

# Hexagonales Bornitrid (hBN) – Anwendungen von Metallurgie bis Kosmetik

Dr. Martin Engler,  
Dr. Christoph Lesniak, Ralf Damasch, Dr. Bernd Ruisinger, Dr. Jens Eichler

ESK Ceramics GmbH & Co. KG  
www.esk.com

(Vortrag auf der DKG-Jahrestagung 2007 in Dresden)

Strukturell ist hexagonales Bornitrid (hBN) dem Grafit sehr ähnlich (Bild 1), weswegen es in der Literatur gelegentlich auch als „weißer“ Grafit bezeichnet wird. Das 2-dimensionale Netzwerk aus (BN)<sub>3</sub>-Ringern bildet Schichtstrukturen aus, die als plättchenförmige Partikel im Gegensatz zum isoelektrischen Grafit aufgrund der fehlenden freien Elektronen farblos und elektrisch isolierend, aber ebenso thermisch leitfähig und „schmierfähig“ sind, da ebenfalls nur von schwachen van der Waals-Kräften zwischen den Schichten zusammengehalten. Das nicht natürlich vorkommende und sehr weiche Material (Moh's-Härte 1-2) zeichnet sich weiterhin durch einen für anorganische keramische Werkstoffe sehr hohen Schmelz- bzw. Zersetzungspunkt aus (2700 - 3000°C) bei einer relativ niedrigen Dichte (2,25g/cm<sup>3</sup>) [1]. Klassische, anwendungsrelevante Eigenschaften sind daher seine Schmierwirkung bei gleichzeitiger hoher thermischer Stabilität und Oxidationsbeständigkeit, die hBN in vielen Gebieten über Grafit setzen. Durch seine chemische Inertheit bzw. sehr geringe „Oberflächenaktivität“, die sich z.B. in der Nichtbenetzbarkeit durch viele Schmelzen (Salze, Gläser, Metalle) ausprägt, ist hexagonales Bornitrid auch gegenüber vielen typischen Feuerfestmaterialien in punkto Toxizität und Umweltverträglichkeit im Vorteil.

Der industrielle Syntheseweg basiert auf einem 2-stufigen Prozess, in dem zuerst bei ca. 900°C eine Bor-Quelle, wie B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Boroxid) und H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> (Borsäure), mit einer Stickstoff-Quelle (meist Melamin oder Harnstoff, teilweise auch Ammoniak [NH<sub>3</sub>]) zu amorphem Bornitrid umgesetzt wird, das in einem zweiten Schritt bei Temperaturen meist oberhalb 1600°C unter N<sub>2</sub>-Atmosphäre (N<sub>2</sub> = Stickstoff) kristallisiert, wobei in Anlehnung an die Terminologie beim Grafit auch zuerst ein Übergang ins Turbostatische, dann ins Mesografitische und schließlich in die hexagonale Phase des hBN zu beobachten ist. Die Kontrolle der Prozessparameter in der zweiten Glühung bedingen neben

dem Reinheitsgrad des Produkts sämtliche Pulvereigenschaften (Partikelgröße, Kristallinität, spezifische Oberfläche usw.).

hBN Sinterteile werden im Allgemeinen über durch Druckaufgabe unterstütztes Sintern (Heißpressen oder heißisostatisches Pressen) hergestellt. Der Verdichtungsmechanismus kann als „glasphasenunterstützte Verdichtung“ beschrieben werden. Geringe Mengen an B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fungieren dabei als flüssige Phase während des Sinterns und im Sinterkörper als Bindephase für die hBN Plättchen. Im Gegensatz zu anderen nichtoxidischen Keramiken ist für hBN kein Lösungs- und Wiederauscheidungsprozess zum Sintern bekannt. Bild 2 zeigt eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines heißgepressten hBN. Die Präparation der Proben wurde bereits beschrieben [2]. Durch die Präparation wurde die B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Bindephase entfernt, was das poröse Erscheinungsbild des Materials in Bild 2 erklärt, obwohl die Dichte des Materials > 94 % der theoretischen Dichte beträgt. Die hBN-Körner sind klar definiert, es sind die geringen Kontaktpunkte zwischen ihnen klar zu erkennen.

## Hexagonales Bornitrid (hBN) und dessen Einsatzmöglichkeiten

Aktuelle Anwendungsgebiete können prinzipiell über die „Darreichungsform“ von hBN in den jeweiligen Hightech-Prozessen eingeteilt werden in:

- Bornitrid-Komposit-Formteile (heiß-/heißisostatisch gepresst)
- Bornitrid-Beschichtungssysteme (z.B. Suspensionen und Sprays)
- pulverförmiges Bornitrid (z.B. Pulver und Granulate).

Entsprechend dieser Einteilung werden im Folgenden einige typische Anwendungsfelder behandelt. In all diesen Anwendungen kommt die einzigartige Eigenschaftskombination von hBN zum Tragen, daher gibt es keine echten Werkstoffalternativen zu den vorgestellten Materialien.

