

Abrasief naar **nano** productiviteit

R&D in het slijpen heeft de laatste jaren zeker niet stilgestaan. Betere kennis van de procesfysica leverde onder meer innovaties als verbeterde, meer slijtvaste abrasiefschijven op, die langdurig identieke kwaliteit garanderen op hoger prestatieniveau. Grootste vooruitgang is echter geboekt door aangepaste machinebouw met meer dynamische aandrijvingen, geavanceerde geleidingen, besturingen en software. Een overzicht van de 'state of the art' op basis van de Studer Motion Meeting begin februari in het Zwitserse Thun.

• **Jan Wijers** •

Buiten kijf staat dat CNC-rond-, vlak-, profiel- en gereedschapsslijpen voorkeur verdient als industrieel verspaningsproces voor bestuurd precisie op maat, maar vooral voor submicron-oppervlaktegesteldheid in harde materialen. Abrasief verspanen blijft veranderen, de gestelde eisen zijn nog nooit zo hoog geweest. Dit deels omdat deze finishtechniek gepositioneerd is achterin de fabricageketen voor het bewerken van in die fase op zich prijzige, hoogwaardige werkstukken. Afwijkingen leiden onherroepelijk tot duur herstel of afkeur en, dicht tegen de afleverdatum, tot vertraging. Op het brede toepassingsgebied – automotive, stempel- en matrijzenmakerijen, machinebouw, aerospace, pneumatiek/hydrauliek, elektronica, medische en horloge-industrie – gaan, naast stijgende kwaliteit, de trends momenteel in diverse richtingen:

- miniaturisering van fijnmechanische, meettechnische, elektronische en medische onderdelen;
- complexe, hoogbelaste maar lichte delen (bijvoorbeeld nokkenassen met de nokken gemonteerd op dunwandige holle assen en hogedrukdieselinjectiesystemen);
- uiterst moeilijk conventioneel bewerkbare, zeer hittebestendige en slijtvaste materiaalsoorten als titaan, chroom- en nikkel-superlegeringen en keramieksoorten.

Wat bij andere technieken gangbaar is, kan men intussen hier soms in één machine terugvinden, zoals een korte opsomming aantoont: combinatie-, meerzijdig- en compleetbewerken, snelloopslijpen, lineaire motoren, hydrostatische precisielagering, polymerebeton, simultaan meerasig verspanen, snelle en krachtige CNC's met PC-faciliteiten onder Windows XP, simulatie voor optimale en tegen botsing beveiligde bewerkingscycli, en automatische gereedschap- en werkstukwisseling.

Twee sterker dan één

Combineren van bewerkingen waar dat gaat is stand der techniek. Zo'n combi bevestigt eens te meer dat één enkel productieproces alleen in uitzonderlijke gevallen de meest optimale en efficiënte oplossing biedt. Ter verkorting van de doorlooptijd en om – in dezelfde opspanning – een nog betere concentriciteit te realiseren, is de laatste jaren het simultaan in- en uitwendig slijpen geperfectioneerd. Deze nieuwe mogelijkheid is momenteel op diverse moderne slijpbanken werkelijkheid en zet door in de industrie. Tegenwoordig beseft zelfs een slijpmachinefabrikant hoeveel winst met weinig extra moeite te behalen is door een aanvullende verspaningstechniek in dezelfde multifunctionele machine te integreren. Zo kan nu bijvoorbeeld hard-

precisie en

Duale positie slijpen

Principieel lijdt het flexibele slijpen eronder dat geen standaardgereedschap ter beschikking staat. De verspaningstechniek heeft een duaal karakter omdat uitgegaan wordt van verschillende 'near-net-shape'-gereedschappen. Aan slijpschijven moet namelijk geregeld een bepaalde vorm en een 'open', scherpe structuur worden gegeven voor reproduceerbare technologie (ofwel voorspelbare kwaliteit). Dat dressen of afritsen gebeurt nauwkeurig middels vooraf en in-proces repeterend of continu profileren en opscherpen vanwege tijdens het verspanen optredende schijfslijtage. Vervolgens wordt met dit productspecifiek gereedschap – gekenmerkt door talloze geometrisch ongedefinieerde microsnedes – doelgericht voorgeslepen, gefinished en uitgevonkt; zie Figuur 1.



