen en radiaal frezen, met name de spaanvorming. Bij radiaal frezen varieert de spaandikte. Het voortdurend veranderen van de spaandikte werkt het warmtehardend karakter van bepaalde materialen in de hand. Bij axiaal frezen is de spaandikte constant. Hierdoor krijgen we een soepel freesproces. Het zacht in- en uittreden van de frees en de daardoor ontstane intreduchok en uittreduchok zijn kleiner, waardoor de levensduur gunstig wordt beïnvloed. Er is hierdoor minder kans op snijkantsafbrokkeling.

De opschuifafstand van de frees (stap P) bepaalt de hoogte van het profiel (H) wat achter blijft op het werkstuk. Om de profielhoogte (H) te berekenen biedt de volgende formule uitkomst:

$$H = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{P}{2}\right)^2}$$

In figuur 22 geeft het gearceerde deel aan wat weggehaald is uit het product.



figuur 22 Gegevens voor de berekening van de profielhoogte bij axiaal frezen

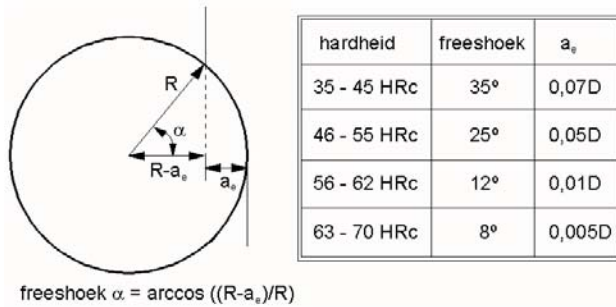
2.4 Cycloïde frezen

Cycloïde frezen wordt ook wel trochoïdaal frezen genoemd. Deze strategie is met name geschikt voor het voorbereiden van (relatief diepe) pockets, sleuven en holtes in producten die bewerkt moeten worden uit harde materialen of 'Heat Resistance Materials' zoals Inconel, Monel of Hastelloy. De frees beweegt continue in een spiraal en door zijn vloeiende gereedschapsbanen is cycloïde frezen een ideale hogesnelheidsstrategie (geen bruuske bewegingen).

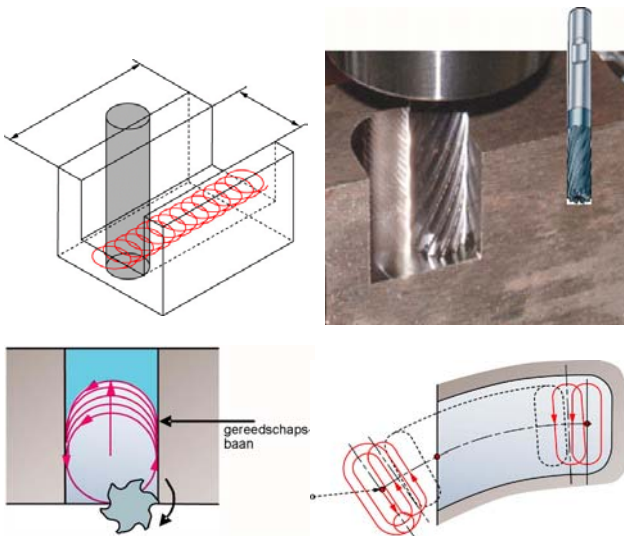
Het principe van cycloïde frezen is gebaseerd op de "kleine freeshoek" strategie:

- ▶ aan de mantel van de frees is een relatief kleine hoek (freeshoek) in contact met het materiaal (zie figuur 23);
- ▶ de gereedschapsbanen moeten spiraalvormig worden uitgevoerd. Hierdoor wordt bij elke spiraal die de mantel van de frees maakt een stukje van het materiaal 'geschild' (zie figuur 24);
- ▶ door de relatief kleine snedebreedte (a_e) en door het maken van spiraalvormige gereedschapsbanen, en de daardoor relatief kleine verspaningskrachten, kan dit gecompenseerd worden met relatief grote snedediepte (a_p);
- ▶ door de kleine snedebreedte (a_e) wordt ook de opbouw van de temperatuur beperkt, waardoor ook de snijsnelheid kan worden verhoogd;
- ▶ het lijkt in de praktijk een niet zo efficiënte strategie, omdat er ook veel 'lucht' wordt verspaand. Het werkelijke resultaat is echter een relatief hoge productiviteit ten opzichte van traditionele voorbereidingsstrategieën (bij verspaning van Heat Resistance Materials). Voor zachte materiaalsoorten, zoals aluminium, zijn er efficiëntere verspaningsstrategieën zoals hogesnelheidsfrezen, axiaal frezen en 'hoge voeding frezen';
- ▶ verspaningscondities van de leveranciers als richtwaarde aanhouden;

