

(19)



österreichisches  
patentamt

(10)

AT 500 569 A2 2006-02-15

(12)

## Österreichische Patentanmeldung

(21) Anmeldenummer:

**A 9096/2003**

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: **B24B 1/00**

(22) Anmeldetag:

**21.03.2003**

(43) Veröffentlicht am:

**15.02.2006**

(30) Priorität:

11.04.2002 US 120969 beansprucht.  
24.12.2002 US 328802 beansprucht.

(73) Patentanmelder:

SAINT-GOBAIN ABRASIVES, INC.  
01615 WORCESTER (US)

(54) **SCHLEIFARTIKEL MIT NEUARTIGEN STRUKTUREN UND VERFAHREN ZUM SCHLEIFEN**

(57) Gebundene Schleifwerkzeuge mit neuartigen, porösen Strukturen, die für einen Flüssigkeitsfluss durchlässig sind, umfassend einen relativ niedrigen Volumenprozentanteil an Schleifkörnung und Bindung und einen relativ niedrigen Härtegrad, die jedoch durch eine ausgezeichnete mechanische Festigkeit und Schleifleistung gekennzeichnet sind. Es werden Verfahren zur Herstellung der Schleifwerkzeuge unter Verwendung von agglomerierter Schleifkörnung beschrieben.



AT 500 569 A2 2006-02-15

ZUSAMMENFASSUNG

Gebundene Schleifwerkzeuge mit neuartigen, porösen Strukturen, die für einen Flüssigkeitsfluss durchlässig sind, umfassend einen relativ niedrigen Volumenprozentanteil an Schleifkörnung und Bindung und einen relativ niedrigen Härtegrad, die jedoch durch eine ausgezeichnete mechanische Festigkeit und Schleifleistung gekennzeichnet sind. Es werden Verfahren zur Herstellung der Schleifwerkzeuge unter Verwendung von agglomerierter Schleifkörnung beschrieben.

11. Okt. 2004

SCHLEIFARTIKEL MIT NEUARTIGEN STRUKTUREN UND VERFAHREN ZUM  
SCHLEIFEN

ANWENDUNGEN GEMÄSS DEM STAND DER TECHNIK

Bei dieser Anwendung handelt es sich um eine Teilweiterbehandlung der US Ser. Nr. 10-120,969, eingereicht am 11. April 2002 sowie einer Teilweiterbehandlung der US Ser. Nr. 10-328,802, eingereicht am 24. Dezember 2002. Der Gesamteinhalt der US Ser. Nr. 10-120,969 und der US Ser. Nr. 10-328,802 wird hiermit unter Bezugnahme berücksichtigt.

ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

Die Erfindung bezieht sich auf gebundene Schleifartikel oder Werkzeuge, wie z.B. Schleifräder, Schleifsegmente, Schleifscheiben und Schleifsteine, mit neuartigen Verbundstrukturen sowie auf Verfahren zur Produktion solcher Werkzeuge zum Herstellen dieser neuartigen Werkzeugstrukturen und auf Verfahren zum Schleifen, Polieren oder Fertigpolieren unter Anwendung dieser Werkzeuge.

Gebundene Schleifwerkzeuge bestehen aus starren, normalerweise monolithischen, dreidimensionalen Schleifverbundstoffen in Form von Schleifrädern, Scheiben, Segmenten, Schleifstiften, Schleifsteinen und anderen Werkzeugformen, die über eine mittige Bohrung oder über andere Mittel zur Befestigung auf einer bestimmten Art von Schleif-, Polier-, oder Schärfgerät oder -maschine verfügen. Diese Verbundstoffe umfassen drei strukturelle Elemente oder Phasen: Schleifkörnung, Bindung und Porosität.

Gebundene Schleifwerkzeuge sind bisher mit einer Vielzahl an „Härtegraden“ und „Strukturen“ hergestellt worden, die in der Praxis gemäß dem Stand der Technik durch relative Härte und Dichte des Schleifverbundstoffs (Härtegrades) und durch das prozentuale Volumen der Schleifkörnung, der

Bindung und Porosität innerhalb des Verbundstoffs (Struktur) definiert worden sind.

Seit fast 70 Jahren wurden Werkzeughärtegrad und Werkzeugstruktur als die zuverlässigsten Aufschlussgeber der gebundenen Schleifwerkzeughärte, Abnutzungsrate des Werkzeugs, Schleifpulveranforderungen und Herstellungskonsistenz erachtet. Härtegrad und Struktur wurden erstmals im US Pat. Nr. A-1,983,082, erteilt an Howe, et al., als zuverlässige Herstellungsrichtlinien erstellt. Howe beschreibt ein volumetrisches Herstellungsverfahren, das zum Überwinden der beharrlichen Schwierigkeiten mit der uneinheitlichen Schleifverbundqualität und der uneinheitlichen Schleifleistung nützlich ist. In diesem Verfahren werden die relativen Volumenprozentanteile der drei strukturellen Komponenten gewählt, um ein Werkzeug mit einem gezielten Härtegrad und anderen gewünschten physikalischen Eigenschaften zu erhalten. Bei dem bekannten, gewünschten Volumen des fertigen Werkzeugs, werden die zur Herstellung des Werkzeugs erforderlichen Losgewichte der Schleifkörnung und Verbundkomponenten aus dem Volumen des Werkzeugs, den relativen Volumenprozentanteilen und den Materialdichten der Schleifkörnung und der Verbundkomponenten errechnet. Auf diese Weise war es möglich, ein Standarddiagramm der Strukturen für eine bestimmte Verbundzusammensetzung zu erstellen und in darauf folgenden Herstellungsabläufen die relativen Volumenprozentanteile von dem Standarddiagramm der Strukturen abzulesen, um gebundene Schleifwerkzeuge mit einem konsistenten Härtegrad für einen festgelegten Volumenprozentanteil an Schleifkörnung, Verbund und Porosität herstellen zu können. Es wurde beobachtet, dass die Schleifleistung von einem Herstellungslos zum nächsten konsistent war, solange der Härtegrad und die Struktur konstant gehalten wurden.

Bei vielen Schleifverfahren hat es sich gezeigt, dass die Kontrolle der Menge und Art von Porosität im Bindemittel, besonders bei einer Porosität von durchlässiger oder ver-

bundener Art, die Schleifwirkung verbessert und die Qualität des zu schleifenden Werkstücks vor thermischen oder mechanischen Schädigungen schützt.

Eine dreidimensionale Schleifzusammensetzung besteht aus der Summe des relativen Volumenprozentanteils ihrer drei Komponenten: Schleifkörnung, Bindung und Porosität. Die Summe der Volumenprozentanteile dieser drei Komponenten muss gleichmäßig 100 Volumenprozent betragen; deshalb müssen Werkzeuge mit einem hohen Prozentanteil an Porosität über verhältnismäßig niedrigere Prozentanteile an Bindung und/oder Schleifkörnung verfügen. Bei der Herstellung von gebundenen Schleifwerkzeugen können relativ hohe Volumenprozentanteile an Porosität (z.B. 40 - 70 Volumen-%) leichter bei Präzisionsschleifwerkzeugen, die aus starrem, anorganischem Bindungsmaterial (z.B. gesinterte oder keramische Bindungen) und mit relativ kleinen Korngrößen (z.B. Norton Korngrößen 46 - 220 Körnung) hergestellt sind, erreicht werden, als bei Grobschleifwerkzeugen, die aus organischem Bindemittel und mit relativ großen Korngrößen (z.B. Norton Korngrößen 12 - 120 Körnung) hergestellt sind.

Sehr poröse Schleifverbundstoffe, die aus weicherem Bindemittel hergestellt sind, das über größere Korngrößen und höhere Volumenprozentanteile an Körnung verfügt, neigen dazu während den dazwischen liegenden Formguss- und Aushärtungsphasen der Schleifwerkzeugherstellung abzusacken und Schichten zu bilden. Aus diesen Gründen werden handelsübliche gebundene Schleifwerkzeuge, die organische Verbundmaterialien enthalten, so formgegossen, dass sie keine Porosität und im normalen Fall höchstens 30 Vol.-% an Porosität enthalten. Sie enthalten nur selten eine Porosität von über 50 Vol.-%.

Eine natürliche Porosität, die durch das Verdichten von Schleifkörnungen und Verbundpartikeln während dem Pressformverfahren entsteht, ist normalerweise nicht ausrei-

chend, um eine hohe Porosität bei gebundenen Schleifwerkzeugen zu erhalten. Porosität induzierende Mittel, wie z.B. Schaumtonerde und Naphthalin, können den Schleif- und Verbundstoffmischungen zugemischt werden, um das Druckformverfahren und die Handhabung eines porösen, nicht ausgehärteten Schleifartikels zu ermöglichen und um einen ausreichenden Volumenprozentanteil an Porosität in dem endgültigen Werkzeug zu erhalten. Einige Porosität induzierende Mittel (z.B. Schaumtonerde und Glaskugeln) erzeugen eine geschlossene Zellporosität innerhalb des Werkzeugs. Geschlossene Zellporen induzierende Mittel, die hinzugefügt werden, um hohe Prozentanteile von Porosität zu erreichen, verhindern die Bildung von offenen Kanälen oder einer verbundenen Porosität, was den Flüssigkeitsfluss durch den Werkzeugkörper verhindert oder reduziert und daher zu einer Erhöhung der Schleifkräfte und des Risikos von thermischen Schädigungen neigt. Offene Zellporen induzierende Mittel müssen aus der Schleifgrundsubstanz ausgebrannt werden (z.B. Walnussschalen und Naphthalin), was zu verschiedenen Problemen bei der Herstellung führt.