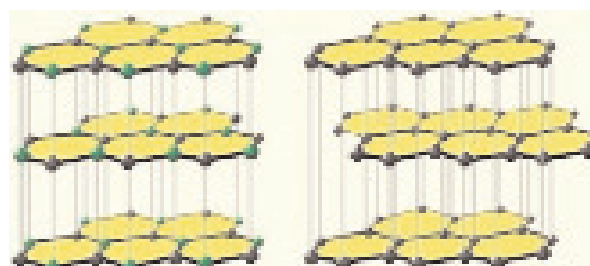
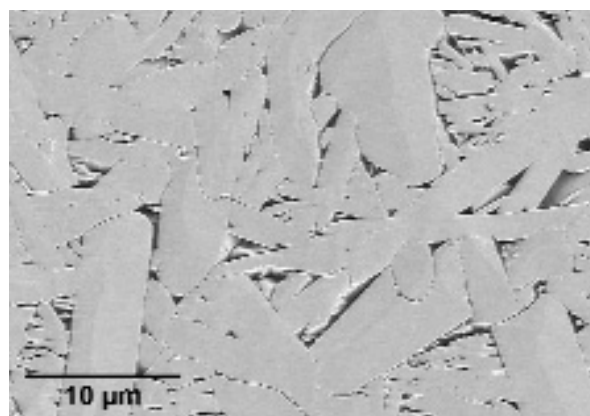


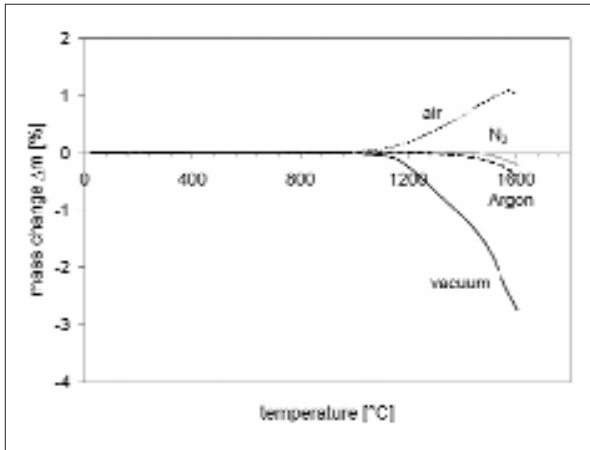
Bild 1 Schematische Darstellung der Kristallstruktur von hexagonalem Bornitrid (links) und von Grafit (rechts)



## Formteile aus BN- und BN-Komposit

Im Bereich der Automobilindustrie findet MYCROSINT® S – hBN mit Boroxid als Bindephase – Anwendung als Dichtelement in Sauerstoffsensoren (Lambdasonde). Für die moderne Motorsteuerung ist die Messung der exakten Zusammensetzung des Abgases notwendig. Lambdasonden messen dabei den Sauerstoffgehalt im Abgasstrom relativ zu einer Referenzsauerstoffkonzentration [3]. Das Signal wird an die Motorsteuerung weitergeleitet, das die Sauerstoff/Kraftstoff-Mischung entsprechend anpasst. Um eine zuverlässige Messung zu gewährleisten, müssen der Mess- und Referenzraum durch ein Dichtpaket getrennt werden [4]. Das Material des Dichtpakets muss zudem ein elektrischer Isolator, hochtemperaturbeständig und für die Lambdasondenproduktion geeignet sein. Eine der beiden Komponenten des Dichtpaketes besteht dabei aus einem Dichtring aus MYCROSINT®.

Bild 2 REM- Aufnahme von heißgepresstem hBN (MYCROSINT® S) mit > 94 % der theoretischen Dichte, präpariert durch Ionenstrahl-Politur. Sichtbar sind die hBN Kristallite. Die B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Bindephase wurde durch die Präparation entfernt, wodurch die im Bild sichtbaren Poren im Gefüge zu erklären sind



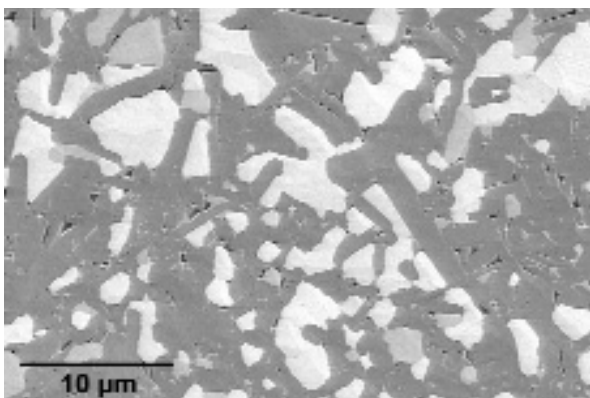
**Bild 3** Thermogravimetrische Untersuchung von MYCROSINT® CD bis zu Temperaturen von 1600°C in verschiedenen Atmosphären

Um für bestimmte Anwendungen die Feuchtigkeitssensibilität des hBN zu reduzieren, wird Calciumoxid (CaO) der Pulvermischung zugegeben, wodurch während des Heißpressens zusammen mit dem B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> eine Calciumborat-Bindephase entsteht, die in Kontakt mit Feuchtigkeit weniger reaktiv ist (MYCROSINT® CD).

Für die Herstellung von TV-Bildröhren und in der Glasherstellung wird MYCROSINT® CD in Form sogenannter „Spanker plates“ eingesetzt. Diese „Spanker plates“ dienen in erster Linie dem Transport des geschmolzenen Glas-Halbzeugs. Hierbei ist es wichtig, dass keinerlei Reaktion zwischen dem Trägermaterial und der Glasschmelze eintritt.