- om de cycloïde strategie te programmeren, dient het CAD/CAM systeem deze strategie wel te ondersteunen. Voor meer informatie hierover, zie de publicatie TI.05.28 - 'CAD/CAM systemen (keuze, selectie en implementatie)'.



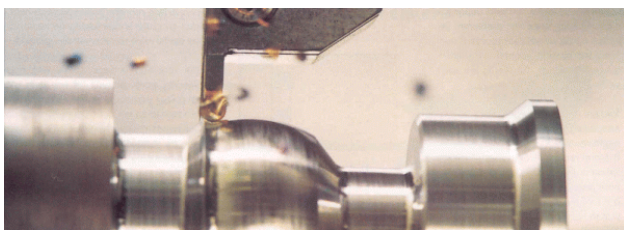
figuur 23 Kleine freeshoek strategie



figuur 24 Gereedschapbanen cycloïde frezen

2.5 Multi-directioneel draaien

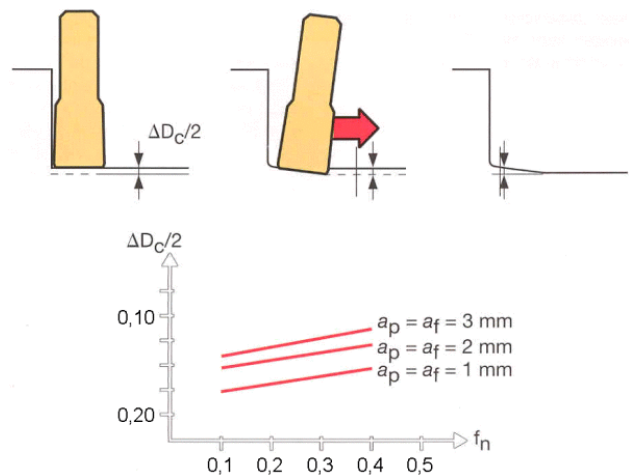
Multi-directioneel draaien is het met één beitel aanbrengen van zowel groeven, profielen als wel rechte stukken op een draaiwerkstuk (zie figuur 25)



figuur 25 Voorbeeldproduct multi-directioneel draaien

Multi-directioneel draaien moet worden gedaan met gereedschapssystemen die daar speciaal voor zijn ontwikkeld. Er zijn zowel rechte als ronde wisselplaatgeometrieën beschikbaar, waardoor het mogelijk wordt om complexe profielen en groeven met één beitel uit te voeren. De gereedschappen zien er uit als steekbeitels, maar kunnen zowel axiale als radiale bewegingen uitvoeren. Normale steekgereedschappen hebben moeite met het opvangen van de krachten bij axiaal draaien (langs-draaien). Door het toepassen van speciale wisselplaatgeometrie wordt de doorbuiging die optreedt tijdens het langs-draaien gecorrigeerd. De wisselplaat komt in belaste

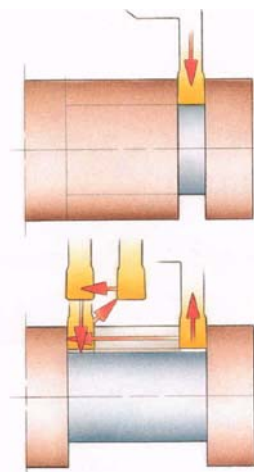
toestand (bij langs-draaien) in de juiste positie, waardoor er een vrijloopvlak ontstaat. Deze doorbuiging moet aan de machine (of in het NC-programma) worden gecorrigeerd, omdat anders afwijkingen op de productdiameters ontstaan. Zie voor een berekening van de afwijking figuur 26.