Weiterhin variieren die Dichten der Poren induzierenden Mittel, des Bindemittels und der Schleifkörnungen erheblich, was die Kontrolle der Schichtbildung der Schleifartikelmischung während der Handhabung und Formung erschwert, was oft zu einem Verlust an Homogenität in der dreidimensionalen Struktur des fertigen Schleifartikels führt. Eine einheitliche, homogene Verteilung der drei Komponenten der Schleifartikelzusammensetzung wurde als eine konsistente Werkzeugqualität als Hauptaspekt, und im Fall von Schleifrädern als wichtig für den sicheren Betrieb der Schleifräder bei den hohen Drehgeschwindigkeiten erachtet, die zum Schleifen (z.B. über 4000 surface feet (Flächenfüße) pro Minute (sfpm)).

Es wurde festgestellt, dass der Volumenprozentanteil der verbundenen Porosität, oder Flüssigkeitsdurchlässigkeit,

ein eher signifikant bestimmender Faktor der Schleifleistung von Schleifartikeln ist, als lediglich die Volumenprozent-Porosität (siehe US Pat. Nr. A-5,738,696, erteilt an Wu). Die verbundene Porosität ermöglicht das Entfernen von Schleifabfall (Schleifstaub) und den Durchfluss der Kühlflüssigkeit innerhalb des Schleifrads während dem Schleifverfahren. Das Vorhandensein einer verbundenen Porosität kann durch das Messen der Durchlässigkeit des Schleifrads für den Luftstrom unter kontrollierten Konditionen bestätigt werden. US Pat. Nr. -A-5,738,679, erteilt an Wu, offenbart Schleifräder von hoher Durchlässigkeit mit einem erheblichen Betrag an verbundener Porosität (40 - 80 Vol.-%). Diese Schleifräder werden aus einer Grundsubstanz aus faserförmigen Partikeln mit einem Längenverhältnis von mindestens 5:1 hergestellt. Bei den faserförmigen Partikeln kann es sich um faserartige Schleifkörnungen oder gewöhnliche, nicht faserartige Schleifkörnungen handeln, die mit verschiedenen faserartigen Füllstoffen gemischt sind, wie z.B. Keramikfasern, Polyesterfasern, und Glasfasern sowie mit Faserpartikeln gefertigte Matten und Agglomerate.

Es wurde nun entdeckt, dass gebundene Schleifwerkzeuge mit einem relativ hohen Prozentanteil an Porosität und einem relativ niedrigen Prozentanteil an Schleifkörnung ohne Verlust an mechanischer Festigkeit oder Resistenz gegen Werkzeugverschleiß hergestellt werden können, obwohl der Härtegrad des Werkzeugs eine relativ schlechte mechanische Festigkeit vorhersagen würde. Bei organisch gebundenen Schleifwerkzeugen ist es nun möglich, Werkzeuge mit relativen Prozentanteilen an Schleifkörnung, Bindung und Porosität herzustellen, welche Strukturen bilden, die unter den gewerblich erhältlichen gebundenen Schleifwerkzeugen unbekannt sind. Diese neuartigen Schleifverbundstoffe bestehen aus der Porositätskomponente. In einem bevorzugten Verfahren zum Erzeugen dieser neuartigen Strukturen wurde die Mehrheit der Schleifkörnungen mit einem Bindemittel vor dem

Mischen, Formguss und der Endverarbeitung des gebundenen Schleifwerkzeugs agglomeriert.

Agglomerierte Schleifkörnungen sollen die Schleifwirkung durch Vorrichtungen verbessern, die nicht auf den Betrag oder die Eigenschaft der Porosität des gebundenen Schleifwerkzeugs bezogen sind. Die Schleifkörnung wird für verschiedene Zwecke agglomeriert, ein Hauptzweck davon dient der Verwendung eine kleineren Schleifkörnungs-Partikelgröße („Korngröße“), um die gleiche Schleifwirkung wie eine größere Schleifkorngröße zu erzielen oder um eine feinere Oberflächenhärte am zu schleifenden Werkstück zu erhalten.

In vielen Fällen wurde eine Schleifkörnung agglomeriert, um eine weniger poröse Struktur und damit ein dichteres Schleifwerkzeug zu erreichen, das über stärker gebundene Schleifkörnungen verfügt.

Honzahnschleifräder mit niedriger Porosität (z.B. einer Porosität von höchstens 5 Vol.-%) sind aus wieder gewonnenen, gemahlenen, sintergebundenen Schleifverbundstoffen durch das Binden der Verbundstoffe in Epoxidharz hergestellt worden. Diese „Verbund“-Honzahnschleifräder sind seit mehreren Jahren (von der Firma Saint-Gobain Abrasives GmbH, vormals Efesis Schleiftechnik GmbH, Gerolzhofen, Deutschland) gewerblich erhältlich.

Das US Pat. Nr. -A-2,216,728, erteilt an Benner, offenbart Körnungs-/Verbund-Schleifaggregate, die aus beliebiger Art von Bindung hergestellt sind. Der Grund der Verwendung von Aggregaten ist, sehr dichte Schleifradstrukturen zur Beibehaltung von Diamant- oder CBN-Körnung während dem Schleifverfahren zu erhalten. Werden die Aggregate mit einer porösen Struktur hergestellt, so gilt dies dem Zweck, den inter-aggregierten Verbundstoffen zu ermöglichen, in die Poren des Aggregates zu fließen und die Struktur während dem Feuern vollständig zu verdichten. Die Aggregate ermög-

lichen die Verwendung von Schleifkörnungs-Feinanteilen, die ansonsten in der Produktion verloren gehen würden.

Das US Pat. Nr. -A-3,982,359, erteilt an Elbel, lehrt über die Bildung einer Harzbindung und von Schleifkörnungsaggregaten mit Härtewerten, die größer als die der Harzbindung sind, die zur Bindung der Aggregate innerhalb eines Schleifwerkzeugs verwendet werden. Schnellere Schleifraten und Standzeiten werden in gummigebundenen Schleifrädern erhalten, die Aggregate enthalten.

Das US Pat. Nr. -A-4,799,939, erteilt an Bloecher, lehrt über erodierbare Agglomerate von Schleifkörnung, Hohlkörpern und organischen Bindemitteln sowie die Verwendung dieser Agglomerate in beschichteten Schleifartikeln und gebundenen Schleifartikeln. Ähnliche Agglomerate werden im US Pat. Nr. -A-5,039,311, erteilt an Bloecher, und US Pat. Nr. -A-4,652,275, erteilt an Bloecher, et al., offenbart.

Das US Pat. Nr. -A-5,129,189, erteilt an Wetscher, offenbar Schleifwerkzeuge mit einer Grundsubstanz aus Harzverbund, die Konglomerate mit einer Porosität von 5 - 90 Vol.-% an Schleifkörnung, Harz- und Füllmittel, wie z.B. Kryolith, enthalten.

Das US Pat. Nr. -A-5,651,729, erteilt an Benguerel, lehrt über ein Schleifrad mit einem Kern und einem diskreten Schleifkranz, hergestellt aus einem Harzverbund und gemahlenden Agglomeraten einer Diamant- oder CBN-Schleifkörnung mit einer Metall- oder Keramikbindung. Die genannten Vorteile der mit Agglomeraten hergestellten Schleifräder sind Hochspan-Zwischenräume, eine hohe Verschleißresistenz, selbstschärfende Eigenschaften, eine hohe mechanische Resistenz des Schleifrads sowie die Fähigkeit, den Schleifkranz direkt an den Schleifradkern zu binden. In einer Ausführungsform werden gebrauchte Diamant- oder CBN-gebun-

dene Schleifkränze auf eine Größe von 0,2 bis 3 mm gemahlen, um die Agglomerate zu bilden.

Das GB Pat. Nr. -A-1,228,219, erteilt an Lippert, offenbart Konglomerate aus Körnung und Verbund, die einer elastischen Verbundgrundsubstanz aus Gummi zugemischt werden. Der Verbund, der die Körnung innerhalb der Konglomerate hält, kann aus Keramik oder Harzmaterial bestehen, muss jedoch starrer sein, als die elastische Verbundgrundsubstanz.