Bild 3 zeigt eine thermogravimetrische Messung für MYCROSINT® CD bis zu einer Temperatur von 1600°C als Beispiel für die Degradation von hBN. Verglichen werden das Verhalten in Luft sowie Inertatmosphäre. Ab etwa 1100°C beginnt an Luft die Oxidation des hBN zu B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Ab etwa 1500°C beobachtet man einen leichten Gewichtsverlust in inerter Atmosphäre, der auf das Abdampfen der borathaltigen Bindephase zurückzuführen ist. Bei thermischer Behandlung nahe 2000°C geben elektroparamagnetische Resonanzmessungen Hinweise auf die Entstehung von Stickstoffleer-

**Bild 4** Rasterelektronenmikroskopische Gefügeaufnahme von MYCROSINT® SO mit den drei Phasenbestandteilen hBN (dunkel), monoklinem ZrO<sub>2</sub> (weiß) und Siliciumcarbid (grau)



stellen, die auch Erklärung für leichte Verfärbungen sein können [5,6]. Wird hBN über heißisostatisches Pressen statt bei Heißpressen verdichtet, kann der B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalt im Sinterkörper gesenkt werden. Diese Materialvariante wird für Anwendungen im Hochtemperaturbereich (bis 1800°C) und solchen, wo hohe Reinheiten gefordert werden (z.B. Isolatoren für Hochtemperaturöfen), eingesetzt.

Die hohen Anforderungen an die Produktivität derartiger Anlagen bedingen kurze Zykluszeiten mit entsprechend hohen Aufheiz- und Abkühlraten. Neben der allgemein guten thermischen Beständigkeit von BN-Formteilen hilft die extrem hohe Temperaturwechselbeständigkeit, derartige Anforderungen zu erfüllen. Durch die weiterhin elektrisch isolierende Funktion von hBN werden daher nicht nur Auskleidungen, sondern auch Bauteile für Sensoren oder Sonden und Stromdurchführungen aus diesem Material ausgeführt.

Ein wichtiges BN-Kompositmaterial stellen sogenannte Verdampferschiffchen dar (z.B. DiMet® und TriMet® Verdampferschiffchen von ESK). Diese dichtgesinterten Formkörper aus einem BN-TiB<sub>2</sub>-Komposit (TiB<sub>2</sub> = Titanborid) dienen zur Verdampfung von Aluminium, indem sie in Vakuumanlagen im direkten Stromdurchgang bis auf 1600°C aufgeheizt werden. Ein über dem Verdampferschiffchen zugeführter Aluminiumdraht schmilzt dabei durch die Strahlungswärme, es bildet sich eine Flüssigkeitsfilm auf dem keramischen Komposit aus. Daraus entweicht dampfförmiges Aluminium, das auf dem zu beschichteten Gegenstand (z.B. einer schnell über die Schiffchen hinweglaufenden Kunststoffolie) als dünner Film kondensiert. Dabei wird der für die unterschiedlichen Anlagen geforderte elektrische Widerstand des Verdampferschiffchens über das hBN zu TiB<sub>2</sub>-Verhältnis eingestellt. Funktionelle Beschichtungen in Form solcher Aluminium-Bedampfungen auf Kunststoffolien und Papier begleiten unser tägliches Leben, sei es auf Etiketten, Lebensmittelverpackungen, Lampenverspiegelungen und vielen weiteren Produkten.

Aufgrund seiner einmaligen Kombination von Eigenschaften ist hBN ein idealer Basiswerkstoff für Anwendungen in der Stahl- und Nichteisen-Industrie. Als Komposit-Werkstoff (Bild 4) mit monoklinem Zirkondioxid (ZrO<sub>2</sub>) und Siliciumcarbid (SiC) wird hBN (z.B. MYCROSINT® O und MYCROSINT® SO von ESK) in der

Stahlherstellung in Form von „Side dams“ für das Dünnbandgießen und als Ablösering für das Horizontalstranggießen eingesetzt (siehe unten). Die Verwendung von ZrO<sub>2</sub> bei diesen Hochtemperaturanwendungen ist zunächst erstaunlich, da bekanntermaßen reines monoklines ZrO<sub>2</sub> bei etwa 1170°C eine von einem Volumensprung begleitete Phasenumwandlung hin zur tetragonalen Modifikation vollzieht, was zum katastrophalen Versagen monokliner ZrO<sub>2</sub>-Bauteile führt [7]. Die Kombination mit dem weichen hBN erlaubt hingegen die rissfreie Produktion dieses Komposit-Werkstoffs, was die hervorragende Thermoschockbeständigkeit des hBN unterstreicht.

