

DOOR: REINOLD TOMBERG

# Simultaan vijfje ultiem einddoel voor veel metaalbewerkers

Vijfassig, simultaan bewerken is voor veel metaalbewerkers hét einddoel dat via meer- en vijfzijdig verspanen te bereiken is. De eerste vraag is natuurlijk wat je eigenlijk moet met de vijfassige mogelijkheden. Wat zijn de overwegingen voor de metaalbewerkers die nadenken over vijfassers.

Demonstraties van vijfassige machines zijn altijd indrukwekkend. Zeker als alle vijf assen hoogdynamisch tegelijkertijd computergestuurd bewegen bij het frezen van complexe werkstukken. Op metaalbeurzen zie je altijd metaalbewerkingsmachines bezig met het verspanen van grote, impeller-achtige of andere schoepvormige producten van hoogglanzend aluminium: het gaat lekker snel, het is bijzonder mooi om te zien en de spanen vliegen tevreden in het rond. Aluminium is natuurlijk niet het meest moeilijke materiaal om te verspanen. En met een dikke straal emulsie erop lukt het zeker. Wat wil een beursbezoeker nog meer? Zo'n machine met vijf assen koop ik ook! Ik ga met de tijd mee!

## 3+2

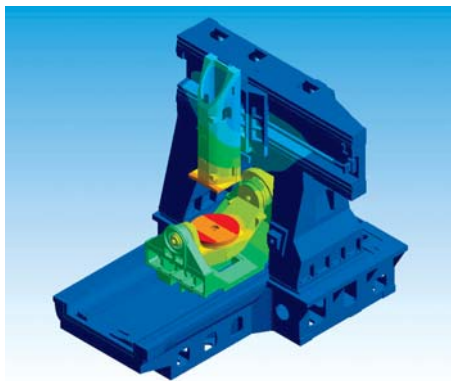
Echter, de ervaring van machineleveranciers leert dat in de dagelijkse praktijk van de metaalbranche, in 90% van de gevallen er van de vijf beschikbare assen maar drie CNC-gestuurd simultaan werken. Meestal de drie lineaire assen. En dat de andere twee assen, de rotatie- en de zwenkas, alleen 'maar' als stelassen gebruikt



*Proefwerkstuk van Makino om de nauwkeurigheid van een vijfassige machine te beoordelen in vergelijking met een drieassige machine. Heel bijzonder is de ring in het midden: de binnenste ring is gemaakt door drieassig verspanen, de zes vlakken van de middenschil door 2+3-assig bewerken en de buitenschil door vijfassig simultaan (foto: Reinold Tomberg)*

worden. De échte situatie in metaalland is dus 3+2 in plaats van vijfassig simultaan. Dankzij die stelassen kun je mooi helemaal om je werkstuk heen werken. Uiteraard heb je dan wel in je andere assen extra bereik nodig om met de bewerkingskop überhaupt om je werkstuk heen te kunnen komen. De vraag is interessant wat je als metaalbewerker eigenlijk moet met een vijfasser, als je toch steeds zes vlakken moet bewerken. Dit geldt zeker voor een toeleverancier die

meestal niet in staat is om bijvoorbeeld een zesde vlak van een werkstuk zodanig te ontwerpen dat dit vlak alleen een opspanvlak is. Een OEM'er kan dat wel, maar een jobber heeft die constructieve invloed niet. Dus wat moet je als een toeleverancier eigenlijk met een vijfasser? Compleetbewerken in één opspanning van alle zes vlakken lukt niet, je moet altijd uit- of opspannen om het zesde vlak te bewerken. Óf op een andere machine óf met een overname-in-