Das US Pat. Nr. -A-4,541,842, erteilt an Rostoker, offenbart beschichtete Schleifartikel und Schleifräder mit Aggregaten einer Schleifkörnung und eine geschäumte Mischung aus gesinterten Verbundmaterialien mit anderen Rohmaterialien, wie z.B. Kohlenschwarz oder Karbonat, die zur Schäumung während dem Feuern der Aggregate geeignet sind. Das Aggregat „Granulat“ enthält einen größeren Prozentanteil an Verbund als die Körnung auf einer Volumenprozentbasis. Granulat, das zur Herstellung von Schleifrädern verwendet wird, wird bei 900 °C gesintert (auf eine Dichte von 1,134 g/cc (70 lbs/cu.ft.) und die gesinterte Bindung, die zur Herstellung des Schleifrads verwendet wird, wird bei 880 °C gefeuert. Schleifräder, die aus 16 Vol.-% Granulat hergestellt waren, zeigen die gleiche Leistung beim Schleifen bei einem Leistungsgrad, der dem von vergleichbaren Schleifrädern aus einer 46 Vol.-% Schleifkörnung ähnlich war. Das Granulat enthält offene Zellen innerhalb der gesinterten Verbundgrundsubstanz bei relativ kleineren Schleifkörnungen, die um die dicht um den Umfang der offenen Zellen zusammengedrängt sind. Ein Drehofen wird zum Feuern der vor-agglomerierten grünen Aggregate erwähnt, die später zur Herstellung des Granulats geschäumt und gesintert werden.

US -A-6,086,467, erteilt an Imai, et al., offenbart Schleifräder, die eine Schleifkörnung und Kornanhäufungen einer Füllkörnung mit einer kleineren Größe enthalten, als

die Schleifkörnung. Ein gesinterter Verbund kann verwendet werden und bei der Füllkörnung kann es sich um Chromoxid handeln. Die Größe der Kornanhäufungen beträgt  $1/3$  oder mehr der Größe der Schleifkörnung. Die Vorteile beinhalten eine kontrollierte Verbunderosion und Rückhaltung der Schleifkörnung bei Schleifanwendungen von niedriger Festigkeit, die Superschleifartikelkörnungen einsetzen, wobei die Superschleifartikelkörnung zur Reduzierung der Schleifkräfte gemindert werden müssen. Füllkörnungsanhäufungen können mit Wachs gebildet werden. Ein Sintern der Anhäufungen wird nicht offenbart.

WO 01/85393 A1, erteilt an Adefris, offenbart ein aus Schleifverbundstoffen hergestelltes, dreidimensionales Schleifartikel, das entweder geformt oder unregelmäßig ist und so angeordnet ist, dass es über mehr als eine Monoschicht an Verbundstoffen verfügt. Der Artikel kann eine Interverbundporosität und eine Intraverbundporosität enthalten. Die Verbundstoffe schließen Schleifkörnungen ein, die in einer anorganischen oder einer organischen ersten Grundsubstanz gebunden sind und der Schleifartikel ist mit einem zweiten anorganischen (Metall oder gesintert oder keramisch) oder organischen Bindemittel gebunden, um einen Schleifartikel mit etwa 20 bis 80 Vol.-% Porosität zu bilden. Der bevorzugte Artikel enthält eine feine Diamantschleifkörnung, die in einer ersten und einer zweiten Glasbindung gehalten wird und der Artikel wird zum Schleifen von Glas auf Hochglanzpolitur verwendet.

Eine Reihe von Veröffentlichungen beschreibt beschichtete Schleifwerkzeuge, die mit agglomerierter Schleifkörnung hergestellt wurden. Diese schließen die US-A-2,194,472, erteilt an Jackson, ein, welche beschichtete Schleifwerkzeuge offenbart, die mit Agglomeraten aus einer Vielzahl an relativ feiner Schleifkörnung und einer der Bindungen hergestellt sind, die normalerweise für beschichtete oder gebundene Schleifwerkzeuge eingesetzt werden. Anorganische

Verbundstoffe aus Feinkorndiamant, CBN und anderen thermisch abbaubaren Schleifkörnungen in einer Grundsubstanz aus Metalloxid haben sich Berichten zufolge bei beschichteten Schleifwerkzeugen als nützlich erwiesen (US Pat. Nr.-A-3,916,584, erteilt an Howard, et al.). Das US Pat. Nr.-A-3,048,482, erteilt an Hurst, offenbart aus agglomerierter Schleifkörnung geformte Mikroschleifsegmente und organische Bindemittel in der Form von Pyramiden oder anderen kegelförmigen Formen. Die geformten Mikroschleifsegmente werden an faserförmige Verstärkungen gehaftet, die dazu verwendet werden, beschichtete Schleifmittel herzustellen und die Oberfläche von dünnen Schleifrädern zu beschichten. Das US Pat. Nr.-A-4311,489, erteilt an Kressner, offenbart Agglomerate aus feiner ( $\leq 200$  Mikron) Schleifkörnung und Kryolith, als Option mit einem Silikatbindemittel, und deren Anwendung bei der Herstellung von beschichteten Schleifwerkzeugen. Das US Pat. Nr.-A-5,500,273, erteilt an Holmes, offenbart präzise geformte Partikel oder Verbundstoffe aus Schleifkorngrößen und ein Polymerbindemittel geformt durch eine freie radikale Polymerisation. Ähnliche geformte Verbundstoffe werden in der US Pat. Nr.-A-5,851,247, erteilt an Stoetzel, et al.; US Pat. Nr.-A-5,714,259, erteilt an Holmes, et al.; und US Pat. Nr.-A-5,342,419, erteilt an Hibbard, et al., beschrieben. US-5,975,988, US 6,217,413 B1 und WO 96/10471, alle erteilt an Christianson, offenbaren beschichtete Schleifartikel, die eine Verstärkung enthalten sowie eine organisch gebundene Schleifschicht, wobei das Schleifmittel in der Form von Agglomeraten in der Form einer kegelstumpffartigen, vierseitigen Pyramide oder einem Würfel vorhanden ist.

US-A-6,056,794, erteilt an Stoetzel, et al., offenbart beschichtete Schleifartikel mit Verstärkung, eine organische Bindung, die darin verteilte harte, anorganische Partikel enthält sowie Schleifpartikel-Agglomerate, die an die Verstärkung gebunden sind. Die Schleifpartikel in den

Agglomeraten und die harten, anorganischen Partikel in der organischen Bindung haben im Wesentlichen dieselbe Größe.

Agglomerate können zufällig oder präzise geformt und mit einer organischen Bindung hergestellt sein. Die harten, anorganischen Partikel können beliebige aus einer Vielzahl von Schleifkornpartikeln sein.

US 6,319,108 B1, erteilt an Adefris, et al, offenbart einen Schleifartikel, umfassend eine starre Verstärkung und Schleifverbundstoffen aus Keramik, die aus Schleifpartikeln in einer porösen Keramikgrundsubstanz hergestellt sind. Die Verbundstoffe werden mit einer Metallbeschichtung an der Verstärkung gehalten, wie z.B. ein galvanisch belegtes Metall. WO 01/83166 A1, erteilt an Mujumdar, et al, offenbart Schleifwerkzeuge zum Glasschleifen, umfassend Diamantverbundstoffe, die mit einer Harzbindung an der Verstärkung gehalten werden.

Eine Reihe von Patenten offenbarten Schleifwerkzeuge, umfassend Harz oder andere organische Bindeverbundstoffe aus Schleifkörnung. Bei den meisten dieser Werkzeuge handelt es sich um beschichtete Schleifwerkzeuge, wobei eine Harzbindung zum Anhaften der Schleifkornverbundstoffe an eine flexible Verstärkung eingesetzt wird. Gelegentlich werden Metallbindemittel oder abbaubare Partikel in Verbindung mit den Schleifverbundstoffen verwendet. Maßgebliche Patente in dieser Gruppe schließen die Patente US Pat. Nr.-A-5,078,753, erteilt an Broberg, et al; US Pat. Nr.-A-5,578,098, erteilt an Gagliardi, et al; US Pat. Nr.-A-5,127,197, erteilt an Brukvoort, et al; US Pat. Nr.-A-5,318,604, erteilt an Gorsuch, et al; US Pat. Nr.-A-5,910,471, erteilt an Christianson, et al sowie US Pat. Nr.-A-6,217,413, erteilt an Christianson, et al, ein.

US Pat. Nr.-A-4,355,489, erteilt an Heyer, offenbart einen Schleifartikel (Schleifrad, Scheibe, Riemen, Blech und

ähnliches), der aus einer Grundsubstanz aus gewellten Fasern hergestellt ist, die an den Punkten des manuellen Kontakts und der Schleifagglomerate verbunden sind und ein Hohlraumvolumen von etwa 70 - 97 % aufweisen. Die Agglomerate können mit gesinterten oder Harzbindungen und jeder beliebigen Schleifkörnung hergestellt werden. US Pat. Nr.-A-4,364,746, erteilt an Bitzer, offenbart Schleifwerkzeuge, umfassend verschiedene Schleifagglomerate von verschiedenen Festigkeiten. Die Agglomerate werden aus einer Schleifkörnung und Harzbindungen hergestellt und können andere Materialien, wie z.B. geschnitzelte Fasern zum Zweck der zusätzlichen Festigkeit oder Härte enthalten. US Pat. Nr.-A-4,393,021, erteilt an Eisenberg, et al, offenbart ein Verfahren zur Herstellung von Schleifagglomeraten aus Schleifkörnung und einer Harzbindung, wobei ein Siebgewebe und das Ausrollen einer Paste aus Körnung und Bindemittel durch das Gewebe verwendet wird, um wurmartige Extrusionen herzustellen. Die Extrusionen werden durch Erhitzen und anschließendem Zermahlen gehärtet, um Agglomerate zu bilden.