figuur 26 Compensatie op de werkstukdiameter

Belangrijke aandachtspunten bij multi-directioneel draaien:

- uitsteeklengte van het gereedschap zo klein mogelijk houden. Indien niet anders mogelijk, gebruik dan verlengde houders, maar pas de snijgegevens die de gereedschapsleverancier voorschrijft hierop aan;
- het bewerken van tegenoverliggende wanden in groeven door beide zijden radiaal in te steken, omdat anders de wisselplaat los kan komen (niet in één keer insteken, langs-draaien en dan terugtrekken);
- bewerken van brede groeven (zie figuur 27):
 - radiaal insteken tot max. 75% van de beitelplaatbreedte
 - 0,1 mm radiaal terugtrekken;
 - axiaal draaien (langs-draaien) tot tegenoverliggende borstpositie;
 - 0,5 mm diagonaal terugtrekken tot buiten het werkstuk;
 - axiaal voeden tot de eindpositie (0,5 mm van einddiameter afblijven);
 - radiaal insteken tot vereiste snedediepte en cyclus herhalen tot vereiste snedediepte is gehaald. Het axiaal draaien bij voorkeur in beide richtingen uitvoeren om beide snijkanten van de wisselplaat evenredig te gebruiken. Dit komt de maximale standtijd van de wisselplaat ten goede.



figuur 27 Brede groef bewerken

3 Voorwaarden moderne verspanings-technieken aan gereedschaphouders

In dit hoofdstuk wordt stil gestaan bij de belangrijkste voorwaarden die gesteld worden aan gereedschaphouders ten behoeve van moderne verspaningstechnieken.

3.1 Gereedschaphouders

ISO en MAS BT-opname

ISO en MAS BT-opnamen zijn op dit moment de meest gebruikte houders in de verspanende industrie. Ze zijn geschikt voor toerentallen tot maximaal 15.000 omw/min. De ISO uitvoering is van Europese afkomst en de MAS-BT opname is van Aziatisch afkomst. Ze zijn niet onderling uitwisselbaar. Het concept is echter wel gelijk. De houder ligt alleen aan op de conus in de spil. Hierdoor wordt een redelijk stabiel freesproces verkregen. De houder wordt door middel van een aantrekmechanisme vast in de conus getrokken. Het aantrekken gebeurt met behulp van een adapter welke achter in de houder wordt geschroefd (zie figuur 28).



figuur 28 ISO/MAS BT-opname

Door de hoge toerentallen, die bijvoorbeeld worden gebruikt bij het hogesnelheidsverspanen, komen er veel middelpuntvliedende krachten op de houder te werken. Hierdoor zal de spil geneigd zijn zich uit te zetten, waardoor de gereedschapshouder verder naar binnen wordt getrokken. Stopt de spil weer, dan is de klemkracht zo groot geworden, dat de houder niet meer lost.

Het aantrekmechanisme om de adapter werkt van buiten naar binnen. Bij hoge centrifugaalkrachten neemt de spankracht dan af en wil de houder uit de conus vliegen. Dit gaat ten koste van de stabiliteit en veiligheid.

Voordelen van ISO/MAS-BT opnamen zijn:

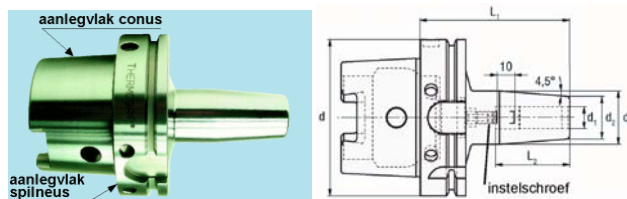
- goed centrisch opgespannen;
- houders zijn niet beschadigingsgevoelig;
- goed uitwisselbaar op meerdere machines;
- relatief goedkoop.

Nadelen van ISO/MAS-BT opnamen zijn:

- ongeschikt voor hoge toeren ($> \pm 15.000$ rpm);
- bij langdurig gebruik kans op 'plakken'. Bij HSK opnames en BIG-PLUS opnames zijn de houders zo geconstrueerd, dat de houder tegen het ondervlak van de spil wordt getrokken. Zo is voorkomen dat de houder te diep in de spil wordt getrokken. HSK en BIG-PLUS houders zijn in de markt de meest gebruikte houders voor hogesnelheidsfreesen.