Der Prozess des Dünnbandgießens von Stählen wurde bereits Mitte des 19. Jahrhunderts von Henry Bessemer erfunden. Da zu dieser Zeit weder die entsprechende Prozesstechnik noch die für die Technologie geeigneten Feuerfestmaterialien verfügbar waren, konnte das Verfahren lange Zeit nicht in einen industriellen Prozess umgesetzt werden. Seit 1949 steht der Brammenguß als Technologie zur Verfügung, in dem auf teilweise bis zu 800 m langen Walzstraßen Stahlbleche aus 220 mm dick abgegossenen Brammen hergestellt werden. Weltweit beläuft sich die installierte Kapazität in Form solcher Anlagen auf 350 Millionen Tonnen im Jahr. Eine Weiterentwicklung dieser Technik stellt der seit 1989 kommerzialisierte Dünnbrammenguss dar, in dem nur noch 50 mm dicke Brammen auf nur noch etwa halb so großen Anlagen zu Stahlblech verarbeitet werden. Die bislang installierte Jahreskapazität beträgt ca. 30 Millionen Tonnen und zeigt den Trend hin zu ökonomischeren, kleineren und dezentralisierten Produktionsanlagen. Mehrere Teams auf der ganzen Welt haben indes die Technologie des Dünnbandgießens von Bessemer seit Anfang der 80er Jahre aufgegriffen und weiterentwickelt. Ein deutlicher Vorteil des Dünnbandgießens gegenüber der heute noch üblichen Brammenguss-Technik ist die Einsparung von Energie und Raumbedarf. Eine entsprechende Anlage benutzt lediglich eine 60 m lange anstelle einer 400 oder 800 m langen Walzstraße (Bild 5). Im Jahr 2003 wurde die erste kommerzielle Dünnbandgießanlage in Betrieb genommen.

Allen industriellen Verfahren gemeinsam ist ein Reservoir für die kontinuierlich abgegossene Stahlschmelze. Beim Dünnbandgießen wird dieses Reservoir aus zwei sich gegenläufig drehenden, wassergekühlten Kupfer-

rollen gebildet, die seitlich durch Platten abgedichtet werden (Bild 6). Die Erstarrung der Schmelze beginnt an der Oberfläche der Rollen. Die erstarrten „Schalen“ werden im Spalt zwischen den beiden Rollen zum Stahlblech zusammengeführt und durch die Drehung der Rollen weitertransportiert. Die Belastung der beiden Side Dams während des Einsatzes ist sowohl mechanisch (Pressen gegen die Rollen), durch Korrosion (Kontakt mit der Stahlschmelze), durch Verschleiß (Kontakt mit Kupferrollen und Stahlblech) als auch durch Thermoschock (Erstkontakt mit flüssigem Stahl). Das Side Dam muss zudem die Seiten der Rollen gegen den flüssigen Stahl abdichten. Das momentan am besten geeignete Material für diese Kombination an Anforderungen ist das bereits oben beschriebene MYCROSINT® SO.

Zum Nachweis der Korrosionsbeständigkeit des MYCROSINT® SO Materials gegenüber Stahl sei hier beispielhaft ein Laborversuch beschrieben: ein Stahl der Sorte 1.4308 wurde in einem Tiegel aus MYCROSINT® SO bei 1600°C in Argonatmosphäre aufgeschmolzen, anschließend wurde die Grenzphase mikroskopisch untersucht. Bild 7 zeigt, dass der Stahl nicht in das Tiegelmateriale eingedrungen ist und dass keine Reaktion während des Aufschmelzens aufgrund des Nichtbenetzens stattgefunden hat. Weiterhin konnte auch an den Korngrenzen des Tiegelmateriale keine Korrosion festgestellt werden.

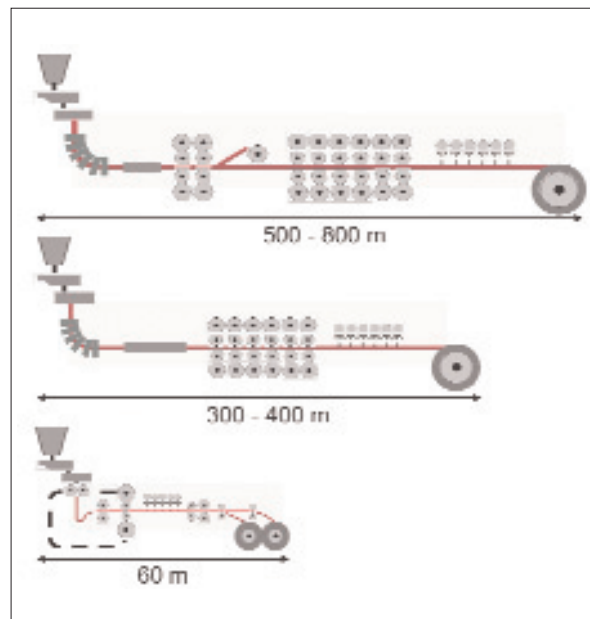
## BN-Beschichtungssysteme (Suspensionen und Sprays)

Hexagonales Bornitrid (hBN) weist, wie anfänglich erläutert, eine große chemische Stabilität auf und wird durch Metallschmelzen von Leichtmetallen und deren Legierungen auf Aluminiumbasis, Kupfer und Magnesium kaum angegriffen, da es nur sehr schwer benetzbar ist. Die Benetzung von keramischen Stoffen durch Schmelzen wird üblicherweise durch die Angabe eines Benetzungswinkels beschrieben. Sie werden meist mit Hilfe eines Erhitzungsmikroskops nach der Methode des „liegenden Tropfens“ bestimmt. Hierbei wird der Kontaktwinkel eines Schmelzetropfens auf dem Substrat durch Anlegen einer Tangente gemessen. Bis zu einer Temperatur von ca. 900°C wird Bornitrid (hBN) durch Aluminium beispielsweise sehr schlecht benetzt (der Benetzungswinkel liegt hier bei 160°). Damit ist hBN ein ideales Trennmittel für viele Formgebungsverfahren.