Trotz dieses umfangreichen Wissens darüber, wie Schleifarartikel mit agglomerierter Körnung hergestellt und Werkzeugporosität beseitigt oder erzeugt wird, ist es bisher niemandem gelungen, die Grundverbundstruktur eines dreidimensionalen, monolithisch gebundenen Schleifwerkzeugs mit agglomerierter Körnung erfolgreich derart verändern, dass die Werkzeughärte und Struktur die Schleifleistung nicht mehr vorbestimmen. Es wurde noch keine agglomerierte Körnung eingesetzt, um Werkzeuge mit einer Volumenprozentstruktur herzustellen, die bisher mit gewöhnlicher Schleifkörnung in organischen Bindungen schwierig oder gar unmöglich herzustellen waren. Insbesondere wurde festgestellt, dass relativ hohe Volumenprozentanteile an Porosität (z.B. über 30 Vol.-%) bei gebundenen, aus organischen Bindungen hergestellten Schleifwerkzeugen ohne Verlust an mechanischer Festigkeit, Werkzeugstandzeit oder Werkzeugleistung

erreicht werden können. Erhebliche Veränderungen in elastischen Modulen und andere physikalischen Eigenschaften von sowohl anorganisch als auch organisch gebundenen Werkzeugen können nun in den Werkzeugen gemäß der Erfindung erreicht werden.

Bei den aus organisch gebundenen Materialien hergestellten gebundenen Schleifmitteln wurden die Bindemittel bisher als der wichtigste Faktor bei der Veränderung der Härte und Struktur erachtet, um eine entsprechende oder ausreichende mechanische Festigkeit oder Steifigkeit zu erhalten. Überraschenderweise ermöglicht die Erfindung die Herstellung von Werkzeugen mit einem niedrigeren Schleifkorngehalt bei einer Auswahl an Verbindungsgehalten, wobei diese für Schleifanwendungen eingesetzt werden können, die Werkzeuge mit einer hohen mechanischen Festigkeit und Resistenz gegen vorzeitigen Verschleiß (definiert als Werkzeugstrukturverschleiß, der rascher stattfindet, als der Schleifkornverschleiß) fordern. Bei Flachsleifanwendungen für größere Kontaktflächen zeigen die Werkzeuge gemäß der Erfindung in der Tat eine bessere Leistung als herkömmliche Werkzeuge, die mit einer höheren Bindung und Schleifkorngehalten hergestellt sind.

Keine der agglomerierten Schleifkornentwicklungen gemäß dem Stand der Technik empfiehlt die Vorteile von gebundenen Werkzeugen, die bestimmte, agglomerierte Schleifkörnungen innerhalb einer organisch oder anorganisch gebundenen Grundsubstanz zur Kontrolle der dreidimensionalen Struktur des gebundenen Schleifwerkzeugs anwenden. Insbesondere wird nicht erwartet, dass diese Agglomerate so angepasst werden könnten, die Stelle und Art der Porosität und der Verbundgrundsubstanz innerhalb der Struktur des Werkzeugs gemäß der Erfindung anzupassen und zu kontrollieren.

#### KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

Die Erfindung betrifft ein gebundenes Schleifwerkzeug, umfassend einen dreidimensionalen Verbundstoff aus (a) einer ersten Phase umfassend 24 - 48 Vol.-% einer Schleifkörnung, die mit 10 - 38 Vol.-% eines organisch gebundenen Materials und höchstens 10 Vol.-% an Porosität verbunden ist sowie (b) eine zweite Phase bestehend aus 38 - 54 Vol.-% Porosität; wobei die zweite Phase aus einer kontinuierlichen Phase innerhalb des Verbundstoffes besteht und das gebundene Schleifwerkzeug über eine Mindeststoßgeschwindigkeit von 20,32 m/s (4000 sfpm) verfügt.

Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zum Trennschleifen, umfassend die nachfolgenden Schritte:

(a) Bereitstellen eines gebundenen Schleifrads, umfassend einen dreidimensionalen Verbundstoff aus (i) einer ersten Phase umfassend 24 - 48 Vol.-% einer Schleifkörnung, die mit 10 - 38 Vol.-% eines organisch gebundenen Materials und höchstens 10 Vol.-% an Porosität verbunden ist sowie (II) eine zweite Phase bestehend aus 38 - 54 Vol.-% an Porosität; wobei die zweite Phase aus einer kontinuierlichen Phase innerhalb des Verbundstoffes besteht und das gebundene Schleifwerkzeug über eine Mindeststoßgeschwindigkeit von 20,32 m/2 (4000 sfpm) verfügt;

(b) Befestigen des gebundenen Schleifrads an einer Flachsleifmaschine;

(c) Rotieren des Schleifrads; und

(d) das in Kontaktbringen einer Schleiffläche des Schleifrads mit einem Werkstück über einen ausreichenden Zeitraum hinweg, um das Werkstück zu schleifen; wobei das Schleifrad Werkstückmaterial bei einem wirksamen Materialentfernungsgrad entfernt, die Schleiffläche des Schleifrads im Wesentlichen frei von

Schleifablagerungen ist und das Werkstück im Wesentlichen frei von thermischen Schädigungen ist.

Die Erfindung umfasst weiterhin ein Verfahren zum Tiefschleifen, umfassend die folgenden Schritte:

- (a) Bereitstellen eines gebundenen Schleifrads, umfassend einen dreidimensionalen Verbundstoff aus (i) 22 - 46 Vol.-% Schleifkörnung, die mit 4 - 20 Vol.-% an anorganisch gebundenem Material gebunden ist; und (ii) 40 - 68 Vol.-% an verbundener Porosität; und wobei eine Mehrheit der Schleifkörnungen als unregelmäßig verteilte Zwischenraumanhäufungen innerhalb des Verbundstoffes vorhanden sind; das gebundene Schleifwerkzeug einen elastischen Modulwert besitzt, der mindestens 10 % niedriger liegt, als der elastische Modulwert eines ansonsten identischen, herkömmlichen Werkzeugs mit regelmäßig verteilten Schleifkörnungen innerhalb eines dreidimensionalen Verbundstoffes; und das gebundene Schleifwerkzeug über eine Mindeststoßgeschwindigkeit von 20,32 m/s (4000 sfpm) verfügt;
- b) Befestigen des gebundenen Schleifrads an eine Tiefschleifmaschine;
- c) Rotieren des Schleifrads; und
- d) das in Kontaktbringen einer Schleiffläche des Schleifrads mit einem Werkstück über einen ausreichenden Zeitraum hinweg, um das Werkstück zu schleifen; wobei das Schleifrad Werkstückmaterial bei einem wirkamen Materialentfernungsgrad entfernt, die Schleiffläche des Schleifrads im Wesentlichen frei von Schleifabfall ist und das Werkstück im Wesentlichen frei von thermischen Schädigungen ist.

#### BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Figur 1 besteht aus einem ternäres Diagramm, das die relativen volumetrischen Prozentanteil-Verbundstrukturen von standardmäßigen, organisch gebundenen Schleifmitteln denen von organisch gebundenen Schleifwerkzeugen gemäß der Erfindung gegenüberstellt.

Figur 2 besteht aus einem ternäres Diagramm, das die relativen volumetrischen Prozentanteil-Verbundstrukturen von standardmäßigen organisch gebundenen Schleifwerkzeugen denen von organisch gebundenen Schleifwerkzeugen gemäß der Erfindung mit Schleifkornagglomeraten gegenüberstellt, die anorganische Bindemittel enthalten.

Figur 3 ist ein ternäres Diagramm, das den Bereich an volumetrischer Prozentanteil-Verbundstrukturen von standardmäßigen anorganisch gebundenen Schleifwerkzeugen darstellt, wobei die anorganisch gebundenen Schleifwerkzeuge gemäß der Erfindung, die mit anorganisch gebundenen Materialien und einer anorganischen Bindung enthaltende Schleifkornagglomeraten hergestellt sind, dadurch gekennzeichnet sind, dass sie über erheblich niedrigere elastische Modulwerte, jedoch gleichwertige Schleifradstoßgeschwindigkeitswerte relativ zu den Standardwerkzeugen verfügen.

Figur 4 ist eine Mikroaufnahme der Oberfläche eines standardmäßigen gebundenen Schleifwerkzeugs, das mit einer organischen Bindung hergestellt ist, die eine einheitliche Verteilung der drei Komponenten des Schleifverbundstoffes darstellt.

Figur 5 ist eine Mikroaufnahme der Oberfläche eines gebundenen Schleifwerkzeugs gemäß der Erfindung, das mit einer organischen Bindung hergestellt ist, die eine nicht einheitliche Verteilung der drei Komponenten des Schleifverbundstoffes, der Porosität (dunklere Bereiche) als eine kontinuierliche Phase innerhalb des Verbundstoffes und ein

retikuläres Netzwerk an Schleifkörnung darstellt, die innerhalb des organischen Verbundmaterials verankert ist.

## BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

### GEBUNDENE SCHLEIFWERKZEUGE

Die gebundenen Schleifwerkzeuge gemäß der Erfindung (Schleifräder, Schleifsegmente, Schleifscheiben, Schleifsteine und Schleifsteine, insgesamt als Werkzeuge oder Schleifräder bezeichnet), sind durch eine zuvor unbekannte Kombination an Werkzeug- oder Schleifradstruktur- und physikalischen Eigenschaften gekennzeichnet. Der hier verwendete Begriff „Schleifradstruktur“ bezieht sich auf den Volumenprozentanteil der Schleifkörnung, Bindung und Porosität, die in dem Schleifrad enthalten sind. Die Schleifradhärten-„Härte“ bezieht sich auf die dem Verhalten des Schleifrad in einem Schleifverfahren zugeteilte Buchstabenkennzeichnung. Bei einer bestimmten Bindungsart stellt die Härte eine Funktion der Schleifradporosität, des Körnungsinhalts und bestimmte physikalische Eigenschaften dar, wie z.B. die ausgehärtete Dichte, den elastischen Modus und die Sandstrahlpenetration (letzteres ist eher typisch für gesinterte gebundene Schleifräder). Die „Härte“ des Schleifrads bestimmt, wie resistent das Schleifrad während dem Schleifvorgang gegen Verschleiß ist und wie fest das Schleifrad schleift, d.h. wie viel Kraft aufgewendet werden muss, um das Schleifrad für einen bestimmten Schleifverfahren zu verwenden. Die letztere Kennzeichnung der Schleifradhärte wird nach der im Stand der Technik bekannten Härteskala der Firma Norton zugeordnet, wobei die weichsten Härtegrade mit A und die härtesten Härtegrade mit Z gekennzeichnet werden. Siehe, z.B. US Pat. N.-A-1,983,082, Howe, et al. Durch das Angleichen der Schleifradhärtegrade kann der Fachmann gewöhnlich ein bekanntes Schleifrad durch eine neue Schleifradspezifikation ersetzen

und so vorausberechnen, dass das neue Schleifrad in einer ähnlichen Weise des bekannten Schleifrads funktioniert.

In einer wesentlichen und unerwarteten Abweichung dieser Praktiken, sind die Werkzeuge gemäß der Erfindung durch Veränderungen ihrer dreidimensionalen, monolithischen Verbundstrukturen, insbesondere in dem Betrag und der Eigenschaft der Porositätskomponente derart gekennzeichnet, dass die Schleifleistung nicht mehr mit der Werkzeughärte und Struktur vorausberechnet werden kann.

Werden die Werkzeuge gemäß der Erfindung mit einer organischen Bindung hergestellt, können sie so formuliert werden, um Volumenprozentstrukturen abzugeben (z.B. eine Porosität über 30 Vol.-%), die gemäß den Verfahren nach dem Stand der Technik bisher nur schwierig oder unmöglich herzustellen waren. Diese neuartigen Strukturen können ohne Verlust von mechanischer Festigkeit, Werkzeugstandzeit oder Werkzeugleistung hergestellt werden. In einem bevorzugten Verfahren werden diese Strukturen mit einer Schleifkornmischung hergestellt, wobei eine Mehrheit an Schleifkörnungen in der Form von Agglomeraten an Schleifkörnung mit einem organisch gebundenen Material, einem anorganisch gebundenen Material, oder einer Mischung der beiden vorhanden sind.

Werden die Werkzeuge gemäß der Erfindung mit einer anorganischen Bindung hergestellt, können sie so formuliert werden, um Volumenprozentstrukturen (siehe Figur 3) an herkömmliche Werkzeuge abzugeben, jedoch bei erheblich niedrigeren, d.h. mindestens 10 % niedrigerem elastischen Moduswert und oft bei einem bis zu 50 % niedrigeren elastischen Moduswert ohne effektiven Verlust an mechanischer Festigkeit. Ungeachtet des Steifigkeitsabfalls weisen die Werkzeuge gemäß der Erfindung gewerblich akzeptable Stoßgeschwindigkeitswerte und erheblich bessere Materialentfernungsraten in bestimmten Schleifverfahren auf. In einem bevorzugten Verfahren werden diese Strukturen mit einer

Schleifkornmischung hergestellt, wobei eine Mehrheit der Schleifkörnungen in der Form von Agglomeraten einer Schleifkörnung mit einem anorganischen Bindemittel vorhanden ist.

Figuren 1 - 5 stellen die neuartigen Strukturen der Werkzeuge gemäß der Erfindung dar. Figur 1 stellt ein ternäres Diagramm dar, das mit zwei Zonen markiert ist, welche zwei Schleifradsätze definieren (Schleifräder nach dem Stand der Technik und Schleifräder gemäß der Erfindung), die mit organischem Bindemittel hergestellt sind. Die Schleifräder nach dem Stand der Technik und die Schleifräder gemäß der Erfindung sind gleichermaßen für die gewerbliche Anwendung bei kontaktreichen, Präzisions-, Flächen- oder Linien-schleifverfahren geeignet, wie z.B. als Scheiben- oder Walzenschleifen. Die herkömmlichen Schleifräder verfügen über Volumenprozentstrukturen innerhalb einer Zone, die durch eine 38 bis 52 Vol.-% Körnung, eine 12 bis 38 Vol.-% Bindung und eine 15 bis 37 Vol.-% Porosität begrenzt sind.

Im Gegensatz dazu haben die Schleifräder gemäß der Erfindung Strukturen innerhalb einer Zone, die durch eine 24 bis 48 Vol.-% Körnung, eine 10 bis 38 Vol.-% Bindung und eine 38 bis 54 Vol.-% Porosität begrenzt sind. Man kann erkennen, dass die Schleifräder gemäß der Erfindung mit erheblich weniger Schleifkörnung als die herkömmlichen Schleifräder hergestellt sind und relativ geringe Beträge an Bindung und relativ große Beträge an Porosität aufweisen.

Nicht sichtbar im Diagramm dargestellt liegen die Schleifräder gemäß der Erfindung in einem Bereich im ternären Diagramm, in dem Techniken gemäß dem Stand der Technik dadurch versagt haben, dass die dreidimensionale Verbundstruktur während dem thermischen Verfahren absacken, wobei die Bereiche der Porosität einfallen oder wobei die Schleifräder gemäß dem Stand der Technik über keine ausrei-

chend hohe mechanische Festigkeit für einen sicheren Gebrauch bei Schleifverfahren verfügen.

Figur 2 ist ein ternäres Diagramm, das zwei Schleifradsätze darstellt (Schleifräder gemäß dem Stand der Technik und experimentelle Schleifräder gemäß der Erfindung), die für den gewerblichen Gebrauch für Kontaktflächenschleifverfahren in der Fließfertigung ausgelegt sind, wie z.B. Walzenschleifen. Die Schleifräder gemäß dem Stand der Technik werden mit organischem Bindemittel hergestellt, und die Schleifräder gemäß der Erfindung werden mit organischem Bindemittel und anorganischen Bindemittel enthaltenden Schleifkornagglomeraten hergestellt. Die Schleifräder der Erfindung sind den herkömmlichen Schleifrädern in allen betrieblichen Parameters der Walzenschleifverfahren erheblich überlegen. Die herkömmlichen Schleifräder haben wieder Strukturen innerhalb einer Zone, die durch 38 bis 53 Vol.-% Körnung, 12 bis 38 Vol.-% Bindung und 15 bis 37 Vol.-% Porosität gebunden sind. Im Gegensatz dazu haben die Schleifräder der Erfindung Strukturen innerhalb einer Zone, die durch 28 bis 48 Vol.-% Körnung, 10 bis 33 Vol.-% Bindung (die Summe der organischen Bindung im Schleifrad und des anorganischen Bindematerials in den Agglomeraten) und 38 bis 53 Vol.-% Porosität gebunden sind. Es lässt sich erkennen, dass die Schleifräder gemäß der Erfindung mit einer erheblich geringeren Schleifkörnung und einer erheblich größeren Porosität hergestellt werden können, als die herkömmlichen Schleifräder. Nicht sichtbar im Diagramm dargestellt ist, dass die Schleifräder gemäß der Erfindung durch wesentlich weichere Härtegrade gekennzeichnet sind, als die herkömmlichen Schleifräder und über niedrigere elastischen Modulwerte verfügen, als die herkömmlichen Schleifräder (im Vergleich zu einem gleichwertigen Volumenprozentanteil des Bindemittels), jedoch eine erheblich bessere Schleifleistung hinsichtlich der Schleifradstandzeit, der Materialentfernungsrate und Schwingung oder Schlagfestigkeit des Schleifrads.

Figur 3 ist ein ternäres Diagramm, das zwei Schleifradsätze darstellt (Schleifräder gemäß dem Stand der Technik und experimentelle Schleifräder gemäß der Erfindung), die mit anorganischem Bindemittel hergestellt sind und wobei beide für den gewerblichen Gebrauch in kontaktreichen Flachschleifverfahren, wie z.B. Tiefschleifen, geeignet sind.

Die Schleifräder gemäß dem Stand der Technik und die Schleifräder gemäß der Erfindung haben beide Strukturen innerhalb einer Zone, die durch 22 bis 46 Vol.-% Körnung, 4 bis 21 Vol.-% Bindung und 35 bis 77 Vol.-% Porosität gebunden sind. Nicht im Diagramm dargestellt ist, dass die Schleifräder gemäß der Erfindung bei einer identischen Vol.-%-Struktur über einen weichen Härtegrad und einen niedrigeren elastischen Modulwert verfügen, als die herkömmlichen Schleifräder, wobei die Schleifräder gemäß der Erfindung allerdings eine erheblich bessere Schleifleistung hinsichtlich der Materialentfernungsrate und der Werkstückqualität aufweisen.