HSK opnamen zijn ontwikkeld voor hogesnelheidsfreesen en zijn aan te bevelen bij spiltoerentallen vanaf 15.000 omw/min. HSK opnamen (zie figuur 29) zijn ook veel stabiel. Ze maken gebruik van 2 aanlegvlakken. Het aanlegvlak conus (zie figuur 29) wordt gebruikt om aanligging te verkrijgen in de conus. Bij toenemend toerental zal door centrifugaalkracht de conus naar buiten proberen uit te zetten. Deze uitzetting heeft als voordeel dat er altijd een aanligvlak is tussen de conus van de spil en de conus van de HSK opname. Omdat er bij een

HSK opname van binnen uit de conus gespannen wordt (aantrek mechanisme van de spil) treedt er geen verlies op in spankracht. Het aantrekmechanisme ondervindt dezelfde centrifugaalkrachten als de conus. Hoe hoger de centrifugaalkrachten, hoe groter de klemkracht van het aantrekmechanisme.



figuur 29 HSK opname

Voor de stabiliteit wordt gebruik gemaakt van het aanlegvlak spilneus (zie figuur 29). Dit vlak geeft een hogere stabiliteit, omdat er buiten het oppervlak van de conus een aanlegvlak ligt. Dit voorkomt tevens dat de gereedschapshouder bij hoge toerentallen in de spil wordt getrokken. Het zogenaamde 'plakken' wordt hiermee voorkomen.

Nadeel van het aantrekvlak is de vuilgevoeligheid. Spaantjes kunnen in het gereedschapmagazijn op het aanlegvlak terecht komen tussen het aanlegvlak van de houder en de spilneus. Hierdoor wordt het gereedschap scheef in de spil aangetrokken. Dit geeft afwijking in de maatvoering van het verspanende proces en veroorzaakt onbalans.

BIGPLUS is de Aziatische tegenhanger van HSK. BIGPLUS-opnamen (zie figuur 30) worden op dezelfde manier gespannen als ISO-houders, met het verschil dat er een extra aanlegvlak is gecreëerd. Dit extra aanlegvlak aan de spilneus werkt op dezelfde manier als bij een HSK houder. Hiermee wordt 'plakken' voorkomen en het geeft tevens een grotere stabiliteit ten opzichte van een ISO-houder. BIGPLUS-houders zijn minder geschikt voor hogere toerentallen, omdat van hetzelfde aantrekmechanisme gebruik wordt gemaakt als bij de ISO-houder. Doordat de conus van een BIGPLUS-houder en de ISO-houder hetzelfde zijn, kunnen deze ook onderling worden uitgewisseld.



figuur 30 BIG PLUS opname

CAPTO houders

CAPTO houders zijn met name uitermate geschikt voor multitaskmachines. Dit zijn machines waarop zowel gedraaid als gefreesd wordt (zie figuur 31).

Voordeel van multitaskmachines is de enkele cyclus waarin een complex product, waar zowel draai- en freesbewerkingen in voor komen, compleet wordt uitgevoerd. De combinatie van draai- en freesbewerkingen levert bovendien aanzienlijk kortere productie- en doorloop-



figuur 31 Multitaskmachine

tijden op. Omdat omspannen niet meer nodig is, verbetert ook de kwaliteit en de betrouwbaarheid. De spil van het roterende gereedschap vormt het hart van de machine. Hiermee kunnen de meeste typen snijgereedschappen schuin worden opgesteld om zeer veelzijdige bewerkingspaden mogelijk te maken. In combinatie met de moderne CNC-besturingstechnologie kunnen multitaskmachines bewerkingen uitvoeren die voorheen moesten worden uitgevoerd op meerdere machines.

Multitaskmachines stellen een aantal nieuwe eisen aan de gereedschapopname. Onder andere vanwege de grote spilneus die de toegankelijkheid bij de klauwplaat, de losse kop en het werkstuk vaak beperkt. Tevens moet de houder in staat zijn om de krachten op te vangen die roterende bewerkingen, zoals frezen, veroorzaken, maar ook de krachten die ontstaan bij het draaien, waarbij de houder stil staat en de klauwplaat draait.