Figuur 1. Actieopname van precisieslijpen van een protheselement in de praktijk.

Door de minder goed bekende verspaningssituatie blijft slijpen bij enkelstuks- en kleinseriefabricage van gereedschap en fijnmechanische onderdelen een bijna ambachtelijke, sterk op vakmanschap steunende specialiteit. Echte slijpspecialisten halen met moderne apparatuur onvoorstelbare mogelijkheden uit het proces met de kleinste toleranties, puur op eigen kennis en ervaring.

Vaak moet het kennisgebaseerde proces echter productspecifiek grondig worden uitgezocht. In dat geval kunnen op automatische, totaal op de betreffende opgave toegespitste machines de moeilijkste opgaven volledig beheerst en hoogproductief worden uitgevoerd. Dat bewijzen de – autonoom en bedrijfszeker – in de industrie lopende lijnen voor productie van grote werkstukken tot aan series precisieonderdelen voor microsystemen. Drijvende kracht in deze sector is zonder twijfel de auto-industrie. In de massa- of grootseriefabricage van motoren, versnellingsbakken, aandrijvingen, servohydrauliek en inspuitssystemen bevinden zich talrijke hoognauwkeurig geslepen componenten.

Pluspunten van slijpen zijn onmiskenbaar (sub)micronnaukeurige geometrie, maat, positie en ruwheid, en relatief kleine proceskrachten. Gestreefd wordt allerwegen naar eliminatie van de huidige tekortkomingen, zijnde groot tijdsbeslag, geringe afnamesnelheid, hoog energieverbruik en sterke mensafhankelijkheid.

draaiend een complex contourelement snel worden vooorbewerkt met goedkoop standaardgereedschap. Vervolgens slijpt men het hele onderdeel exact binnen de gestelde toleranties. Tegelijk wordt de draaistructuur weggevoerd waar die ontoelaatbaar is, zoals op lagervlakken.

Mechanica

Qua mechanica is veel veranderd. Vroeger bouwde elke firma machines van de grond af op voor specifieke slijptechnieken als rond-, vlak- (mee- en tegenlopend kruipganglijpen), profiel-, centerloos-, gereedschap- en co-slijpen. Daar gaat een conglomeraat als de Körber Schleifring Gruppe – bestaande uit Studer, Ewag, Schaudt, Mikrosa, Mägerle, Blohm, Jung en Walter – vandaag anders mee om. Een ontwerper vertrekt nu vaak strategisch – voor maxima-

le synergie – van een optimaal doordacht bouwdoosprincipe op basis van een systematisch opgebouwde reeks precisiecomponenten als bed, X-/Z-/A- en B-as, slijp- en werkstukop en meetsystemen. Van het begin af aan moet – ondanks die functiemodules – een maximale stijfheid gegarandeerd zijn. Veel kennis en ervaring zit verborgen achter de modules. Zo krijgen de geslepen tafels doelgericht een uit de praktijk afgeleide afwijking van enige micrometers ten opzichte van de 'nullijn'. Eigen massa en die van de erop geplaatste machinesubsystemen corrigeren zodanig dat de optimale lijn in gebruiksklare toestand wordt bereikt. Tijdens demonstraties in Thun toonden hooggekwalificeerde vaklieden hoe strategische precisiedelen als de hoogwaardige hoofdspindels, machine-assen en lagerhuizen in eigen beheer extreem zorgvuldig en gestruc-



Figuur 2. Bed van een precisieslijpbank gegoten uit Granitan S 103.

tureerd worden geslepen. Bewerkingsstappen voor een inbouwklare spil zijn onder meer: in/uitwendig voorslijpen, nitreren, hardheidcontrole, nogmaals voorslijpen, schroefdraadslippen, kunstmatig ouderen in elektro-ovens, centers naslijpen, buitencontour geclimatiseerd finishslippen, idem binnencontour met tussentijdse elektropneumatische meting en eindcontrole op vorm-, positie- en ruwheidstoleranties. Trots melde de QA-chef dat in 2005 totaal voor slechts 2506 Zwitserse Frank aan afkeur werd geproduceerd.