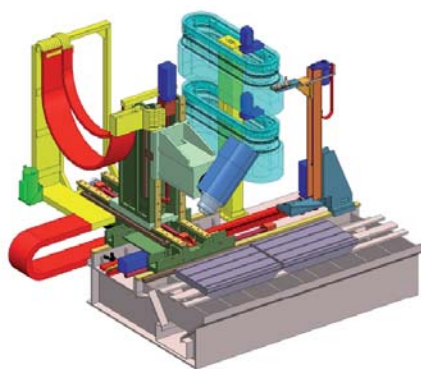
*Thermostabiliteit, vervorming onder invloed van verspaningskrachten en de invloeden van hoogdynamische bewegingen zijn belangrijk bij de beoordeling van vijfassers. Hier een computeranimatie die gebruikt wordt voor machineoptimalisatie (illustratie: Fehlmann)*

richting. De dagelijkse praktijk leert echter dat in veel gevallen die vierde en vijfde as tóch bijzonder interessant is, niet voor simultaan werk, maar om bijvoorbeeld meerzijdig in dezelfde opspanning boringen onder een hoek óf twee hoeken te maken. Daarbij tóch een eerste kanttekening: de extra verstelmogelijkheden komen de nauwkeurigheid niet ten goede! Je stapelt bij een vijfasser namelijk de assen op elkaar, in sommige gevallen zelfs drie assen op elkaar, waardoor de fout van de ene as opgeteld wordt bij de volgende. Bovendien is er sprake van dynamische fouten door het bewegen van óf het werkstuk óf de kop. Al met al resulteert dat erin dat de meeste vijfassers moeite hebben om een ruimtelijke tolerantie van plus of min 20 micrometer te halen, terwijl de meeste drieassers binnen de 10 micrometer liggen (voor machines tot 1000 mm bereik). Daarboven worden de fouten rechtvevendig groter.

### Drie basisuitvoering

Bij vijfassers heb je natuurlijk de 'Qual der Wahl'. Wat laat je lineair bewegen, draaien of zwenken? Je werkstuk (met het machinebed) of je verspanende gereedschappen. Assen in de kop of assen in het werkstuk? Of kies je voor een combinatie? Simplistisch gezien zijn er in principe, gelet op de bewegingsmogelijkheden van de twee rotatie-assen, drie basisuitvoeringen van vijfassige machines te onderscheiden: de 'kop-kop'-machine, de 'tafel-tafel'-machine en de gecombineerde machine.

Bij de 'kop-kop'-machine zijn de vierde en vijfde as, de roterende assen, ondergebracht in de bewerkingskop: deze roteert én zwenkt. Bij een 'tafel-tafel'-machine roteert én zwenkt de tafel. Bij een gecombineerde machine zie je één rotatie-as in de kop en één rotatie-as in de tafel. We komen verderop terug op de drie basisuitvoe-



*Schema van een machine met een zwenkop, de kolom heeft een vaste uitlading. In het bed kan een rondtafel geïntegreerd worden (illustratie: Axa)*

ringen, eerst een kanttekening bij deze indeling, want op een klassieke kruisslede-freesmachine kun je immers met een CNC-bestuurd deel- en zwenkapparaat immers ook prima vijfassig bewerken. Zeker voor het bewerken van kleinere componenten. Maar bij langere delen gaat het omhoog zwenken (omlaag zwenken - de tafel in - gaat immers niet) ten koste van het bereik van de hoogteslag, de Z-as, van je machine. Maar let wel: wat gebeurt er eigenlijk met je machine? Stel je een zwenkas voor die in de Y-richting (voor/achter) schommelt en een werkstuk van pakweg 100 kg hanteert. Welke onvoorziene krachten introduceer je daardoor op de Y-as (en de omkeerspel en stickslijp van diezelfde Y-as)? Deze voorstelling is indicatief voor de dynamische onnauwkeurigheden en fouten die kunnen optreden bij een vijfasser. Dan spreken we nog niet over de invloed van het continu veranderende zwaartepunt in de machine. Kortom, machineconstructies zullen dat steeds meer moeten gaan uitsluiten en bovendien zullen de besturingen adaptiever moeten worden. Het is duidelijk zijn dat die ontwikkelingen momenteel gaande zijn en ook hun invloed hebben op toepassing van lineaire aandrijvingen en torquemotoren. Maar dat maakt de uitdaging voor leveranciers van aandrijvingen en besturingen er niet minder op.