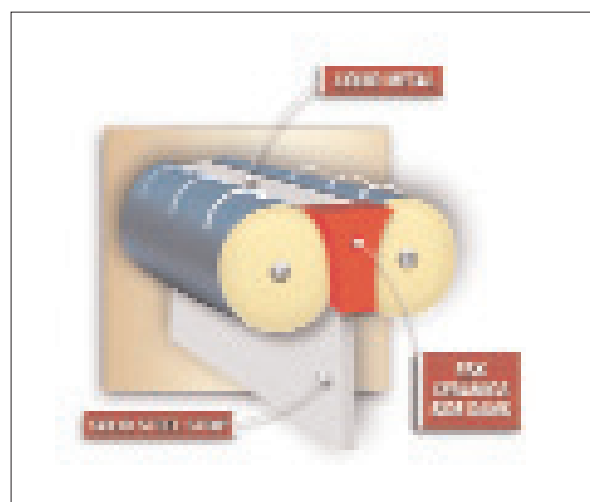
Die Bornitrid-Beschichtungen oder auch „Coatings“ werden eingesetzt, um die Eigenschaften von Substratoberflächen durch die Beschichtung gezielt zu verändern. Als Substratoberflächen dienen in der Gießereiindustrie alle Arten von Feuerfestmaterial, aber auch Metalle, Keramiken und kohlenstoffbasierende Werkstoffe. Die für den Einsatz in der Gießereiindustrie alle Arten von Feuerfestmaterial, aber auch Metalle, Keramiken und kohlenstoffbasierende Werkstoffe. Die für den Einsatz in der Gießereiindustrie entwickelten BN-Suspensionen liegen unter anderem aus Betriebssicherheitsgründen vorwiegend in wässriger Form vor. Diese Suspensionen unter dem Markennamen „EKamold®“ können sowohl mit dem Pinsel als auch mit einer Sprühpistole aufgetragen werden, Varianten in Form von Sprays sind ebenfalls gebräuchlich. Eine Schichtdicke von ca. 50 µm hat sich in der Praxis als ausreichend erwiesen. Höhere Schichtdicken können gegebenenfalls durch mehrmaliges Beschichten mit zwischengeschalteter Trocknung hergestellt werden.

In der heutigen Gießereipraxis werden alle Arten von Gießrinnen, Verteilereinrichtungen, Thermoelementschutzrohren, Gießlöffeln und vielen weiteren Geräten durch entsprechende Beschichtungen per BN-Suspensionen geschützt (Bild 8). Neben dem Schutz vor Verschleiß, Korrosion und Oxidation der oben genannten Anlagenkomponenten wird selbstverständlich auch der Eintrag von oxidischen und metallischen Verunreinigungen in die Gießereiprodukte auf ein Minimum reduziert. Die Prozesse profitieren weiterhin von den BN-Beschichtungen indem leichte Entformbarkeit und eine endkonturnahe Auslegung der Gießereiprodukte mit hoher Oberflächengüte gewährleistet werden.

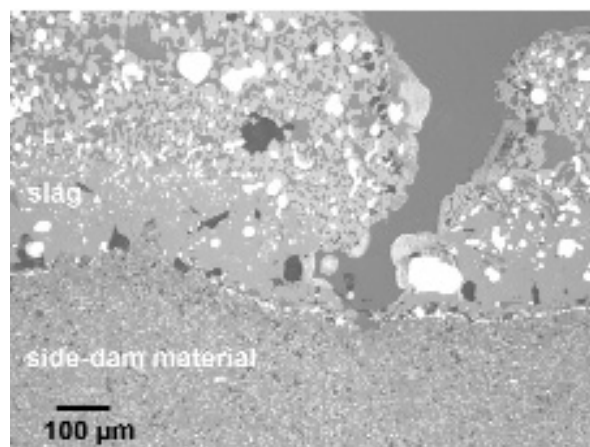
Ein besonderes Augenmerk sollte auf die sogenannten „Hardcoatings“ aus Bornitrid (BN) gerichtet werden: Diese Produktfamilie bietet ESK unter dem Markennamen „EKamold®“ an. Diese neuen Beschichtungen zeichnen sich gegenüber den „klassischen“ BN-Schichten, die keine oder typische Feuerfestbinder wie Al-Phosphate enthalten, durch eine deutlich erhöhte mechanische Stabilität aus. Solch dauerhaften, gegenüber Erosion und Abrieb verstärkte BN-Beschichtungen kommen überall dort zum Einsatz, wo Langzeitstabilität vorausgesetzt wird. Deren Entwicklungen basieren auf den Grundlagen der Sol-Gel-Chemie und der Nanotechnologie, die Bindersysteme bereitstellen, die im Beschichtungsvorgang eine dichte, defektfreie Matrix für den Funktionsträger hBN bilden, ohne diesen zum Füllstoff zu degradieren (Bild 9). Im Gegensatz



**Bild 5** Schematische Darstellung von Gießanlagen zur Herstellung von Stahlblechen: Brammengußanlage (oben), Dünnbrammen-gußanlage (Mitte), Dünnbandgußanlage (unten)

