

Slijpen

# Naar een combinatie va



Het wordt niet of harddraaien of slijpen, maar een combinatie van beide bewerkingen. Dit nieuwe bewerkingscentrum van Studer biedt de mogelijkheden daartoe.

Jan L. C. Wijers  
Mikrocentrum  
Eindhoven

Alle technologische ontwikkelingen binnen de metaalbewerking ten spijt blijft slijpen volop in de belangstelling staan en wordt als bewerkingstechniek dan ook nog steeds doorontwikkeld. Slijpen is vooral van toepassing bij hard, lastig verspaanbaar materiaal en de allerhoogste producteisen, zowel in universeel gebruik als in productie. Dat toont het geslaagde Studer slijpsymposium dat eerder dit jaar werd gehouden overduidelijk aan. Aan de vraagkant komen nieuwe materialen op en stijgt het aantal hoogwaardige producten met 'n krasser tolerantieveld, zelfs microprecisie, en een superglad oppervlak meer dan proportioneel. Competente aanbieders als de Schleifring Groep krijgen anderzijds maximaal grip op het slijpproces en introduceren doorontwikkelde technieken, hoogproductieve machines op maat, slijpschijven met gedefinieerde snijkanten, intelligente software en autonome 'in proces' bewakingssystemen.

# n slijpen en harddraaien

Maar ook binnen de slijpwereld spelen nu algemeen gangbare thema's als compleetbewerken, hoge snelheid en gecombineerde hardfijnbewerking, als richting om het verspanen met ongedefinieerde snedes verder te verbreiden. Voorbij is de tijd van trage productieruns, moeilijke machine-instellingen en handmatig bedrijf. Als zuivere eindbewerking slijpen rijen moderne machines met een sterk gestegen prestatievermogen supersnel complexe werkstukken aan de maat met een (sub)micron precisie in cycli van slechts enkele tientallen seconden, en dat bij een duurzame nauwkeurigheid.

Meer dan 850 technici konden dat eerder dit jaar optekenen uit de mond van prominente vakspecialisten met bijbehorende demonstraties, tijdens het Zwitserse rondslijpsymposium gecombineerd met een vakbeurs.

## Geavanceerde machinebouw

Machines modulair samenstellen op basis van een uitgekend bouwdoosprincipe met een minimum aan identieke, in de praktijk bewezen precisiecomponenten, is begin deze eeuw al mode bij meer machinefabrikanten. Op die wijze bouwt men in Thun, op individuele klantspecificatie zoals te zien in de productie, consequent voor vrijwel elke slijppapplicatie de ideale oplossing als selectie van overgedimensioneerde standaardmodules (slijpspindel, werkstukspil, bed, geleidingen, lineaire meetsystemen, revolverkop, besturing, A-, B-, C-, Y-as en handlingsystemen) en met nieuwste concepten voor aandrijving en geleiding. Zo past men alleen nog een zwenktafel toe indien beslist nodig, ondanks alle besturingsmogelijkheden.

**MKB** Weinig technici onderkennen trouwens dat juist dankzij het principe van de revolverkop hoogwaardig slijpen weer haalbaar en beter betaalbaar is geworden binnen het midden- en kleinbedrijf MKB. Immers, uit productiviteitsoverwegingen en vanwege de tegenwoordig geëiste hoge precisie zijn steeds meer werkstukken alleen maar in één opspanning gebruiksklaar af te werken. Intussen zijn indexerende slijpkoppen (voor hoogstens drie slijpschijven) met een integrale, frequentieregelde motorspil de stand der techniek geworden voor compleetbewerking, zowel bij in- als uitwendig rondslijpen. Wat de constructie van de revolverkop betreft verrasten de R&D-specialisten ter plaatse met een nog slimmere oplossing wat aandrijving betreft, namelijk twee geïnstalleerde motorspindels goed voor maximaal vier schijven <math>\varnothing 500\text{ mm}</math>.