Snijgereedschappen en gereedschapopnames voor multitaskmachines moeten aan de volgende voorwaarden voldoen:

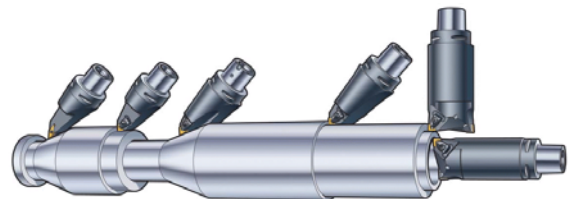
- flexibelere gereedschappen met een breder toepassingsgebied;
- veelzijdige gereedschappen (bijv. een houder met verschillende gereedschappen);
- gereedschappen met een lichtere snijwerking (minder vermogen en minder trillingen);
- betere toegankelijkheid en bereik van de snijgereedschappen naar het product;
- goede stabiliteit bij zowel draaien als frezen.

De polygoon en een extra aanlegvlak op de spilneus dragen bij aan een optimale stabiliteit voor zowel draai- als freesbewerkingen (zie figuur 32).



figuur 32 Gereedschapopname multitaskmachine

Wat betreft de productiviteit in multitaskmachines is het een voordeel dat het gereedschap in diverse posities kan worden gezet, waardoor er minder gereedschappen hoeven te worden gewisseld. Tevens kunnen de snijgereedschappen directer op het product worden gericht om delen van het product te bewerken die anders moeilijk bereikbaar zijn. Hierdoor kunnen er kortere gereedschappen worden gebruikt, wat resulteert in meer stabiliteit en betrouwbaarheid van het verspaningsproces (zie figuur 33).



figuur 33 Voorbeelden van gereedschapposities bij multitaskmachines

Uitvoeringsvormen freeszijde gereedschapopnamen

De meest bekende uitvoeringsvormen zijn: Weldonopname, spantangopname, hydrospanopname en krimpopname. De uitvoeringsvormen om vlakfrezen e.d. te spannen worden niet beschreven, omdat hierin geen keuzes mogelijk zijn. In tabel 4 worden de voor- en nadelen beschreven van de meest gangbare opname-mogelijkheden voor frezen met een rechte schacht.

tabel 4 Voor- en nadelen uitvoeringsvorm opname freeszijde

opname freeszijde	voordelen	nadelen
Weldonopname	➤ goedkoop ➤ stabiel ➤ wordt in de meeste bedrijven toegepast	➤ niet te balanceren ➤ gereedschap wordt nooit 100% centrisch gespannen ➤ niet geschikt voor hogesnelheidsfrezen
Spantangopname	➤ goede klemkracht ➤ aanvaardbare concentriciteit bij precisieuitvoering ➤ aanvaardbare kostprijs ➤ eenvoudig te reinigen ➤ precisie uitvoering is 2^e keus bij hogesnelheidsfrezen	➤ moeilijk te balanceren ➤ moeilijk af te dichten bij interne koeling
Hydrospanopname	➤ goede 360° spankracht ➤ uitstekende concentriciteit ➤ uitstekende balans	➤ hoge kosten ➤ instabiliteit door interne verplaatsing van vloeistof en daardoor alleen geschikt voor nabewerkingen ➤ niet geschikt voor hogesnelheidsfrezen
Krimpopname	➤ uitstekende klemkracht ➤ uitstekende concentriciteit ➤ uitstekende balans ➤ slanke houder ➤ uitermate geschikt voor hogesnelheidsfrezen (1^e keus)	➤ freesschacht moet zijn uitgevoerd in h6/h5 en is daardoor duurder ➤ krimpapparaat nodig ➤ hogere gebruikskosten ➤ niet alle krimpapparaten zijn geschikt voor HSS gereedschappen

3.2 Balanceren

Waarom balanceren?

Bij hogesnelheidsfrezes worden, afhankelijk van de freesdiameter en het te verspanen materiaal, vaak hoge toerentallen bereikt. Bij deze toerentallen nemen de centrifugaalkrachten ten gevolge van onbalans in houder en gereedschap sterk toe. Alle draaiende mechanische delen die niet in balans zijn, veroorzaken trillingen. Dit geldt zeker voor freesspindels waarin gereedschaphouders zijn opgenomen, met de daarin weer opgenomen snijgereedschappen.