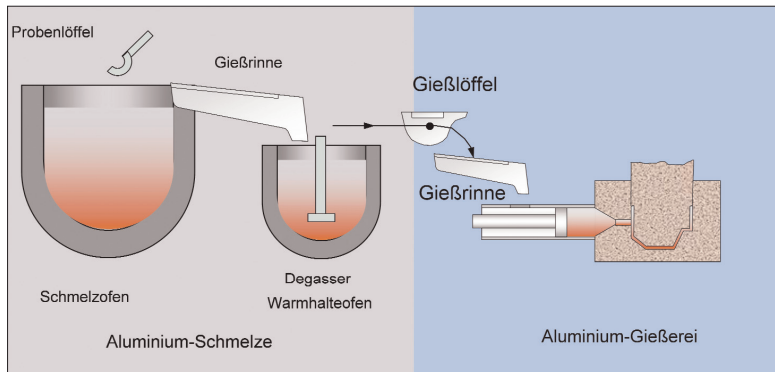


**Bild 6** Schematische Darstellung des Kerns einer Dünnbandgießanlage. „Side Dams“ dichten gegen die Walzen ab, wodurch das Reservoir der Stahlschmelze gebildet wird

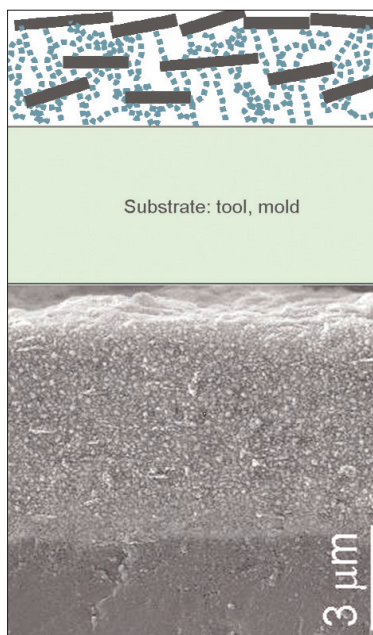


**Bild 7** Lichtmikroskopische Aufnahme eines Korrosionstests mit Stahl (obere Hälfte) in einem Tiegel aus MYCROSINT® SO (unterer Teil)

**Bild 8**  
Schematische Darstellung einer Al-Druckguss Prozesskette: Vom Schmelzüber den Warmhalteofen, über sämtliche Handling- und Dosiereinrichtungen bis hin zur Gießzelle sind alle Oberflächen die mit der Schmelze in Kontakt kommen, von Korrosion betroffen



**Bild 9**  
Schematische Darstellung einer Nanopartikel-verstärkten Sol-Gel Binder-Beschichtung auf BN-Basis (oben). REM-Aufnahme einer dünnen BN-hardcoating Schicht auf einem Keramiksubstrat (unten)



zum „Schichten“ von Oberflächen mit dem Pinsel, stellt sich die Anwendung von BN-Hardcoating, Suspensionen aufwendiger dar. Jedoch werden hier auch durch einfache Sprüh- oder Tauchbeschichtung auf Metall, Keramik oder Graphit, gefolgt von einem Trocknungs- und Wärmebehandlungsschritt, keramisch gebundene BN-Schichten sogar bis zu einer Dicke von nur wenigen  $\mu\text{m}$  erhalten. Diese gewährleisten immer noch vollen Korrosions- und Oxidationschutz. Je nach Anwendung stehen hier wasser- oder alkoholbasierte Beschichtungssysteme für Schichtdicken im Bereich 5...500 $\mu\text{m}$  über die Anpassung des Binders zur Verfügung.

## Pulverförmiges BN (Pulver und Granulate)

Die Anwendungen von hexagonalem Bornitrid (hBN) in Pulverform sind für sich alleine schon ein sehr vielfältiges und spannendes Gebiet. Wie auch in den zuvor beschriebenen Anwendungsgebieten der BN-Beschichtungen oder -Formkörpern basieren die

Erfolge von hBN als Pulver auf seinen verschiedenen, in der Kombination außergewöhnlichen Materialeigenschaften. Im Folgenden sollen drei extrem unterschiedliche industrielle Einsatzbereiche vorgestellt werden.

## Bornitrid im Thermal Management

Die zunehmende Miniaturisierung von elektronischen Bauteilen erfordert Materialien, die auf kleinstem Raum schnell und wirksam Wärme abführen können. Hoch wärmeleitfähige Kunststoffe werden dort eingesetzt, wo es um die Übertragung, Ausbreitung oder Ableitung thermischer Energie geht. Moderne Thermal Management-Kunststoffverbundwerkstoffe sollen höchste Wärmeleitfähigkeiten bei beibehaltener Designfreiheit und Leistungsfähigkeit sowie den entsprechenden Kostenvorteilen bieten. Kunststoffe sind ihrer Natur nach schlechte Wärmeleiter (0,1...0,2 W/mK). Zur Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit (WLF) werden deshalb unter anderem oxidische Materialien wie beispielsweise  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Aluminiumoxid) oder BeO (Berylliumoxid) eingearbeitet. Da die Bedeutung von Thermal Management für Computer, Automobilelektronik, Klimatronik, Medizintechnik, Beleuchtung und viele andere Bereiche rasant zunimmt, ergibt sich ein wesentlicher Fortschritt aus der Verwendung von BN-Pulvern als funktionales Additiv. Aufgrund der für keramische Werkstoffe hohen Wärmeleitfähigkeit von hexagonalem Bornitrid (hBN) finden Bornitrid-Pulver immer breiteren Einsatz in diesen Bereichen und bieten eine echte Alternative zu den zuvor aufgeführten, herkömmlichen Füllern (z.B. Silicium-, Aluminiumoxid), die zusätzlich hinsichtlich Werkzeugverschleiß bzw. Toxizität als kritisch anzusehen sind.