### Niets nieuws

Even een stapje terug in de tijd. Op zich is een CNC-bestuurd deel- en zwenkapparaat natuurlijk niets nieuws. Vroeger waren alle freesbanken voorzien van een verdeelkop: met een directe, indirecte of differentiaalverdeling. Iedereen kent nog het moeizame gereken met de wisselwielen. Bij het frezen van bijvoorbeeld assen met schroeflijnvormige groeven verzorgde de verdeelkop via een schroefoverbrenging tevens

## M E T A A L B E W E R K E N

### Winsten met een vijfasser:

- meer complexe producten zijn maakbaar;
- ideale spaanhoek, sneller en beter verspanen en langere standtijd gereedschap;
- met een vijfasser word je als verspaner voor vol aangezien en krijg je meer werk;
- minder opspanningen nodig, wel onder voorwaarde dat je slimmere opspansystemen of -methodes gebruikt zoals nulpuntspansysteem of bijvoorbeeld praegklemmen teneinde een optimale bereikbaarheid te hebben.

het draaien van het werkstuk. En om het hart van de worm kon die verdeelkop ook zwenken in het verticale vlak. Op die manier konden groeven gefreesd worden op tapse gedeelten van werkstukken. Nostalgische bewerkingstechniek die je terugkijkend kunt beschouwen als een opstapje naar meerassig bewerken. Het beperken van de eerdergenoemde hoogteslag zie je ook als je een drieassige machine voorziet van een extra NC-gestuurde rondtafel op het machinebed. Op zich een prima oplossing om een vierde as te verkrijgen, maar het opbouwen op de machinetafel vergt hoogte en gaat dus ten koste van de inbouwhoogte. Bovendien gaat het zwaartepunt van je werkstuk omhoog, dit introduceert weer extra dynamische fouten.

### Geïntegreerde rondtafel

Daarom zie je dat veel machinebouwers bij vijfassige machines kiezen voor geïntegreerde rondtafels in het machinebed (een rondtafel in het horizontale vlak van het machinebed). Deze rondtafels kunnen behoorlijk groot zijn; een diameter van meer dan een meter is intussen stand der techniek. Ook kan een gebruiker kiezen, zeker bij langbedmachines, om de geïntegreerde rondtafel links of rechts van de hoofdspil te positioneren of juist in het midden. Ook excentrisch geplaatste rondtafels, ten opzichte van de lengte-as van het machinebed, bieden interessante mogelijkheden. Hierbij de praktische kanttekening dat de werkstuklengte bij de langbedmachine in veel gevallen beperkt blijft tot ongeveer de diameter van de rondtafel. Tenzij je een meer kottelbankachtig bouwwijze-principe gaat kiezen, waarbij de draaitafel van de kolom afbewogen kan worden en vervolgens gedraaid. Maar dan is van vijfassig simultaan eigenlijk geen sprake meer.

Je ziet ook dat die langbedmachines ingericht kunnen worden als pendelmachines: bijvoorbeeld links voor vijfassige verspaningswerk-

&gt;&gt;&gt;

**Van vijf assen werken er meestal maar drie simultaan**





### Consequenties van een vijfasser:

- lagere precisie dan een drie-asser;
- hogere kosten CAD/CAM;
- hogere machinekosten en besturingskosten;
- hogere gereedschapouderkosten;
- meer onderhoudskosten en meer botsingsrisico's;
- vaak groter bereik machine nodig om zelfde product-grootte te kunnen bewerken.

zaamheden op de rondtafel en dan rechts als een klassieke drie-assige machine.

### Draaikiepen

De 'kop-kop'-machine is eigenlijk dé klassieke vijfassige machine. Deze machines werken met universele, 'Huron'-achtige freeskoppen die voorzien zijn van een extra deelvlak onder 45°. De koppen zijn indrukwekkende staaltjes machinebouw, al jaren toegepast op grote kotteren freesbanken, maar wel met beperkingen gelet op snelheid of koppel. Deze machines zijn van oudsher heel geliefd voor het bewerken van grote, zware producten met een stilstaand machinebed. De kop gaat dan vijfzijdig om het werkstuk heen.