De trillingen nemen toe naarmate de centrifugaal krachten hoger worden. De centrifugaalkrachten worden veroorzaakt door het ronddraaien van de spil met de daarin opgenomen gereedschaphouder, kortom het toerental (rpm).

Enkele voorbeelden van snijgereedschappen waar dit zich extreem voordoet, zijn kotterbaren en slagmesses.

De centrifugaalkrachten hebben ook invloed op de spindel zelf. Er treedt verlies op van contact tussen de spindel en de gereedschaphouder. Het gereedschap wil als het ware uit de spindel vliegen. Dit effect heeft als gevolg verlies aan stevigheid. Onbalans kan ook zorgen voor spanningen in de spindellageringen. Het effect hiervan is meestal vroegtijdige slijtage van de spindellagers. Een kapotte spindel kost meestal veel geld en veroorzaakt stilstand. Het is dus van belang om een kritisch mechanisch deel op de juiste manier in te zetten.

Gereedschaphouders en de snijgereedschappen zijn hoofdzakelijk de veroorzakers van onbalans in de spindel. Het effect van trillingen op het verspanende proces zijn;

- slechte oppervlakteruwheid;
- minder goede toleranties van het werkstuk;
- korte standtijd van het gereedschap;
- slechte procesvoorspelbaarheid.

Deze punten hebben de grootste invloed bij het frezen van matrijzen. Matrijzen zijn meestal nauwkeurig, frezen hebben vaak een lange cyclustijd en matrijzen worden vaak in de nachturen gefreesd, waardoor procesvoorspelbaarheid van groot belang is. Uiteraard zijn deze aspecten op elk ander freesproces van toepassing.

Om trillingen in het proces te vermijden, moeten de toerentallen worden gereduceerd. Dit gaat ten koste van het verspanend volume, waardoor de productiviteit daalt. Het kan zelfs zo zijn dat bepaalde bewerkingen niet kunnen worden uitgevoerd, zoals bijvoorbeeld het frezen van dunne wanden of het nabewerken binnen bepaalde ruwheden.

Voordelen van het balanceren:

- langere levensduur van de snijkanten;
- langere levensduur van de machinespindel;
- hogere nauwkeurigheid en betere oppervlakteruwheid.

Nadelen van het balanceren:

- extra stap in het proces;
- wijzigingen in het gereedschap;
- extra voorraadkosten;
- extra mensen, tijd en kosten.

De vraag is dan ook wanneer is balanceren overdreven? Als de centrifugaalkracht door onbalans kleiner is dan de typische optredende snijkrachten, of als balanceren het probleem niet oplost. Bij het laatste deel dient men echter wel de gevoeligheid van de spindel in acht te nemen.

De norm voor het balanceren komt uit de internationale ISO standaard (ISO 1940/1). In deze standaard is het balanceren onderverdeeld in normen. Deze normen zijn op verschillende mechanische bewegingen van toepassing. Een norm voor het balanceren van snijgereedschappen bestaat niet. Daarom zijn er voor de verschillende

toerentallen verschillende normen genomen. Deze normen benaderen de balanceernorm bij het toerental.

In tabel 5 is opgenomen waarin de verschillende normen voor toerentallen worden toegepast. De fabrikant van spindels, machines en gereedschappen kunnen andere waarden toepassen. Deze waarden zijn dan het meest geschikt voor de betreffende machine/houder.

tabel 5 Balanceernormen

toerental	B = gebalanceerd O = ongebalanceerd	balanceernorm
t/m 40.000 of hoger	houder + frees = B	G1
	houder + frees = B	G1
25.000	houder = B	G2.5
	frees = B	G2.5
20.000	houder = B	G2.5
	frees = B	G4
12.000	houder = B	G4
	frees = O	G6.3
6.000	houder = O	G6.3
	frees = O	G6.3

Bij voorgebalanceerde houders is de houder (zonder frees) gebalanceerd. Deze houders kunnen in de door de klant gewenste balanceernorm worden gebalanceerd. Dit wordt in de fabriek gedaan aan het eind van het fabricageproces. De houder kan in de loop der jaren door beschadigingen bij gebruik wel in onbalans raken. Het is dus belangrijk om deze houders met zorg te behandelen.