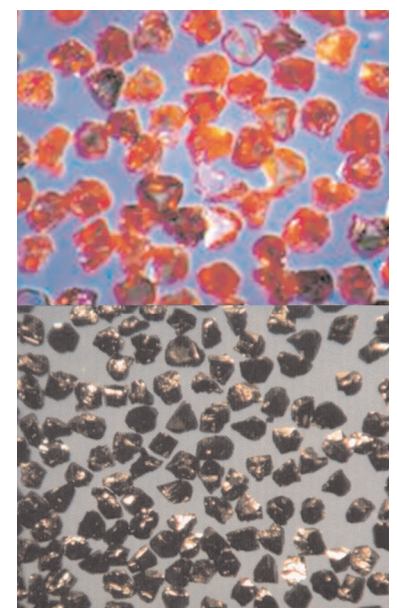
Die exzellente Kompatibilität mit Thermoplasten und Klebstoffen qualifiziert hexagonales Bornitrid (hBN) als funktionellen Füller oder Additiv in Kunst-

stoff-Formulierungen zur Leitung, Diffusion und Ableitung von thermischer Energie. Wesentliche Vorteile für und von BN in Thermal Management-Anwendungen sind:

- deutliche Steigerung der Wärmeleitfähigkeit
- Steigerung der elektrischen Isolationsfähigkeit
- Verbesserung der mechanischen Eigenschaften
- geringe spezifische Dichte des Füllers
- sehr gute Verträglichkeit mit nahezu allen Polymeren
- Reduktion der inneren Reibung gefüllter Polymere
- Reduktion des Verschleißes an Werkzeugen
- sehr gute Verarbeitbarkeit der Verbunde
- Beibehaltung der Gestaltungsfreiheit.

## Hexagonales Bornitrid als Rohstoff für „Super Abrasives“

Hexagonales Bornitrid (hBN) dient als Rohstoff in der Hochdruck-Hochtemperatur-Synthese von kubischem Bornitrid (cBN), dem Analogon zum C-basierten Diamanten. Kubisches Bornitrid (cBN) ist seit Ende der 1960er Jahre kommerziell erhältlich. Es wird unter hohem Druck von mehr als 6000 MPa und bei Temperaturen von über 1500°C aus hochreinem hBN-Pulver hergestellt. Die Umwandlung erfolgt nach den gleichen Mechanismen, die bereits aus der Synthese von Industriediamanten aus Graphit bekannt sind.



**Bild 10** Lichtmikroskopische Aufnahmen zweier unterschiedlicher cBN-Qualitäten für den industriellen Einsatz

Die Dichte von  $3,49 \text{ g/cm}^3$  ist nach der Umwandlung der Kristallstruktur sehr nahe an der von Diamant. Nach Diamant gilt cBN mit einer Härte von 4 700 MPa als die zweithärteste bekannte Substanz (Bild 10).

Insbesondere in vielen Schleifanwendungen wird das kubische Bornitrid (cBN) dem Diamanten sogar vorgezogen, da es an Luft bis zu  $1400 \text{ }^\circ\text{C}$  stabil ist, wo hingegen Diamant sich bereits ab etwa  $800^\circ\text{C}$  zu zersetzen beginnt. Eine weitere sehr wichtige Eigenschaft von cBN ist die chemische Resistenz gegenüber eisenhaltigen Werkstoffen. Diamant löst sich beim Bearbeiten von Stählen in diesen auf. Dadurch hat sich kubisches Bornitrid besonders in dem Markt der Grob- und Feinbearbeitung von Werkzeugstahl und einer Vielzahl von Nickel- und Kobalt-basierenden Superlegierungen etabliert.

## Bornitrid in Kosmetikanwendungen

Um das Jahr 1940 wurde hexagonales Bornitrid (hBN) in Japan erstmals in kosmetischen Formulierungen eingesetzt. Aufgrund mangelnder Verfügbarkeit in entsprechenden Reinheiten sowie den damaligen Kosten für den Rohstoff war der Einsatz zu diesem Zeitpunkt auf Luxusprodukte beschränkt. Bis etwa Mitte der 80er Jahre war Bornitrid in der Kosmetikindustrie mehr oder weniger in Vergessenheit geraten. Der Aufschwung in der färbenden Gesichtskosmetik und die verbesserten industriellen Prozesse, welche die hohen Anforderungen der Verbraucher erfüllen konnten, führten zur erneuten Verwendung von Bornitrid, seit diesem Zeitpunkt auch in steigendem Maße in Massenwendungen im unteren und mittleren Preissegment von Kosmetikprodukten. Die Verfügbarkeit in entsprechend großen Mengen, die in diesem Industriezweig üblich sind, stellt seit Ende der 90er Jahre für die Bornitrid-Produzenten weltweit kein Problem mehr dar. Heute wird Bornitrid von nahezu allen führenden Herstellern von Kosmetikprodukten bei Grundierungen, Make-up, Lidschatten, Rouge, Kajal, Lippenstiften und einer Vielzahl von weiteren Hautpflegeprodukten eingesetzt (Bild 11).