De 'tafel-tafel'-machine wordt ook wel aangeduid als vijfasser met een draaizwenktafel of een draaikieptafel. In eerste instantie waren deze machines bedoeld voor wat kleinere werkstukken, maar intussen is deze waarheid achterhaald. Machinebouwers hebben intussen machines ontwikkeld die met het grootste gemak werkstukken met een massa boven de 1000 kg kunnen opnemen op draaizwenktafels. Ook gelet op de hoogte zie je indrukwekkende mogelijkheden. Pakweg een meter is geen enkel bezwaar. Dat is wel een behoorlijke klomp staal om te roteren en te versnellen over twee draaiassen. Bovendien zijn deze machines met draaizwenktafels machines die onverwachte bewegingen maken. Alles aan deze machines beweegt mee om een werkstuk in een bepaalde bewerkingspositie te krijgen.

Bij de gecombineerde machines zie je veelal een zwenkas (een B-as) in de freeskop, en een rondas, al dan niet geïntegreerd, in de machinetafel. Daarbij is het opvallend dat die zwenk kop niet



Vijfassig bewerken van een model op een hogesnelheidsmachine. Deze machine wordt ook ingezet voor hardverspanen (foto: Röders)

geschikt is voor het frezen van een lang schuin vlak parallel aan de lengte-as, de X-as, van het bewerkingscentrum. Kopvlakken en bovenzijde van een werkstuk zijn wel goed bereikbaar. Je kunt dit uiteraard oplossen door het werkstuk te roteren met de rondtafel, maar voor lange werkstukken is dit uiteraard geen oplossing. Die rondtafels zijn eigenlijk meer bedoeld voor prisma-achtige werkstukken.

Je ziet dan ook dat machinebouwers nu ook de universele freeskop, de kop dus met een extra deelvlak, aanbieden op bewerkingscentra met rondtafels. Op die manier ontstaat eigenlijk een zesassige machine. Weliswaar met twee kopassen die niet simultaan kunnen werken (wel NC-bestuurd verstellen) maar het biedt veel bewerkingsmogelijkheden. Zeker voor toeleveranciers een mooie flexibiliteit. Dit zijn wel koppen

met een complexe mechanische constructie. Er is natuurlijk pas echt sprake van vijfassig als de 'klassieke' spindelaandrijving van deze universele freeskop vervangen wordt door een vierde en vijfde voorzien van een motorspindel.

### Snelheid en versnelling

Een probleem van de eerste vijfassers was dat de twee rotatie-assen vergeleken met de machine-assen altijd trager waren. Dit kan een machine vertragen. Bijvoorbeeld als bij simultaan frezen het gereedschap bij het veranderen van een beweging met behulp van de rotatie-assen snel een andere positie moet innemen. Eerder zag je dan wel eens dat de machines wat haerde met een lelijke aftekening op het oppervlak als gevolg. Tegenwoordig speelt dit minder, ook de rotatie-assen zijn intussen behoorlijk snel. Maar meer nog zijn de besturingen en de bijbehorende software verbeterd.

Verplaatsings- en rotatiesnelheid op zich zijn echter niet de juiste parameters om een vijfasser te beoordelen. Veel meer van belang zijn versnelling/vertraging en ruk. Versnelling/vertraging zegt iets over hoe snel de snelheidsveranderingen kunnen plaatsvinden en de ruk vertelt hetzelfde over hoe snel de versnellingen en vertragingen kunnen geschieden. Het grappige is

### Denken in systemen

Bij het vijfzijdig of -assig verspanen moet de metaalbewerker gaan denken in systemen. Het geheel moet kloppen. Dus de machine, opspanning en gereedschap moet als een eenheid bekeken en geanalyseerd worden. Het beste vanuit een CAD-systeem in een geautomatiseerde werkvoorbereiding. Vanuit dat CAD-vertrekpunt is het zinvol om via een CAM-systeem te komen tot een bewerkingsstrategie. Inclusief een simulatie vooraf en een controle op botsingen, want vijfassers bewegen immers onverwacht. Het succes van een vijfassige machine staat of valt met een goed NC-programma.