Hybride

Bij Studer vormt een bed uit Granitan S103 de hybride basis. Dit is een zelf ontwikkeld, economisch alternatief voor het gebruikelijke gietijzer of staal, met meer dan dertig jaar in de praktijk bewezen trillingsdempende eigenschappen. Dergelijke materialen worden momenteel zelfs gebruikt voor de nauwkeurigste coördinatenmeetmachines. Het gepatenteerde polymeerbeton heeft als belangrijkste kenmerken:

- hoge thermostabiliteit,
- extreem lage uitzettingscoëfficiënt,
- geen inwendige spanningen,
- chemisch bestendig en niet oxiderend,
- uitstekend eigen resonanties dempend,
- hoge dichtheid,
- hoogdrukvast,
- snel (binnen tien dagen) en tegen geringe kosten vormvast af te vormen via gieten.

De bedconstructie – en dus ook de specifieke gietmal – is wel aangepast op dit speciale materiaal, bijvoorbeeld door relatief grote wanddikte en mogelijkheden om precisie-bepalende onderdelen als lageringen en geleidingen na uitharden te monteren; zie Figuur 2.

Automatisering

Bij slijpbewerkingen staan aan- en afvoer bekend als knelpunt. In de productie worden in toenemende mate robots ingeschakeld die het uitgangsmateriaal laden en de kant-en-klare werkstukken afvoeren. Als economische MKB-oplossing stond met de allereerste easyLoad een constructief gezien simpel aan- en afvoerconcept ter beschikking met aantrekkelijke prijs-prestatieverhouding en 20-30% productieverhoging. Tegelijk met de geredesignde S33 universele rondblijfmachine – intussen wereldwijd al 400 keer geplaatst voor een sterk variërend werkstukspectrum in één opspanning – werd dit jaar op klantenwens de logische vervolgstap geïntroduceerd; zie Figuur 3. De volautomatische, op de nieuwe vormgeving aansluitende smartLoad-module – voor een snelle, veilige en schone werkstukhandling tegen redelijke prijs – is door een extra interface ook achteraf te integreren. Een nauwelijks plaats innemende portaallader werkt met snel verwisselbare, productspecifieke grijpers. De versie met twee V-vormige klauwen is bijvoorbeeld geschikt voor maximaal 300 mm lange assen en foeterdelen van 6 tot 100 mm diameter en 5 kg massa. Aan- en afvoer van de eindproducten gebeurt met de rechts naast de slijpbank opgestelde unit via een in hoogte en breedte verstelbare band of middels pallets.



Figuur 3. Presentatie van vernieuwde S-33 machine met smartLoad-hanteerunit.

Beheersing op nano's

Een aansprekend staaltje machinebouw vormt de hoog-nauwkeurige S12 rondslijpbank; zie Figuur 4. De uiterst stabiele, hoogdynamische machine is door de hoge modulariteit vrij configureerbaar voor onder meer simultaan in- en uitwendig slijpen (Figuur 5) en centerlooslijpen.



Figuur 4. Functioneel Studer S-12 design.



Figuur 5. Simultaan binnen- en buitenslijpen is mogelijk.

Met de innovaties die zijn ingebouwd wordt de lat duidelijk hoger gelegd, wat precisie en efficiëntie in bedrijf aangaat voor kleine en middelgrote onderdelen; zie Figuur 6. Bij dit compacte kruistafelconcept (4 m² vloeroppervlak, centerhoogte 175 mm, slijplengte 150 mm, maximale schijfdoorsnede 500 mm) is sprake van een uniek, gepatenteerd aandrijf- en geleidingssysteem. Twee in uitgekiende V-vorm opgestelde lineairmotoren positioneren de dwars- (X-as, 300 mm, zie Figuur 7) en de langsbeweging (Z-as, 350 mm) hoogdynamisch met extreme precisie, zoals de 'Kreisform'-test bewijst; zie Figuur 8.



Figuur 6. Hoognauwkeurige werkstukken die, ook economisch gezien, nauwelijks zonder slijpen zijn te fabriceren.



Figuur 7. Lineairmotor met geïntegreerde hydrostatische lagering en geleiding.