**Platformconcept** Na succesvolle introductie van het platform-productieconcept binnen

de auto-industrie komt die profitabele trend nu ook opzetten in de machinebouw. Op slechts twee aan elkaar verwante basisframes levert bijvoorbeeld Studer voortaan slijpmachines uit een breed assortiment naar wens van de klant. Dat kan zijn een productieslijpmachine, of een universele versie, of een zuivere binnen- of buitenslijpbank op maat, en dat zowel in een 'high end' als in een 'low cost' uitvoering. Zo'n laatste veelgevraagde 'lean' type kenmerkt zich door een beperkte uitrusting, als onder meer een minder complexe koeling in de slijpspindel, een handbediende of minder fijn motorisch verstelbare revolver en een simpelere besturing. Maar ook door minder uitbreidingsopties. Met een dergelijk compact en stijf platvorm kan de fabrikant, zonder op kwaliteit in te moeten boeten, makkelijker voldoen aan de vraag naar onder meer nieuwe machinemodellen met groter bereik, zoals aangetoond op de beurs in Zwitserland met respectievelijk de eco1000 en de universele lange S31CNC variant. Beide zijn maar liefst tot 1000 mm tussen de (stationaire of mee-lopende) centers verlengde versies van bestaande slijpbanken voor lange geprofileerde assen (centerhoogte 175mm).

## Granitan frame

Polymeerbeton, dat de machinebouw intussen al 25 jaren kent, levert hierbij als constructiemateriaal een wezenlijke bijdrage. Studer is indertijd onder kostendruk als pionier gestart met het toepassen van een zelf ontwikkelde speciale soort Granitan (licentie voor derden beschikbaar). Volgens de fabrikant zonder graniet ondanks de gepatenteerde merknaam, maar op basis van een bijzonder sedimentgesteente uit de directe omgeving van de fabriek. De voornaamste pluspunten daarvan zijn: hogere dichtheid en drukvastheid bij vastgelegde korrelgrootte en vorm. Doorontwikkeld vormt die



Kenmerken van het moderne slijpen: makkelijke bediening, forse ver-spaning, optimale maat, vorm en gladheid.

Naar een combinatie van slijpen en harddraaien





Door uitgekende vormgeving zijn op dit platform verschillende typen slijpmachines op te bouwen (hier met S31-uitmonstering).

hybride grondstof tegenwoordig zelfs voor meetmachines en HS-bewerkingscentra een reëel en betaalbaar alternatief, met grote vormvrijheid, voor grijs-gietijzer of staalplaat.

Met een uitgekende constructie zijn zo compacte dragende frames weer als vanouds gemakkelijk, economisch en snel beschikbaar (doorlooptijd <10 dagen) in eigen beheer te fabriceren met bovendien superieure eigenschappen wat betreft thermostabiliteit en demping.

Een dergelijk bed uit Granitan S103 reageert trager op warmtebelasting, zet niet uit en is bestand tegen agressieve vloeistoffen. Winst levert eveneens de gereduceerde geluidsemisatie en de verlengde levensduur van het gereedschap.

Grootste besparing zit echter, door de uitstekende afvormbaarheid met direct bruikbare montagevlakken voor geleidingen en spindels, in het wegvallen van verspanende nabewerking en logistieke activiteiten daaromheen. Tevens daalt het energieverbruik tijdens fabricage aanzienlijk. Zoals werd gemeld levert overgang van gietijzer op polybeton al voordeel op bij kleine series (<15 stuks).

Qua uitvoering moet de machineconfiguratie echter concreet zijn afgestemd op de eigenschappen van dat intussen bewezen materiaal (massievere constructie, puntvormige belastingen vermijden, precisiedelen achteraf monteren, mogelijke opties in constructieberekening en FEM-analyse betrekken).

### Gerangschikte mono-layer

Ook op dergelijke geavanceerde machines speelt kwalitatief hoogwaardig slijpgereedschap een cruciale rol, met zijn typisch wild gestapelde opbouw, zeer groot aantal geometrisch onbepaalde snijkanten en sterk negatieve spaanhoeken. Bekend is bijvoorbeeld dat – indien niet correct afgeritst – de verspaning meer wrijvend dan slijpend verloopt. Dat leidt niet alleen tot verglazen van de schijf en inbedden van slijpdeeltjes in het werkstuk, maar ook tot

slijpbrand door de hoge energietoevoer per verspaand volume die op het oppervlak in warmte wordt omgezet.

Opzienbarend zijn de resultaten van recent onderzoek op het gebied van slijpmiddelen gepresenteerd door Burkhard (ETH-Zürich). Met een grafiek 'slijptijd versus -kosten' laat hij zien dat besparen op slijpmiddelen absoluut niet loont, aangezien de resulterende inferieure werkstukwaliteit de bewerkingsduur opdrijft en daarmee de bewerkingskosten. Omgekeerd vormde het uitgangspunt van zijn project 'Optimalisering van mono-layer abrasiefmiddelen' de stelling: Hoogwaardig slijpgereedschap minimaliseert bewerkingstijd plus kosten.