Figur 4 - 5 stellt die Veränderung des Betrags und der Eigenschaft der Porosität der Werkzeuge gemäß der Erfindung relativ zu den herkömmlichen Werkzeugen gesehen. In Figur 4 (des Standes der Technik) und 5 (gemäß der Erfindung) kann erkannt werden, dass es sich bei der Porosität (dunklere Bereiche) in den Schleifverbundstoffen des Schleifrads gemäß der Erfindung um eine kontinuierliche Phase von verbundenen Kanälen handelt. Die Schleifkörnung und Bindung erscheinen als ein retikuläres Netzwerk, in welchem die Schleifkörnung in den organischen Bindemitteln verankert ist. Im Gegensatz dazu haben die herkömmlichen Schleifräder eine im Wesentlichen einheitliche Struktur, in welcher die Porosität kaum sichtbar und deutlich als eine diskontinuierliche Phase vorhanden ist.

Auf ähnliche Weise wurde bei anorganisch gebundenen Werkzeugen gemäß der Erfindung beobachtet, dass die Porosität in den Schleifverbundstoffen eine gebundene Porosität umfasst. Die Schleifkörnungen der Schleifräder gemäß der Erfindung sind auf ungleichmäßige Weise angehäuft und verteilt, im Gegensatz zu der gleichmäßigen und einheitlichen Körnungsverteilung bei vergleichbaren Schleifrädern gemäß des Standes der Technik mit der selben Art von anorganischen Bindung und Körnungsmaterialien. Sämtliche Komponenten der Schleifräder gemäß dem Stand der Technik scheinen in einer einheitlichen und homogenen Weise über der Oberfläche des Schleifrads verteilt zu sein, während sämtliche Komponenten des Schleifrads gemäß der Erfindung ungleichmäßig verteilt sind und die Struktur nicht homogen ist. Wie bei einem anorganisch gebundenen Werkzeug (z.B. mit gesinterter Bindung) und den relativ geringen Schleifkorngrößen, die normalerweise in einem solchen Werkzeug verwendet werden, zu erwarten ist, sind die Porositätskanäle und das Netzwerk der Schleifkörnung und Bindung in den anorganisch gebundenen Werkzeugen, im Vergleich zu der in Figur 5 dargestellten organischen Bindung und den größeren Korngrößen visuell weniger ausgeprägt, als bei den organisch gebundenen Werkzeugen.

Die verschiedenen Materialeigenschaften der gebundenen Schleifwerkzeuge wurden als den darin enthaltenen, neuartigen Verbundstrukturen, einschließlich der mechanischen Festigkeit, dem elastischen Modul und der Dichte zugehörig identifiziert.

Die Eigenschaften der mechanischen Festigkeit bestimmen, ob ein Verbundstoff als ein gebundenes Schleifwerkzeug in gewerblichen Schleifverfahren eingesetzt werden kann. Weil gebundenen Schleifwerkzeuge zumeist in Form von Schleifrädern verwendet werden, wird die mechanische Festigkeit durch einen Schleifradstoßgeschwindigkeitstest ausgedrückt, wobei das Schleifrad an einem Aufnahmedorn innerhalb der

Schutzkammer befestigt, und dann bei sich erhöhenden Geschwindigkeiten gedreht wird, bis der Verbundstoff versagt und das Schleifrad auseinander bricht. Die Stoßgeschwindigkeit kann durch bekannte Gleichungen (z.B. Formulas for Stress and Strain, Raymond J. Roark, McGraw-Hill, 1965) in einen Zugspannungs-Fehlpunkt umgesetzt werden. Wird zum Beispiel eine sich drehende Scheibe mit einer mittigen Bohrung angenommen, tritt das Versagen an der Bohrung auf, wo die Zugspannung ein Maximum erreicht.

$\sigma$  = Zugspannung oder Bruchfestigkeit (psi)

R = Schleifradradius (Zoll)

$\rho$  = Schleifraddichte (g/cc)

r = Bohrungsradius (Zoll)

$\omega$  = Winkelgeschwindigkeit (Schleifradiante/Sek)

k = Konstante (386,4)

$\nu$  = Poisson-Koeffizient (0,2)

$$\sigma = \frac{1}{4} \times \left( \frac{\rho \times \omega^2}{k} \right) ((3 + \nu) \times R^2 + (1 - \nu) \times r^2)$$

Wird dieses Verhältnis auf ein Schleifradbeispiel eines 91,4 x 10,2 x 30,5 cm Walzenschleifrads mit einer Dichte von 1,46 g/cc (enthaltend ein Volumen von 30 % Schleifmitteln + 22 % Bindung + 48 % Poren), und würde dieses Schleifrad eine Stoßgeschwindigkeit von 20,32 m/s aufweisen, dann wäre:

Winkelgeschwindigkeit = 4000 Füße = 44,4 Schleifradi-  
ante

Min

Sek

$$\sigma = \frac{1}{4} \times \left( \frac{0,053 \times 44,4^2}{386,4} \right) ((3 + 0,2) \times 36^2 + (1 - 0,2) \times 12^2) = 288 \text{ psi}$$

Wäre die Stoßgeschwindigkeit zweimal so hoch 40,64 m/s (8000 sfpm) oder 88,8 Schleifradiante/Sek, wäre die Zugspannung  $\sigma = 1153$  psi an dem Punkt, an dem der Verbundstoff ein mechanisches Versagen erfährt.

Deshalb wird die „mechanische Festigkeit“ hier als Schleifradstoßgeschwindigkeit in Metern pro Sekunde (oder surface feet pro Minute) für Schleifräder definiert, und falls es sich bei dem gebundenen Schleifwerkzeug nicht um ein Schleifrad handelt, als Zugspannung an dem Punkt gemessen, an dem der Verbundstoff ein vollständiges mechanisches Versagen erfährt.

Eine weitere für die gebundenen Schleifwerkzeuge gemäß der Erfindung relevante Materialeigenschaft ist die Dichte des Werkzeuges. Die organisch gebundenen Werkzeuge gemäß der Erfindung, wie aufgrund der Volumenprozent-Zusammensetzungen ihrer neuartigen Strukturen zu erwarten ist, sind weniger dicht, als vergleichbare, herkömmliche Werkzeuge, die gewöhnlich in einem beliebigen Schleifverfahren verwendet werden. Die organisch gebundenen Werkzeuge sind durch eine Dichte von höchstens 2,2 g/cc, bevorzugt von höchstens 2,0 g/cc und am meisten bevorzugt von höchstens 1,8 g/cc gekennzeichnet. Als solche für eine vorbestimmte Schleifanwendung (z.B. Schleifscheiben-Stahlzylinder) sind sie etwa 20 bis 35 % weniger dicht und durchschnittlich etwa 30 % weniger dicht, als vergleichbare, herkömmliche Werkzeuge, die für die selbe Anwendung eingesetzt werden.

Die anorganisch gebundenen Werkzeuge gemäß der Erfindung sind durch vergleichbare oder leicht niedrigere Dichten relativ zu den Dichten von vergleichbaren, herkömmlichen Werkzeugen, gekennzeichnet. Innendurchmesser-Schleifräder der herkömmlichen Art, zum Beispiel, haben im Allgemeinen eine Dichte von etwa 1,97 bis 2,22 g/cc, während vergleichbare Werkzeuge gemäß der Erfindung einen Bereich von 1,8 bis 2,2 g/cc aufweisen. Die Dichten der Tiefschleifräder

gemäß der Erfindung und der vergleichbaren, herkömmlichen Schleifräder liegen jeweils in einem Bereich von etwa 1,63 bis 1,99 g/cc.

Bei den anorganisch gebundenen Werkzeugen gemäß der Erfindung liegen die elastischen Modulwerte jedoch erheblich niedriger, und zwar mindestens 10 %, bevorzugt mindestens 25 % und am meisten bevorzugt 50 % niedriger, als die Werte von vergleichbaren, herkömmlichen Werkzeugen. Bei Innendurchmesser-Schleifrädern liegt der elastische Modul der Werkzeuge gemäß der Erfindung innerhalb von Bereichen von 25 bis 50 GPa (Werte wurden mit einer Grindosonic™-Maschine, durch das in J. Peters, „Sonic Testing of Grinding Wheels“ Advances in Machine Tool Design and Research, Pergamon Press, 1968 beschriebenen Verfahren bestimmt) im Gegensatz zu den vergleichbaren, elastischen Modulwerten der Werkzeuge, die normalerweise in einem Bereich von 28 bis 55 GPa liegen. Gleichermaßen liegen die elastischen Modulwerte für Werkzeuge gemäß der Erfindung im Fall von Tiefschleifrädern in einem Bereich von 12 bis 36 GPa, im Gegensatz zu vergleichbaren, elastischen Modulwerten für Werkzeuge, die normalerweise in einem Bereich von 12 bis 30 GPa liegen, und im Gegensatz zu vergleichbaren, elastischen Modulwerten der Werkzeuge, die normalerweise in einem Bereich von 16 bis 35 GPa liegen. Bei ausgewählten Schleifanwendungen gilt allgemein, je größer die Härte eines vergleichbaren, herkömmlichen für die jeweilige Anwendung erforderlichen Werkzeugs ist, desto größer fällt die Abwärtsverlagerung an elastischem Modulwert des anorganisch gebundenen Werkzeugs gemäß der Erfindung aus, das eine gleiche oder bessere Leistung in der jeweiligen Anwendung liefert. Daraus folgt, dass bei einer ausgewählten Schleifanwendung gilt, je höher der Volumenprozentanteil der Schleifkörnung eines für die jeweilige Anwendung erforderlichen Werkzeugs ist, desto größer fällt die Abwärtsverlagerung an elastischem Modulwert des anorganisch gebunde-

nen Werkzeugs gemäß der Erfindung aus, das eine gleiche oder bessere Leistung in der jeweiligen Anwendung liefert.