Om de krapste toleranties te realiseren wordt gewerkt met een ongekend nauwkeurige, programmeerbare aanzet in 10 nm stappen. Bekend is dat waar $0,1 \mu\text{m}$ geëist wordt in het product, de machine binnen het $0,01 \mu\text{m}$ bereik moet opereren. De zeer stijve, hydrostatische gelagerde tafels – met maximaal gespreide geleidingen – zijn magnetisch voorgespannen. Die garanderen door de goede dempende werking en hoge thermostabiliteit over een lange levensduur precieze en gladde producten. Aangepaste Heidenhain absolute meetsystemen met glaslinialen van $0,01 \mu\text{m}$ resolutie zijn volgens de regels van de kunst ingebouwd (centrisch, trillingsvrij, volledig afgeschermd van stof, vloeistoffen en thermische invloeden). De enorme dynamiek van de line-

airmotoren maakt voedingssnelheden tot 30m/min haalbaar bij 3 m/s^2 maximale versnelling. Aan een verhoogde productiviteit – lees cyclustijdverkorting – draagt zonder meer bij de HSG-optie. Voor hogesnelheidsslijpen – omtreksnelheden tot 140 m/s – worden de stuurcommando's direct aan de aandrijving gegeven.

Stabiliteit

Thermische invloeden dienen voor allernauwkeurigste applicaties minimaal te zijn. Optimale koelcondities zijn dan ook bij slijpen in het algemeen – maar zeker bij high speed en kruipslijpen – van het hoogste belang. Het geïntegreerde koelsysteem verzekert actief een hoge thermische stabiliteit door het geheel van motoren, hydrostatische en elektronische componenten op constante temperatuur te houden. Verdere ingebouwde hydraulische en pneumatische units staan thermisch en wat in- en externe trillingen betreft vrij opgesteld.

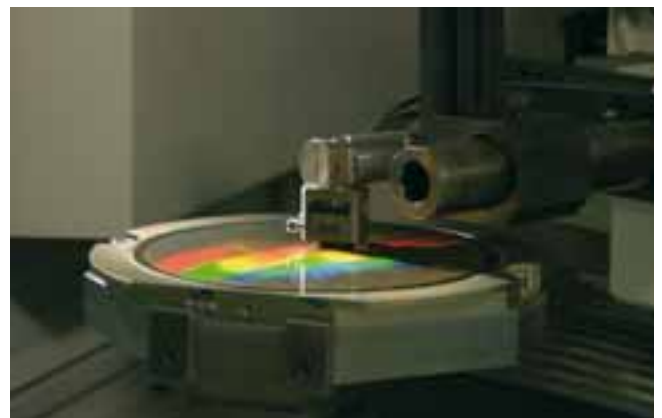
Bij alle vooruitgang staat de mens centraal in dit functioneel, ergonomisch en ontwerptechnisch knappe design. Veel glas rondom maakt de werkruimte goed overzichtelijk, met een grote naar boven wegklappende deur voor vrije toegang.

Superglad met microkorrels

Naast onderzoek naar hogere verspaningscapaciteit blijft verdere vermindering van de eindruwheid gewenst. Spiegelgladde oppervlakken vereisen nu meestal een extra polijstbehandeling. Dat de basistechniek slijpen industrieel veel onontdekte potentie heeft, bewijzen twee interessante ontwikkelingen.



Figuur 8. 'Kreisform'-test bewijst ontbreken van kwadrantfouten.