Een mooi voorbeeld van eigentijds vijfassig werk: een 'onmogelijke' vertanding gefreesd op een Hermle bewerkingscentrum (foto: Reinold Tomberg)

dat iedere machinebouwer wel de waarde voor snelheid en vertraging kan geven, maar die van de ruk hoor je eigenlijk nooit. IJlsnelheden kunnen tegenwoordig waardes behalen van 40 m/min of 50 m/min en versnellingen en vertragingen boven de 1g zijn geen uitzondering.

### Fahrständer

Lettend op de machineconstructie zie je een aantal bouwwijzen. Heel populair zijn de zogeheten 'Fahrständer'-machines. Dit zijn machines met een kolom die achter het vaste machinebed in lengterichting heen en weer beweegt. Bij deze halfportaalmachines zie je eigenlijk twee uitvoeringen: machines met een vaste uitlading en machines met een variabele uitlading. Bij een vaste uitlading beweegt de gehele machinekolom dwars op het machinebed naar voren en naar achteren. Bij een variabele uitlading beweegt de machinespil door de machinekolom naar voren en naar achteren. Onderscheidend is dat bij een vaste uitlading de machinevervorming altijd constant is.

Een kenmerk van halfportaalmachines is dat ze, als gevolg van de C-bouwwijze, onder belasting altijd wat zullen openbekken. Zeker bij een groter bereik van de Y-as iets om goed rekening mee te houden. Alhoewel machinebouwers

met het oprekken van de Y-as tegenwoordig erg ver gaan. Werd eerder een bereik van 1 m als maximale maat genoemd, nu zie je dat ook in de halfportaalbouwwijze Y-assen van 1200 mm of zelfs 1500 mm aangeboden worden. Maar er is een grens. Zeker ook omdat je bij een bereik van de Y-as van 1500 mm bij een machine met een vaste uitlading ook de gehele machinekolom over die afstand moet verplaatsen. Een behoorlijke verplaatsing die de machine erg diep maakt.

Dus komt op een bepaald moment de portaalmachine vanzelf in beeld. Ook hier zie je veel uitvoeringen. Stilstaand werkstuk en bewegende portaal of juist andersom. Binnenliggende portalen of opliggende portalen. Of por-

talen met één ligger of met twee liggers. In het eerste geval is de afstand vanaf de spilneus tot de geleidingen van Y-as heel bepalend voor de machinestijfheid en vervorming. Bij machines met twee liggers zie je veelal een mooie krachtgesloten, symmetrische constructie.

### Beoordeling

Hoe moet je nu een vijfasser beoordelen? Daarvoor zijn een aantal mogelijkheden. Heel simpel is een statische meting uit te voeren. Rij bijvoorbeeld de Z-as maximaal uit, belast de spilneus met een radiale kracht en kijk vervolgens wat de vervorming is in micrometers. Voer dit bij verschillende machines uit en dan is het niet zo moeilijk: beoordeel de verschillen.

>>>

### Frame-materialen

Als framemateriaal voor vijfassige machines zie je drie materialen: polymeerbeton, gietijzer en gelaste plaatstalen constructies. Gietijzer is natuurlijk de moeder aller framematerialen: voldoende elasticiteitsmodulus en goede dempende eigenschappen. Grappig is dat voor- en tegenstanders van polymeerbeton dezelfde eigenschap als voor- en nadeel benoemen: het op bedrijfstemperatuur komen van polymeerbeton duurt even. Jammer van de tijd zeggen de criticasters, lekker stabiel zeggen de liefhebbers. Thermostabiliteit is overigens een thema om goed over na te denken bij vijfassers. Gelaste plaatstalen constructies geven machinebouwers veel mogelijkheden om optimaal in te spelen op de wensen van metaalbewerkers. Bed een metertje langer? Geen enkel probleem. Als maar wel goed rekening gehouden wordt met het dynamisch gedrag.





