Elektrisch geleidende keramieken bewerken via vonkerosie (EDM)

27 mei 2016, 02:00

Olivier Malek

Door hun extreme hardheid zijn keramische materialen en hun composieten erg in trek voor werktuigbouwkundige toepassingen die door zware belasting gevoelig zijn voor slijtage. De keerzijde van de medaille is dat de materialen erg moeilijk bewerkbaar zijn met conventionele technieken. Sommige zijn zelfs onmogelijk te slijpen, omdat oxides zich telkens vastzetten op de slijpschijf. Voor elektrisch geleidende keramieken biedt Electrical Discharge Machining (EDM) of vonkerosie een oplossing. Maar om een optimale kwaliteit te bereiken, zijn proces- en materiaalkennis onontbeerlijk. Er is immers een sterk verband tussen materiaaleigenschappen en vonkgedrag.

Keramische materialen en hun composieten staan bekend om hun extreme hardheid (1400-4000 kg/mm^2), hoge stijfheid (200-600 GPa), hoge smelttemperaturen (1600-3600 °C) en hoge chemische resistentie tegen corrosie. Daarenboven bieden bepaalde keramieken (SiC, ZrB_2, TiB_2, Al_2O_3 ...) het voordeel van lage specifieke dichtheden.

Topmateriaal in tal van toepassingsgebieden

Door die hoge hardheid zijn keramieken erg interessant voor werktuigbouwkundige toepassingen die aan zware belasting worden blootgesteld en dus gevoelig zijn voor slijtage: gereedschappen, snijlatten, kogellagers, remschijven en andere bewegende delen die contact maken.

En ook in elektrodes voor de metaalverwerking of *leading edges* voor ruimtevaarttoestellen kunnen technische keramieken hun dienst bewijzen. Dankzij de grote dimensionele stabiliteit en lage uitzettingscoëfficiënt kan SiC immers worden ingezet als constructie- en spiegelmateriaal in hoogwaardige instrumenten voor de ruimtevaart.



Figuur 1: Relatie hardheid en weerstand tegen abrasie

Conventionele bewerkingstechnologieën schieten tekort

Minpunt van keramische materialen: door hun hoge hardheid zijn ze erg moeilijk bewerkbaar met conventionele technieken. Zo zijn enkel gereedschappen in diamant of cBN in staat om dit materiaal te slijpen. Het gevolg? Een beperkte geometrische vrijheid van de ontwerper.

Sommige keramiektypes zijn zelfs onmogelijk te slijpen, zoals de borides (Ultra High Temperature Ceramics, UHTC's) die momenteel sterk winnen aan populariteit. Oxides van deze materialen hechten zich vast op de slijpschijf en bemoeilijken zo sterk het bewerkingsproces. Voor deze materialenklasse moet dan ook worden uitgekeken naar andere bewerkingstechnologieën, zoals vonkerosie of Electrical Discharge Machining (EDM).

De oplossing: Electrical Discharge Machining (EDM) of vonkerosie

De populairste technische keramieken - Al_2O_3, ZrO_2 en Si_3N_4 - zijn niet- of laag conductief (B_4C, SiC). Maar door een conductieve tweede fase toe te voegen, zoals WC, TiB_2 of TiN bijvoorbeeld, worden ze wel elektrisch geleidend (> 100 S/cm). Ook worden ze sterker, harder en taaier, met fijnere microstructuren als resultaat. Dat komt door de remmende eigenschap van een tweede fase op de korrelgroei tijdens het sinteren.



Figuur 2: Conductief B_4C-TiB_2 composiet

Materialen die elektrisch geleidend zijn, komen vervolgens in aanmerking voor een bewerking met vonkerosie of EDM. Met dit procedé kunnen keramieken (en hun composieten) snel en efficiënt bewerkt worden, hoe hoog hun hardheid ook is. Dit proces legt immers alleen een thermische belasting op het werkstuk. Hoe het in zijn werk gaat? Met een reeks gecontroleerde elektrische ontladingen tussen het werkstuk (het keramiek) en het gereedschap (draad, stempel of vonkfreeselektrode) wordt het materiaal verwijderd. Tijdens het proces zijn zowel het werkstuk als het gereedschap ondergedompeld in een diëlektricum (demi water of olie).