Opvallend is dan ook dat zo'n twintig jaar na de ontdekking in Europa het ELID-slijpen slechts in uitzonderlijke gevallen wordt ingezet. Tijdens recente bezoeken aan Japanse bedrijven en JIMTOF (Azië's tegenhanger van de EMO-beurs) bleek dat elke zichzelf respecterende leverancier van vlak-, rond- en CNC-slijpen uit Nippon deze optie met bijbehorende technologie intussen aanbiedt. Electrolytic In-proces Dressing gaat in essentie uit van metaalgebonden diamantschijven met een hoge concentratie aan extreem fijne korrels ($< 8 \mu\text{m}$). Deze worden continu, goed geregeld elektrolytisch gedresst. Daardoor blijft de uitsteeklengte constant en loopt de spaanruimte niet dicht. Dit middels een pulsgenerator met sterke gelijkenis met een microvonkgenerator. Deze efficiënte manier van ultrafijn-slijpen levert – door veel lagere maar stabiele proceskrachten – metallurgisch vrijwel onbeschadigde oppervlakken op, aan de maat met een sterk verhoogde, optisch gladde 'polijst'-kwaliteit ($< 0,01 \mu\text{m} R_a$). Aangezien aparte polijst-handelingen vervallen, wordt zodoende een maximale vormzuiverheid gerealiseerd zonder kans op maatverlies. Het ELID-proces functioneert in principe op elke stabiele conventionele slijpmachine, mits voorzien van een speciale CD-kop met gesegmenteerde dresselektrode om de slijpschijf, gekoppeld aan bovengenoemde pulserende stroombron. Een praktische beperking vormt het feit dat profileren vooraf op de gebruikelijke wijze moet plaatsvinden. In plaats van de typisch random verdeelde korrels in meerdere lagen van een normale slijpschijf gaat een tweede finishmethode – voor bijvoorbeeld (herbruikbare) slijpstiften en hoonalen – uit van één strak geformeerde, enkelvoudige laag abrasiefkorrels. Eigenlijk de ideale Ausgangssituatie: per applicatie naar op afmetingen en slijpmiddel – CBN en PCB – gerangschikte korrels, met bovendien eveneens naar snijkant georiënteerde abrasieve deeltjes op een ruimtelijk te definiëren positie. Wat slijptechnologie aangaat beschikt men dan over een naar aantal slijpkorrels, uitsteeklengte en vrije ruimte gedefinieerde mono-layer, met op optimale stand, spaanhoek en andere korreleigenschappen – als abrasieve weerstand, analoog aan de roosterstructuur bij diamant – georiënteerde snijkanten.

Software

Aan Studer's inzet om 'The Art of Grinding' te perfectioneren, dragen besturing en software maatgevend bij. Optimale functionele ondersteuning is voor deze complexe techniek van allerhoogst belang, evenals bedieningsvriendelijkheid. Sterk punt is dat voortaan één krachtige CNC (Siemens

840D of Fanuc 310i) met geïntegreerde PC-functionaliteit alle gezamenlijke functies zichtbaar op het beeldscherm uitvoert. Van snel en veilig on-line, off-line of direct – middels pictogrammen – programmeren op de machinebedieningspaneel, (snel) instellen (tussen de opdrachten), sturen – met in-proces terugkoppeling – van de machine met alle periferie-apparatuur, en procesbewaken tot meten met in-proces statistische verwerking en correcties uitvoeren toe. Geselecteerde opties – als draadloze akoestische opnemers, sensoren voor procescontrole via bijvoorbeeld toucheerherkenning, meetsystemen met contactloze optische meetkoppen, een automatisch balanceer- en werkstukmanipuleersysteem – geven de klanten uitbouw mogelijkheden naar behoefte.

Bovendien verhoogt uitgekiende software – die de operator zoveel mogelijk zaken uit handen neemt – de acceptatie in de markt. Daarvoor staan ter beschikking zelf ontwikkelde slijpspecifieke softwaremodules: StuderWIN, StThread (draadslijpen), StPunch (snijders), Quick-Set en StGRIND, alsmede een omvangrijke, met unieke klant- of productgerichte gegevens uitbreidbare technologiedatabank. Deze helpen (onder Windows XP) ook bij het opstellen en simuleren op een externe PC van gecontroleerde en botsingsvrije slijp- en dresscycli, inclusief maakbaarheidscontrole en kostprijsdefinitie. Invoer verloopt via DXF, IGES, VDAFS, ISO, enz.

Mensen zijn van nature visueel ingesteld. Werkvoorbereiding en uitvoering sterker grafisch ondersteunen en simuleren, maakt zelfs ingewikkelde cycli overzichtelijk en beheersbaarder. Niet alleen wat betreft de verschillende slijpcycli, evengoed ten aanzien van profileertechnologie en -strategie van de tweede essentiële bewerking, het dresen. Van de dresstechnologie wordt geëist met micronprecisie en rendabel vrij programmeerbare contouren in CBN en PCD schijven aan te brengen. Mede daardoor wordt de economisch haalbare batchgrootte verkleind.

Auteursnoot

Jan Wijers is freelance journalist te Eindhoven, gespecialiseerd in productietechnieken.

Informatie

www.studer.com