*Een grote rondtafel, de vijfde as, in het bed van een Matec langbedmachine. Dit is ook een machine met een behoorlijke Y-as (foto: Reinold Tomberg)*

Het dynamische gedrag onder droogloopcondities is te beoordelen met een zogenaamde 'Kreuzformtest' met een 'Kreuzgittermessgerät'. Laat bijvoorbeeld met de maximale ijlgang de machine een cirkelvormige beweging maken en bekijk vervolgens wat de afwijking is van de cirkelvormige beweging.

De telescopische ballbar is eveneens een simpele en snelle methode om de positioneer-nauwkeurigheid van CNC-bewerkingsmachines te beoordelen. Ook op deze manier kunnen machineprestaties gevolgd en vergeleken worden.

De tot nu toe genoemde metingen geven wel een indruk van de nauwkeurigheid van het positioneren, maar natuurlijk niet van de vijfassige prestatie. Nuttig daarvoor is het proefwerkstuk dat het Duitse NC-Gesellschaft ontwikkeld heeft

voor vijfassige simultaan-freesbewerkingen. Dat vergelijken kan vanzelfsprekend ook met eigen werkstukken of met proefwerkstukken van machineleveranciers. Ook de zogeheten R-test is een mooie manier om machines vooral dynamisch te kunnen meten.

Een heel eenvoudige praktijktest, die ook nog simpel te meten is, is een kubus van 60 mm opdelen per zijde in 9 vlakken van 20 x 20 mm en die met een steeds andere positie van de BC of AC-as te laten frezen. Vervolgens kun je bijna met een hoogtemeter al iets over de nauwkeurigheid vaststellen.

### **Draaien**

De draaitafels van de huidige vijfassers groeien steeds meer uit tot draaistations. Dat wil zeggen

### **Toegankelijkheid**

In veel gevallen is de toegankelijkheid van vijfassige machines matig en zodra er sprake is van automatische belading is de toegankelijkheid nog minder. Overigens vragen de hogere exploitatiekosten van een vijfasser veel sneller om automatische belading.

dat de snelheid en aandrijfkoppel in toenemende mate geschikt zijn voor écht draaiwerk. In eerste instantie namen de geïntegreerde, horizontale draaitafels de draaitaak op zich. Maar nu zie je ook dat de draaistations van draaikieftafels uitgroeien tot draaihoofdspil. Het bijzondere is natuurlijk dat dat draaistation kan staan onder elke hoek van het zwenkbereik. Heel bijzonder: je hebt een carrousel-draaibank waarvan je de draaitafel in elke positie onder het gereedschap door kunt zwenken. Een gebruiker die wil draaien op een vijfasser moet wel nadenken over de extra warmtestromen in de machine, zeker bij grote werkstukken, en wat daarvan de invloed is op de verlangde nauwkeurigheid.

Ook opvallend is dat de meerassigheid van machines eigenlijk het onderscheid doet vervagen tussen horizontale en verticale machines. Een zwenkkop van een verticale machine neemt met het grootste gemak een horizontale positie in en een van oorsprong horizontale machine oogt tegenwoordig ook al snel als een verticaal bewerkingscentrum. Zeker iets om over na te denken bij de aanschaf van een vijfasser. Horizontale machines komen in ons land niet zo veel voor, als gevolg van kleinere series, maar kunnen door de mogelijkheid van het verticaal opspannen toch geheel eigen verspaningsoplossingen bieden. Een horizontale vijfasser is optimaal voor spaanafvoer en dus populair in de vliegtuigbouw voor de vervaardiging van structuurdelen waarbij 90% van het materiaal verspaand moet worden. Daar nemen ze voor lief dat het opspannen iets meer inventiviteit vergt.

Door het veel grotere botsingsrisico bij vijfassers en complexere werkstukken die bij uitstek op een vijfasser gemaakt moeten worden, is er een toenemende behoefte aan langer gereedschap wat duurder is en een grotere doorbuiging veroorzaakt waardoor voeding, standtijd en freescapaciteit teruglopen. Alternatief is op zoek gaan naar een gereedschaphouder die het toelaat om standaardlengtes gereedschap te gebruiken en tevens de doorbuiging tot een minimum reduceert, waardoor voeding, standtijd en freescapaciteit op niveau blijven. <<<