Voorbalanceren wordt voornamelijk toegepast bij krimp-houders en precisiespantangen. Voor Weldonopnamen is dit zinloos omdat de schroef van de Weldonopname elke vorm van voorbalanceren onmogelijk maakt. Deze schroef kan iets worden ingedeukt, of verder ingedraaid, omdat het Weldonvlak van de frees anders is.

Door snijgereedschappen te kiezen die door hun ontwerp van zichzelf al in balans zijn (hoogwaardige en nauwkeurige frezen) in combinatie met voorgebalanceerde houders, kan men een goed voorspelbaar proces verkrijgen. Samengestelde delen verliezen een deel van hun balans. Bijvoorbeeld, een houder en een frees, die beiden op G2.5 gebalanceerd zijn, zullen hoogst waarschijnlijk samengesteld geen G2.5 meer halen. Wel kan men met redelijke waarschijnlijkheid aannemen, dat het totaal resultaat bij goede montage redelijk bij de norm in de buurt zal zitten.

Met deze werkwijze is het mogelijk om de gestelde balanceernormen te benaderen tot ± 20.000 toeren. Gaat het toerental hoger, dan dient men de houder met de daarin opgenomen frees gezamenlijk te balanceren.

Balanceerbare houders

Om zeker te zijn dat de gestelde balanceernorm gehaald wordt, kun je gebruikmaken van balanceerbare houders. Deze houders hebben als voordeel dat er tijdens het balanceren geen materiaal weggehaald of toegevoegd moet worden aan de houder. Deze worden met name toegepast bij gereedschappen die extreem in onbalans zijn, zoals bijvoorbeeld kotterbaren en dergelijke. Nadeel van balanceerbare houders is, dat er ook een (duur) balanceerapparaat moet worden aangeschaft.

Auteur

Deze voorlichtingspublicatie is opgesteld in opdracht van de Vereniging FME-CWM in het kader van het project 'Procesinnovatie Verspaning voor MKB-bedrijven'. Hierbij waren de volgende organisaties betrokken: SenterNovem, STODT, Syntens, Koninklijke Metaalunie en de Vereniging FME-CWM/Industrieel Technologie Centrum (ITC).

De auteur, Willem Lenselink (STODT) werd ondersteund door een begeleidingsgroep bestaande uit: J-W. Klein Winkel (STODT), R. van den Bosch (STODT), J. van de Put (Syntens), R. Kousbroek (Koninklijke Metaalunie), P. van Ackooy (FME) en P. Boers (FME).

Dank gaat tevens uit naar de volgende organisaties voor het gebruik van illustraties:

Sandvik Coromant (www.coromant.sandvik.com/nl);

Seco Tools Benelux (www.secotools.nl);

SVM-freestechneik (www.mamut.com/svm).

Technische informatie:

Voor technisch inhoudelijke informatie over de in deze voorlichtingspublicatie behandelde onderwerpen kunt u zich richten tot de auteur Willem Lenselink (tel.: 0546-822455, e-mail: w.lenselink@stodt.nl).

Informatie over, en bestelling van VM-publicaties, Praktijkaanbevelingen en Tech-Info-bladen:

Vereniging FME-CWM/Industrieel Technologie Centrum (ITC)

Bezoekadres: Boerhaavelaan 40,
2713 HX ZOETERMEER
Correspondentie-adres: Postbus 190,
2700 AD ZOETERMEER
Telefoon: (079) 353 11 00/353 13 41
Fax: (079) 353 13 65
E-mail: pbo@fme.nl
Internet: www.fme.nl



© Vereniging FME-CWM/april 2006 - 03

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke ander wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Hoewel grote zorg is besteed aan de waarborging van een correcte en, waar nodig, volledige uiteenzetting van relevante informatie, wijzen de bij de totstandkoming van de onderhavige publicatie betrokkenen alle aansprakelijkheid voor schade als gevolg van onjuistheden en/of onvolkomenheden in deze publicatie van de hand.

Vereniging FME-CWM
Afdeling Technologie en Innovatie
Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer
telefoon 079 - 353 11 00
telefax 079 - 353 13 65
e-mail: pbo@fme.nl
internet: www.fme.nl