Die gebundenen Schleifwerkzeuge gemäß der Erfindung weisen eine ungewöhnlich poröse Struktur an verbundener Porosität auf, wodurch das Werkzeug für einen Flüssigkeitsfluss durchlässig wird und die Porosität effektiv eine kontinuierliche Phase innerhalb des Schleifverbundstoffes wird.

Der Betrag an verbundener Porosität wird durch das Messen der Flüssigkeitsdurchlässigkeit im Werkzeug gemäß dem Verfahren nach dem US Pat. Nr.-A-5,738,696 gemessen. Wie hier verwendet bedeutet  $Q/P$  = die Flüssigkeitsdurchlässigkeit eines Schleifwerkzeugs, wobei  $Q$  die als cc an Luftstrom ausgedrückte Flussrate bedeutet und  $P$  Differenzdruck bedeutet. Der Begriff  $Q/P$  stellt die Druckdifferenz dar, die zwischen der Schleifwerkzeugstruktur und der Atmosphäre bei einer vorbestimmten Flussrate einer Flüssigkeit (z.B. Luft) gemessen wird. Diese relative Durchlässigkeit  $Q/P$  ist dem Verhältnis des Produktes des Porenvolumens und des Quadrats der Porengröße entsprechend. Größere Porengrößen werden bevorzugt. Die Porengeometrie und die Schleifkorngröße sind weitere Faktoren, die den  $Q/P$ -Wert beeinflussen, wobei größere Korngrößen eine höhere relative Durchlässigkeit ergeben.

Die gemäß der Erfindung nützlichen Schleifwerkzeuge sind durch höhere Flüssigkeitsdurchlässigkeitswerte, als die der vergleichbaren Werkzeuge gemäß dem Stand der Technik gekennzeichnet. Wie hier verwendet, bezeichnet der Begriff „vergleichbare Werkzeuge gemäß dem Stand der Technik“ die Werkzeuge, die mit derselben Schleifkörnung und denselben Bindematerialien bei den gleichen Porositäts- Körnungs- und Bindungs-Volumenprozentanteilen, wie die der Erfindung hergestellt werden. Im Allgemeinen weisen die Schleifwerkzeuge gemäß der Erfindung etwa 25 bis 100 % höhere Flüssigkeitsdurchlässigkeitswerte, als die Werte von vergleichba-

ren Schleifwerkzeugen gemäß dem Stand der Technik auf. Die Schleifwerkzeuge sind bevorzugt durch Flüssigkeitsdurchlässigkeitswerte gekennzeichnet, die mindestens 10 % höher, bevorzugt mindestens 30 % höher liegen, als die der vergleichbaren Werkzeuge gemäß dem Stand der Technik.

Exakte, relative Flüssigkeitsdurchlässigkeitsparameter für bestimmte Agglomeratgrößen und -formen, Bindungsarten und Porositätsebenen können von dem Praktiker festgestellt werden, indem das Darcy's Gesetz auf die thermo-dynamischen Daten einer vorbestimmten Art von Schleifwerkzeugs angewendet wird.

Die Porosität innerhalb des Schleifrads ergibt sich aus der offenen Verteilung, die durch die natürliche Packdichte der Werkzeugkomponenten bereitgestellt wird, insbesondere die Schleifagglomerate und, als Option, durch das Hinzufügen eines geringfügigen Betrags an herkömmlichen Poren reduzierenden Medien. Geeignete Poren reduzierende Medien schließen ein, sind jedoch nicht beschränkt auf hohle Glaskugeln, hohle Kugeln oder Perlen aus Plastikmaterial oder aus organischen Zusammensetzungen, geschäumte Glaspartikel, Schaummullit oder Schaumtonerde sowie deren Kombinationen.

Die Werkzeuge können mit offenzelligen Porositätsinduktoren hergestellt werden, wie z.B. mit Perlen aus Naphthalin, Walnussschalen oder anderen organischen Körnchen, die während dem Feuern des Werkzeugs ausbrennen, um Hohlräume innerhalb der Grundsubstanz des Werkzeugs zu hinterlassen, oder sie können mit geschlossenen Zellen, hohle Poren induzierenden Medien (wie z.B. hohlen Glaskugeln) hergestellt werden. Bevorzugte Schleifwerkzeuge enthalten entweder keine zusätzlichen Poren induzierende Medien, oder einen geringen Betrag (z.B. höchstens 50 Vol.-%, bevorzugt höchstens 20 Vol.-% und am meisten bevorzugt höchstens 10 Vol.-% der Werkzeugporosität) an zusätzlichen Poren induzierenden Medien. Der Betrag und die Art des zugefügten

Poreninduktors muss wirksam genug sein, um ein Schleifwerkzeug mit einem Porositätsgehalt zu ergeben, wovon mindestens 30 Vol.-% verbundene Porosität ist.

Die gebundenen Schleifwerkzeuge gemäß der Erfindung mit diesen Materialeigenschaften und strukturellen Eigenschaften werden bevorzugt durch ein Verfahren hergestellt, in welchem eine Mehrheit der Schleifkörnungen mit einem Bindemittel agglomeriert wurde, bevor die Werkzeugkomponenten gemischt geformt und thermisch ausgehärtet werden, um einen Schleifverbundstoff zu bilden. Diese Schleifkornagglomerate können mit anorganischen Bindemitteln oder mit organischen Bindemitteln hergestellt werden.

Schleifagglomerate, die mit Organischen Bindemitteln hergestellt werden

Bei den Agglomeraten, die mit organischen Bindemitteln hergestellt werden, die bei der Erfindung nützlich sind, handelt es sich um dreidimensionale Strukturen oder Körnchen, einschließlich ausgehärteten Verbundstoffen aus Schleifkörnung und Bindemitteln. Jedes beliebige, aushärtbare, polymere Bindemittel, dass allgemein in der Schleifwerkzeugindustrie als Bindung für organisch gebundene Schleifmittel, beschichtete Schleifmittel und ähnliches verwendet wird, ist bevorzugt. Solche Materialien schließen Phenolharz-, Epoxidharz-, Phenolformaldehydharz-, Harnstoffformaldehydharz, Melaminharz-, Acrylharzmaterialien, gummi-modifizierte Harzzusammensetzungen, gefüllte Zusammensetzungen und deren Kombinationen ein. Die aus organischem Bindemittel hergestellten Agglomerate weisen eine lose Packdichte (LPD) von  $\leq 1,5$  g/cc, bevorzugt von höchstens 1,3 g/cc, eine durchschnittliche Dimension von etwa 2 bis 10 mal der durchschnittlichen Schleifkorngröße oder etwa 200 bis 3000 Mikrometern sowie einen Porositätsgehalt von etwa 1 bis 50 Vol.-%, bevorzugt von 5 bis 45 Vol.-%, und am meisten bevorzugt von 10 bis 40 Vol.-% auf.

Ein Hauptbestandteil (z.B. mindestens 50 Vol.-%) der Porosität innerhalb der Agglomerate wird als Porosität dargestellt, die für den Fluss einer Flüssigphase an organischem Bindemittel in die Agglomerate während dem thermischen Aushärten der geformten, gebundenen Schleifwerkzeuge gemäß der Erfindung durchlässig ist.

Die in den Agglomeraten nützliche Schleifkörnung, die entweder mit organischen oder anorganischen Bindemitteln hergestellt ist, kann eine oder mehrere der Schleifkörnungen enthalten, die zur Anwendung in Schleifwerkzeugen bekannt sind, wie z.B. die Körnungen aus Tonerde, einschließlich dem Elektrokorund, gesinterter und Sol-Gel-gesinterter Tonerde, gesintertem Bauxit und ähnlichem, Siliciumkarbid, Aluminiumzirkonerde, Aluminoxynitrid, Cerdioxid, Borsuboxid, Granat, Flint, Diamant, einschließlich natürlichem und synthetischem Diamant, kubischem Bornitrid (CBN) sowie deren Kombinationen. Jegliche Größe oder Form der Schleifkörnung kann verwendet werden. Zum Beispiel kann die Körnung einige (z.B. höchstens 10 Vol.-% der Gesamtschleifkörnung im Werkzeug) gestreckte, Sol-Gel-gesinterte Aluminiumoxidkörnungen mit einem hohen Längenverhältnis der im US Pat. Nr.-5,129,919 offenbarten Art einschließen. Für den Gebrauch bei dieser Erfindung können die Korngrößen in einem Bereich von normalen Schleifkorngrößen (z.B. über 60 und bis zu 7.000 Mikron) bis Mikroschleifkorngrößen (z.B. 0,5 bis 60 Mikron) und Mischungen aus diesen Größen liegen. Bei einem vorbestimmten Schleifverfahren kann es wünschenswert sein, die Schleifkörnung mit einer Korngröße zu agglomerieren, die geringer als eine Schleifkorngröße (nicht agglomeriert) ist, die normalerweise für dieses Schleifverfahren ausgewählt wird. Zum Beispiel kann ein Schleifmittel von einer 80er Korngröße durch ein Schleifmittel mit einer 54er Korngröße, agglomerierte Schleifmittel von einer 100er Korngröße mit einer 60er Korngröße und agglomerierte Schleifmittel von einer

120er Korngröße mit einer 80er Korngröße ersetzt werden. Die hier verwendete „Korngröße“ bezieht sich auf die Schleifkorngröße gemäß der Korngrößenskala der Firma Norton.