Dafür werden verschiedenste und ausschließlich hochreine Pulverqualitäten benötigt, die sich in Partikelgröße, Partikelgrößenverteilung, spezifischer Oberfläche, Partikelmorphologie usw. unterscheiden, um in unterschiedlichsten, kosmetischen Formulierungen spezielle Effekte hervorzurufen. Dies

kann sowohl bei der Herstellung als auch in der Applikation der jeweiligen Produkte gewünscht sein.

Die Kosmetikindustrie hat sich vor allem die folgenden Eigenschaften des hexagonalen Bornitrids (hBN) mit seiner plättchenförmigen Struktur zunutze gemacht:

- Die hervorragende Gleiteigenschaft von hBN und die daraus resultierende ...
- Verbesserung der Verarbeitung zum Endprodukt, in dem zum Beispiel die ...
- Verpressbarkeit von Pulvern zu Pudern optimiert wird.
- Die hohe Deckkraft speziell opaker BN-Typen oder ...
- die Verstärkung von Farbeffekten mittels transluzenter BN-Partikel werden ebenfalls im Bereich colour cosmetic gezielt eingesetzt.
- Die ausgezeichnete Haftung von BN-haltigen Formulierungen auf der Haut resultiert einerseits aus der ...
- hohen Ölabsorption von BN-Pulvern, wirkt andererseits ...
- feuchtigkeitbindend und schützt damit vor dem Austrocknen, kann daher aber auch zur ...
- Stabilisierung von Emulsionen herangezogen werden.

Nicht zuletzt findet hexagonales Bornitrid (hBN) von ESK – unter dem Markennamen BORONEIGE® – in unterschiedlichsten Pulverqualitäten Einsatz im Kosmetikbereich wegen der sehr angenehmen Haptik des hBN, wobei die Wärmeleitfähigkeit einen sogenannten „cooling effect“ [7], also einen sensorischen Effekt [8], bewirkt.

## Zusammenfassung und Ausblick

Die Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten von Bornitrid beruht auf seinem einzigartigen Eigenschaftsprofil. Die vorgestellten Anwendungsmöglichkeiten wurden aus den Bereichen gewählt, in denen sich der Werkstoff Bornitrid in seinen verschiedenen Formen bereits fest etabliert hat. Hexagonales Bornitrid (hBN) zeichnet sich durch ein vielfältiges und umfangreiches Anwendungsspektrum aus, vor allem in der wertvollen Kombination vieler auch einzeln interessanter Eigenschaften. Aus heutiger Sicht stellt hexagonales Bornitrid ein echtes Werkstoff-Multitalent dar.

Forschung und Entwicklung sowohl an BN-haltigen Produkten als auch an durch das Material ermöglichten Verbesserungen in bestehenden Prozessen sowie am Werkstoff selbst schreiben fort. Auch in neuen Anwendungs-



**Bild 11** hBN findet in zahlreichen Kosmetikprodukten, wie z.B. losen und gepressten Pudern, Cremes, Lippenstiften, Mascara und vielem mehr Verwendung als funktionelles Füllstoffadditiv

bereichen bietet Bornitrid zukunftsweisende und effiziente Prozesslösungen. Dazu gehören zum Beispiel Anwendungen als:

- Trennmittel in der Glasindustrie
- Funktionale Beschichtungen in der Automobilindustrie
- Trenn- und Schmiermittel bei der Metallumformung
- Gießdüsen für Ni-basierende Superlegierungen

## Literatur:

- [1] Schwetz, K.-A. & Lipp, A., „Hexagonales Bornitrid,“ *Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft* **56** (1979) [1] 1-4
- [2] Höhn, S. & Obenaus, P., „Ionenpräparation von keramischen Pulvern und Grünkörpern für die hochauflösende Rasterlektronenmikroskopie,“ *Prakt. Met., Special Volume* **36** (2004) 299-301 .
- [3] Moos, R., „A Brief Overview on Automotive Exhaust Gas Sensors Based on Electroceramics,“ *Int. J. Appl. Ceram. Technol.*, **2** (2005) [5] 401-413
- [4] Weyl, H. & Diehl, L., „Elektrochemischer Messfühler und Verfahren zu dessen Herstellung,“ *Deutsches Patent No. 10 09 597 B4*, 29. February 2000
- [5] Katzir, A., Suss, J.T., Zunger, A. & Halperin, A.: „Point defects in hexagonal boron nitride. I. EPR, thermoluminescence, and thermally-stimulated-current measurements“, *Physical Review B* **11** (1975) [6] 2370-2377
- [6] Eichler, J., & Lesniak, C., „Boron Nitride (BN) and BN Composites for High-Temperature Application,“ eingereicht bei J. Europ. Ceram. Soc
- [7] Esposito M. (2002): „The Cooling Effect of Boron Nitride in Cosmetic Formulations. *Cosmetics and Toiletries*“, *Manufacture Worldwide*; 36-39
- [8] L. Rigano, A. Bonfigli, R. Damasch, M Engler: „Boron Nitride –The Active Inert with a Velvety Feel“, *SÖFW-Journal* **1** (133) | 3-2007