Ideaal is een metalen drager, aan de omtrek op maat en in een vast patroon (naar wens) voorzien van één enkele laag slijpkorrels (mono-layer). Gedefinieerde plaatsing ervan bepaalt de korrel dichtheid alsmede afmeting en positie van de vrije ruimte. Aangepaste bindmiddelen maken mogelijk dat daarbij de uitsteeklengte 80 tot 100 procent van de gemiddelde korreldoorsnede bedraagt. Voordelen, vooral in vergelijking met traditionele slijpschijven, bieden de uitstekende toevoer van koelsmeermiddel, naast goede spaanafvoer zelfs bij hoge verspaningscapaciteit, en bovendien een hoge proceszekerheid mede door de eenduidig reproduceerbare abrasieflaag.

Doorslaggevend minpunt daarbij is tot nu toe een bewerkelijke en industrieel ongeschikte fabricagemethode (uit vele potentiële mogelijkheden met ieder eigen beperkingen) voor dergelijke abrasief gereedschap (diamant of CBN, al naar gelang de toepassingseisen). Die vervaardiging moet namelijk tegelijk simpel, snel, variabel en reproduceerbaar zijn, alsmede onafhankelijk van korrelgrootte en uitgangsvorm van het slijplichaam.

Dat alles belooft de nu voorgestelde microdoseermethode. Daarbij dienen dotjes lijm op het draaglichaam voor initiële hechting, waarna pasta wordt aangebracht in twee actief-soldeer varianten: 'soldeer-op-korrel' of 'korrel-op-soldeer'.

**Gepatenteerd** Zelfs al zijn dergelijke mono-layers met sterke binding niet te dresen, de enorme standtijdverhoging ten aanzien van traditionele slijpmiddelen rechtvaardigt eenduidig de hogere prijs. Verschillende vormen van slijpgereedschappen zijn uitgetest, waaronder hoondoornen, slijpstiften en insteekschijven.

Hoonbussen leverden indrukwekkende resultaten in de productie van pasgaten Ø12F7 in geharde tandwielen. Veelbelovend vooruitzicht is ook het na gebruik weer opknappen van versleten slijpschijven of -stiften. De logisch volgende stap en onlangs gepatenteerde innovatie gaat richting aanmaak van slijpmiddelen met niet alleen gerangschikte, maar zelfs naar op oriëntatie beïnvloede korrels. Daarbij maakt men gebruik van een mix van bestaande methodes en



elektrostatisch strooien. ETH-specialisten verwachten van die gerichte korrels nog eens een aanzienlijke verbetering van de standtijd bij gelijke kwaliteit. Dit analoog aan de ervaringen in het oriënteren op het kristalrooster van diamant bij precisiebeitels. Tevens verloopt het inlopen van een slijpstift of -schijf aanzienlijk sneller. Lukt het oriënteren naar de hardste fase dan dient de DIN6580 indeling van de huidige industriële bewerkingen te worden uitgebreid met 'verspanen met geometrisch gedefinieerde abrasief-snijkkanten'.

**Slijptimalisatie** Algemene tendens is vandaag de dag een doelgerichte prestatieverbetering, simultaan met totale beheersing in bedrijf. Eerste stap om elke slijpkus optimaal te laten verlopen is het kiezen van de meest geschikte schijf. Rappold (WST, Winterthur) meldt in dat verband recente ontwikkelingen, onder meer op het gebied van CBN korrels van SpheroWin microkorund met een betere warmtebalans. Dit door met holle kogeltjes opgevulde poriën en een hybride MH3 binding in diamantschijven voor HM-slijpen, wat de maatlat voor slijpen opnieuw een stukje hoger legt.

Slijpen als niet-stationair proces moet eigenlijk gaande het bewerkingsproces continu bewaakt en bijgesteld worden. Experimenteel werkt men aan autonomere en intelligentere apparatuur, mede in antwoord op het vakliedentekort. Volgens wetenschapper Fiebelkorn spitst R&D-Studer zich in het kader van optimalisatie (efficiëntieverhoging, minder uitval en onbemande doorloopuren) toe op de zwaartepunten als sensortechniek voor automatische procesbewaking, geselecteerde besturingsconcepten, en gebruik van effectiviteit verhogende voorzieningen.