Figuur 3: Principe van vonkerosie

Verschillende materiaalafnamemechanismes in het spel

In tegenstelling tot wat algemeen gedacht wordt en courant is bij het vonken van metalen, spelen naast **verdampen en smelten** nog andere materiaalafnamemechanismes een rol. Zo kan er een zogeheten 'thermal shock' optreden, waarbij korrels zich door de thermische spanning tussen twee fasen tijdens het proces loswrikken. De verhoging van de sterkte en taaiheid van het materiaal kan dan ook een negatieve invloed hebben op de vonksnelheid. Meer nog, het kan zelfs een overgang naar smelten/verdampen als dominant afnamemechanisme veroorzaken. Over het algemeen hebben materialen die 'thermal shock' als afnamemechanisme kennen (bv. TiCN, TiB_2, TiN-ZrO_2) een hogere oppervlakteruwheid.

Ook een **chemische reactie** behoort tot de mogelijkheden. Tijdens het vonkproces worden relatief hoge temperaturen bereikt. Si_3N_4 smelt niet, maar ontbindt vanaf 1800 °C in stikstof en silicium (oxide). Ook bij het vonken van wolfraamcarbides (WC, WC-ZrO_2) gebeurt de afname voornamelijk door oxidatie. De korrelgrootte speelt een belangrijke rol bij de mogelijke vonksnelheden en

ruwheden. Veelal gaat het ook om oppervlakten die erg ruw zijn.

Een praktisch voorbeeld hiervan is de oppervlakteruwheid van TiB_2-B_4C composieten (figuur 5), materialen die in normale omstandigheden smelten en verdampen. Maar een testsample met een hoeveelheid koolstof op de korrelgrens (TiB_2 BT 60/40) heeft in de finisseerpassen altijd een veel hogere ruwheid. De reden hiervoor? De andere grades hebben een sterke korrelgrens, en smelten/verdampen is de primaire methode van materiaalafname. Bij de aanwezigheid van koolstof, dat als sinteradditief wordt gebruikt, verzwakte de korrelgrens en wordt 'thermal shock' de primaire manier van materiaalafname. Dit heeft zo zijn invloed op de haalbare oppervlakteruwheid.



Figuur 4: Een vonkerosieoppervlak van Si_3N_4-TiN waarbij de schuimachtige structuur typisch is voor een chemische reactie



Figuur 5: Ruwheden na ruw vonken (E501) en de verschillende finisseerpassen (E502 tot E506). TiB_2 BT 60/40 is een materiaal met een zwakkere korrelgrens



Figuur 6: Links normaal B_4C-TiB_2 vonkoppervlak na finisseren en rechts het materiaal met een zwakkere korrelgrens door koolstoftoevoeging. Er zijn duidelijk korrels zichtbaar wat impliceert dat 'thermal shock' plaatsvindt.

Kortom, om een optimale kwaliteit te bereiken bij vonkerosie zijn proces- en materiaalkennis onontbeerlijk. Er is immers een sterk verband tussen materiaaleigenschappen en vonkgedrag. Figuur 7 toont een overzicht van enkele keramische materialen, hun elektrische geleidbaarheid (dus hun geschiktheid om te vonken) en hun hardheid (veelal de parameter die in acht wordt genomen voor toepassing in slijtagegevoelige toepassingen).



Figuur 7: Overzicht van ultraharde keramische composieten en hun elektrische geleidbaarheid

De afdeling Precision Manufacturing van Sirris publiceert **zes white papers rond de uitdagingen en opportuniteiten in precisieproductie**. Het vijfde deel rond verwerking van harde, brosse materialen is nu uit. Wilt u zeker zijn dat u geen van deze white papers mist? Registreer u hier om deze white papers (gratis) in uw mailbox te ontvangen!



Auteurs



Olivier Malek