Als eerste variant komt binnenslijpen in aanmerking door de complexiteit van op elkaar inwerkende factoren die volledige grip op het proces vereisen, zoals blindbewerken van vliegend opgespannen werkstukken, kleinste afmetingen slijpstiften met grote uitsteeklengte, draaiend op zeer hoge toerentallen tijdens bijna continu meerassig bedrijf. Nog gecompliceerder is de situatie tijdens simultaan binnen-/buitenslijpen op bijvoorbeeld een S140 productiemachine.

Met bijdetijdse voorbeelden toont hij overtuigend aan hoe speciale voorzieningen als een dynamisch balancersysteem, oscillerende Z-as en een losse kop met automatische correctie op cilindriciteit, helpen om zowel productiviteit als kwaliteit te verbeteren.

**Sensoren overall** Zoals een topmetaalbewerker al slijpend zaken hoort die toekijkend niet opvallen, wil men in de nabije toekomst eenduidige digitale procesinformatie visueel terugkoppelen, en bij dreigende trendmatige limietoverschrijding zelfs automatisch bijsturen. Goedkope, door slimme inbouw weinig kwetsbare maar toch gevoelige, sen-

soren zorgen naast snel montagebare, wegklapbare meetapparatuur, in samenspraak met procesbewakingssoftware voor het meten, diagnosticeren en ingrijpen ter voorkoming van storingen.

In het slijpproces zelf zijn tegenwoordig ook statische kwaliteitstesten (SPC) op te nemen met als doel 'on line' meten van bewerkingsuitkomsten.

Voor onvoorziene veranderingen is zelfs een ijktafel beschikbaar om opnieuw de uitgangstoestand vast te leggen en eventueel te compenseren. Van een breed spectrum markante verschijnselen kan men momenteel, afhankelijk van hoe, waar en welke opnemer is geplaatst, onder kenmerkende slijp- en drescondities signalen meten. Die betreffen bijvoorbeeld opgenomen spilvermogen, actuele krachten, ruisemissies en het warmtebeeld.

Daarnaast kunnen slijtagemetingen behulpzaam zijn en vastlegging van de macrogeometrie. Leveranciers als Dittel zien kans met de proceskrachten proportionele akoestische emissies (AE) systematisch in de praktijk op te meten. Technologisch relevante signaalcomponenten scheidt men daarbij door filteren van interfererend achtergrondgeluid. Helaas was de signaalkwaliteit bij binnenslijpen tot voor kort vaak slecht. Studer biedt nu praktische oplossingen met uitstekende signaal/ruisverhouding. Daarbij worden zeer betrouwbare sensoren direct gemonteerd op en vast verbonden met de slijp-, werkstuk- en dresspil, die zodoende meten vlak bij de verspaningszone.

Met speciale ringsensoren met hoge resolutie, bestaande uit opnemer en zender, blijkt men bij binnenslijpen een driemaal beter resultaat te bereiken dan met een rechthoekige trillingsopnemer op dezelfde plaats, even ver van de geluidsbron. Deze helpt een kleinere aanzet te realiseren die fijnzinniger toucheren (bepalen discrete positie van schijf) gemakkelijk en bij dresen resulteert in lagere ruwheid en geringer volumeverlies aan slijpmateriaal. Bovendien kan men hiermee onrendabel 'luchtslijpen' bekorten (snellere spleetoverbrugging), terwijl botsingsgevaar effectief vermindert door een tijdigere noodstop.

**Programmering** Een alsmaar groter deel aan technologie en bewerkingsstrategie wordt in de digitale besturing ingevoerd. Want ervaring uit het veld leert dat slijpers vaak uitgaan van eigen op veilig spelende waardes die soms verbazingwekkend ver van het optimum liggen. Die vrij simpel verloopende programmering is ook voor minder geschoolde slijpers best snel aan te leren. Dit dankzij pictogrammen, functie-symbolen die vaste slijpcycli verbeelden en opeenvolgende programmastappen als transparante structuur vastleggen. En dat ondanks vele vrijheidsgraden en zelfs met inbegrip van schroefdraad- en onrondslijpen.

Afwijkende tot zeer ingewikkelde slijp opdrachten zijn met Micro-(software)functies in afzonderlijke stappen



samen te stellen. Op het eind als de hele slijpcyclus vastligt, wordt alsnog een ISO-code van volledige functionaliteit gegenereerd. Zo wordt geholpen omslachtige taken deels te automatiseren.

Om de beheersbaarheid van de programmering van complexe geometrieën te versterken, staat het Studer-NC pakket met diverse hulpprogramma's ter beschikking (vanaf PC over het interne netwerk direct in verbinding met de CNC-besturing). Zo zijn met het programma QuickSet, met een minimaal verlies aan neventijden, verschillende schijven onder diverse hoeken in en om te stellen.

En StPunch maakt, grafisch ondersteund, samen met een C-as het slijpen van ronde en niet-rotatiesymmetrische punches mogelijk. Ter reducering van cyclustijden in het profielslijpen met een positie- en snelheidssgeregelde C-as is een hoge-snelheidsmodule (HSM) beschikbaar. Deze geeft gegenereerde stuurimpulsen rechtstreeks door aan de asaandrijving (buiten de normale interpolator om).

Een stap verder gaat de onlangs tot V5.x versie opgewaardeerde software met uitgebreidere mogelijkheden. Die gaan van de meest ideale snedeopdeling bij dresen, via bijvoorbeeld calculatie van slijp- en neventijden plus het totaalkostenoverzicht voor een vroegtijdige offerte, tot aan een werkstuk gebonden data-opslag voor vervolgoopdrachten.

Eindresultaat wordt een bijdehantere machine, ook voor hoge-snelheidslijpen, die simpeler te bedienen is en zelf voorstellen aangeeft en/of adaptief correcties uitvoert tijdens specifieke slijpopdrachten.

**De diamantschijf** De voor een correcte dreswerking bepalende parameters en de onderlinge samenhang zijn de meeste slijpers

bekend. Onder normale omstandigheden is dresen, of afritsen van korund, siliciumcarbide en kubisch boornitride onder gelijktijdige correctie van de maatvoering al helemaal gecontroleerd, dus zonder menselijk ingrijpen, mogelijk. Conditioneren omvat in deze context het hele proces van profileren (benodigde macro-structuur aanbrengen), het scherp houden van de snijkanten (topografie in stand houden ofwel de actieve tip van de bovenste laag korrels vrij leggen boven de binding zonder de macroscopische vorm te verliezen) en het reinigen (poriën schoonspoelen). Echter, bij keramisch gebonden schijven op basis van het hardst bekende materiaal ligt het zo eenvoudig niet. Het zal niet vreemd overkomen dat eigenlijk niemand weet aan te geven waar de slijtage zal gaan optreden bij het dresen met diamant (7000N/mm<sup>2</sup>) op een (keramisch gebonden, poreus gestructureerde) diamantschijf. Beide raakvlakken zijn immers even hard en slijtvast. Tot nu toe vindt het ritsen van diamant gebruikelijk op een overtallige machine plaats met versleten SiC-schijven. Die secundaire bewerking verloopt door de lage G-verhouding moeizaam, duurt lang en is kwalitatief alleen geschikt voor simpele profielen tegen hoge kosten.

De heer Ardelt (Saint-Gobain, Norderstedt) meldt tijdens het Zwitserse congres resultaten van experimenten gericht op toekomstige kwalificatie van een technologisch geschikte methode, afritsen van diamant met een roterende dresrol. Dat dient voor de cyclussnelheid op de machine zelf, zonder omspannen, 'in proces' (dus tijdens het slijpwerk) plaats te vinden en bovendien ter vermindering van dynamische fouten met een toerental gelijk aan dat in de praktijk. Intussen maakt volgens de spreker de DDS-starterkit een dergelijke manier van rollend dresen al mogelijk



Eco1000: Verlengde buitenslijpbank te leveren in "high end" maar ook in "low cost" uitvoering.



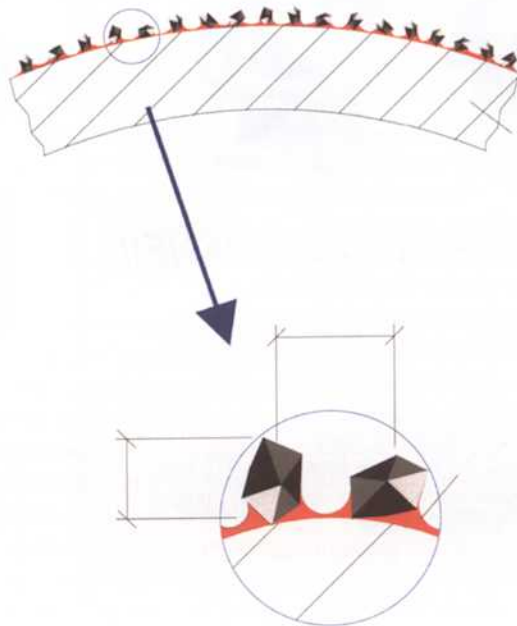
onder bepaalde condities. Aan het geslepen werkstukoppervlak komt zo weer een ruwheid binnen bereik die beter is dan die van harddraaien. Vereist is voor industriële gebruik een acceptabele dres/slijtageverhouding. Experimenteel zijn vooral variaties in de mate van overlapping, in de onderlinge verhouding van omtreksnelheid, alsmede aanzet en voeding als belangrijkste regelbare variabelen bekeken, los van de per bewerking vastliggende specificaties van de paring slijp/dresgereedschap.

**Combi-bewerking** Harddraaien of precisieslijpen is geen discussie meer. Zelfs bij kleine series en uitzonderlijke producten krijgt harddraaien momenteel de voorkeur, vanwege de verhouding tussen kwaliteit, tijd en kosten. Door geschikte snijmaterialen en erop aangepaste gereedschapswerktuigen zijn hoogwaardige (ge)harde werkstukken met een geometrisch bepaalde snijkant flexibel en in factoren kortere tijd te draaien tot IT6 naslijpkwaliteit, ten koste van geringe processtabiliteit met relatief hoge kosten per product. Door (eventueel droog) harddraaien met fijnslijpen (specifieke voordelen: gegarandeerde hoge maat- en vormnauwkeurigheid met allerbeste oppervlaktegesteldheid naast lage absolute kosten per werkstuk) te combineren zijn kortere doorlooptijden haalbaar, vergeleken met de traditionele volgorde vonkverspanen, voorslijpen en naslijpen op verschillende machines.

Deels speelt een sterke vereenvoudiging van de productiecycclus mee. Harddraaien vraagt naast een excellente rondloop, door passieve proceskrachten tussen 30-150N wel extra dynamische en statische stijfheid, iets wat een slijpmachine per definitie heeft. Combinatie van bewerking in z'n veelvoud van mogelijkheden ligt in de toekomst voor de hand, ondanks groeiende complexiteit van proces, machine en bediening, hogere prijs en mogelijk een ongunstig compromis in machinebouwtechnisch opzicht.

Het kersverse prototype van het universele Studer S41CNC slijpcentrum voor rondslijpen en harddraaien (met enkele vaste beitel of indexerende beitelhouder) demonstreert dat.

Deze combimachine met een uitgebreide reeks periferie-opties is wat prestaties betreft een sterk opgevoerde S40 (maximaal werkstukgewicht 180kg, respectievelijk tot 300 en 1200 mm vergrote slag van X- en Z-as bij 15 m/min snelheid). Dit bewerkingscentrum vormt het richtpunt binnen de markt van universele rondslijpmachines, mede door subsystemen als voorgespannen hydrostatische X-geleiding, absolute



*De ideale slijpschijf: Gerangschikte mono-layer, met op een metalen drager gerichte diamant, op een zo regelmatig mogelijke onderlinge afstand en met deeltjes van zoveel mogelijk gelijke hoogte.*

lengtemeting van X- en Z-as die referentie-aanlopen tijdens opstarten overbodig maakt, en de Windows compatibele Fanuc160i CNC besturing. Een harddraaidemo tijdens de beurs toonde het exact profileren van de conische schouder in HSK63 houders.

**Cyclustijd kort** Alternatieven zijn te vinden bij de Schleifring-groep. Zo is daar Uranos M, een volwaardige verticale harddraai/slijpmachine in een configuratie voor spaanafvoer. De hangende pick-up hoofdspil verplaatst zich zeer snel door zijn lineaire motor.

De Kronos-Dual, alleen al opmerkelijk door centerloos en tussen-centers slijpen te combineren, wat drastische verkorting van de productietijd oplevert. De cyclustijd van nokkenassen in massaproductie werd met 45 procent bekort, doordat centerloos slijpen door uitstekende productafsteuning altijd nog de productiefste slijpmethode is. Dit ondanks het risico dat exact in het hart houden moeilijk is.

Ewag demonstreert daarnaast, op de Ewamatic-Line met zijn typisch eigen kinematica, een veelheid van slijpoperaties uit te kunnen voeren in één opspanning. Die verlopen op polykristallijne diamant (PCD) sneller dankzij vonkslijpen, middels de speciale optie voor roterend vonkverspanen met schijfvormige grafitelektrodes.