Schleifagglomerate, die mit anorganischen Bindemitteln hergestellt werden

Bei den Agglomeraten, die mit anorganischen Bindemitteln hergestellt werden, die bei der Erfindung nützlich sind, schließen gesinterte, poröse Zusammensetzungen aus Schleifkörnung und keramischen oder gesinterten Bindemitteln ein.

Die Agglomerate weisen eine lose Packdichte (LPD) von  $\leq 1,6$  g/cc, eine durchschnittliche Dimension von etwa 2 bis 20 mal der durchschnittlichen Schleifkorngröße und eine Porosität von etwa 30 bis 88 Vol.-%, bevorzugt von 30 bis 60 Vol.-% auf. Die Schleifkornagglomerate weisen bevorzugt einen Mindeststoßfestigkeitswert von 0,2 MPa auf.

Die bevorzugte, gesinterte Agglomeratgröße für typische Schleifkörnungen hat einen durchschnittlichen Durchmesser, der in einem Bereich von etwa 200 bis 3.000, eher bevorzugt von 350 bis 2.000, am meisten bevorzugt von 425 bis 1.000 Mikrometer liegt. Bei einer Mikroschleifkörnung liegt der durchschnittliche Durchmesser der bevorzugten, gesinterten Agglomeratgrößen in einem Bereich von 5 bis 180, eher bevorzugt von 20 bis 150, am meisten bevorzugt von 70 bis 120 Mikrometer.

Die Schleifkörnung ist zu etwa 10 bis 65 Vol.-%, eher bevorzugt zu 35 bis 55 Vol.-% und am meisten bevorzugt zu 48 bis 52 Vol.-% des Agglomerates vorhanden.

Die bei der Herstellung der Agglomerate nützlichen Bindemittel enthalten bevorzugt keramische und gesinterte Mate-

rialien, bevorzugt der Sorte, die als Bindungssysteme für gesinterte, gebundene Schleifwerkzeuge eingesetzt werden.

Diese gesinterten Bindemittel können aus vorgefeuertem Glas bestehen, das in ein Pulver gemahlen worden ist (eine Fritte) oder aus einer Mischung von verschiedenen Rohmaterialien, wie z.B. Ton, Feldspat, Kalk, Borax und Soda, oder eine Kombination von Fritten- und Rohmaterialien. Solche Materialien schmelzen und bilden bei Temperaturen im Bereich von etwa 500 bis 1400 °C eine flüssige Glasphase und befeuchten die Oberfläche der Schleifkörnung, um nach dem Abkühlen Bindungssäulen zu erzeugen, wodurch die Schleifkörnung innerhalb der Verbundstoffstruktur gehalten wird.

Beispiele geeigneter Bindemittel für die Verwendung in Agglomeraten werden in der nachstehenden Tabelle 2 aufgeführt. Bevorzugte Bindemittel sind durch eine Viskosität von etwa 345 bis 55.300 Poise (34,5 bis 5530 Pa s) bei 1180 °C und durch Schmelztemperaturen von etwa 800 bis 1.300 °C gekennzeichnet. Je nach dem Verwendungszweck des jeweiligen Werkzeuges und den gewünschten Eigenschaften können die Agglomerate jedoch mit einem oder mehreren anorganischen Materialien, ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus gesinterten Bindemitteln, keramischen Bindemitteln, glaskeramischen Bindemitteln, anorganischen Salzmaterialien und metallischen Bindemitteln sowie deren Kombinationen hergestellt werden.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform handelt es sich bei dem Bindemittel um eine gesinterte Bindungszusammensetzung umfassend eine gefeuerte Oxidzusammensetzung aus 71 Gew.-%  $\text{SiO}_2$  und  $\text{B}_2\text{O}_3$ , 14 Gew.-%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , höchstens 0,5 Gew.-% Erdalkalioxiden und 13 Gew.-% Alkalimetalloxiden.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform kann das Bindemittel aus einem keramischen Material bestehen, einschließlich, jedoch nicht beschränkt auf Kieselerde, Al-

kali, Erdalkali, gemischte Alkali- und Erdalkalisilikate, Aluminiumsilikate, Zirkoniumsilikate, Silikathydrate, Aluminate, Oxide, Nitride, Oxynitride, Karbide, Oxykarbide sowie deren Kombinationen und Derivate. Im Allgemeinen unterscheiden sich Keramikmaterialien von Glas- oder gesinterten Materialien, indem die Keramikmaterialien Kristallstrukturen umfassen. Einige Glasphasen können in Kombination mit den Kristallstrukturen vorhanden sein, insbesondere in Keramikmaterial, das sich in einem unraffiniertem Zustand befindet. Keramikmaterial im Rohzustand, wie z.B. Ton, Zement und Mineralien, können hier verwendet werden. Beispiele spezifischer Keramikmaterialien, die für den hier vorgesehenen Verwendungszweck geeignet sind, sind z.B., jedoch nicht beschränkt auf Kieselerde, Natriumsilikate, Mullit und andere Aluminosilikate, Zirkoniummullit, Magnesiumaluminate, Magnesiumsilikate, Zirkoniumsilikate, Feldspat und andere Alkali-Aluminosilikate, Spinelle, Kalziumaluminat, Magnesiumaluminat und andere Alkalialuminate, Zirkonium, mit Yttriumoxid, Bittererde, Calciumoxid, Cerdi-oxid, Titandioxid oder anderen Seltenerdzusätzen stabilisiertes Zirkonium, Talk, Eisenoxid, Edelkorund, Böhmit, Boroxid, Cerdi-oxid, Aluminiumoxynitrid, Bornitrid, Silikon-nitrid, Graphit sowie Kombinationen dieser Keramikmaterialien.

Bestimmte dieser Keramikbindemittel (z.B. Natriumsilikate) erfordern keine thermischen Verfahren zum Bilden von Schleifkornagglomeraten. Eine Lösung aus dem Bindemittel kann zu der Schleifkörnung hinzugefügt und die daraus entstehende Mischung getrocknet werden, um die Körnungen als Agglomerate zusammenzuheften.

Das anorganische Bindemittel wird in Pulverform verwendet und kann zu einer Bindemittellösung hinzugefügt werden, um eine einheitliche, homogene Mischung an Bindemittel mit der Schleifkörnung während der Herstellung der Agglomerate sicherzustellen.

Eine Dispergierung an organischen Bindemitteln wird bevorzugt zu den anorganischen Pulverbindemittelkomponenten als Form- oder Verfahrenshilfsmittel hinzugefügt. Diese Bindemittel können Dextrine, Stärke, tierischen Eiweißleim und andere Arten von Leim; eine flüssige Komponente, wie z.B. Wasser, Lösung, Viskositäts- oder pH-Modifikatoren sowie Mischhilfsstoffe enthalten. Die Verwendung eines organischen Bindemittels verbessert die Einheitlichkeit der Agglomerate, insbesondere die Einheitlichkeit der Bindemitteldispergierung an der Körnung sowie die strukturelle Qualität der vorgefeuerten oder grünen Agglomerate und ebenfalls die der gefeuerten Schleifwerkzeuge, die Agglomerate enthalten. Weil die Bindemittel während dem Feuern der Agglomerate abbrennen, bilden diese weder ein Bestandteil der fertigen Agglomerate noch des fertigen Schleifwerkzeuges.

Ein anorganischer Haftverstärker kann zu der Mischung hinzugefügt werden, um die Haftung des Bindemittels an die Schleifkörnung ggf. zu verbessern, was die Mischungsqualität wiederum verbessert. Der anorganische Haftverstärker kann mit oder ohne einem organischen Bindemittel bei der Vorbereitung der Agglomerate verwendet werden.

Das anorganische Bindemittel ist mit etwa 0,5 bis 15 Vol.-%, eher bevorzugt bei 1 bis 10 Vol.-% und am meisten bevorzugt bei 2 bis 8 Vol.-% des Agglomerates vorhanden.

Die Dichte der anorganischen Bindemittelagglomerate kann in einer Vielzahl von Arten ausgedrückt werden. Die Raumdichte der Agglomerate kann als die LPD ausgedrückt werden. Die relative Dichte der Agglomerate kann als eine Prozentzahl der anfänglichen relativen Dichte oder als Verhältnis der relativen Dichte der Agglomerate zu den bei der Herstellung der Agglomerate verwendeten Komponenten ausgedrückt werden,

wobei das Volumen der verbundenen Porosität in den Agglomeraten berücksichtigt werden muss.

Die anfängliche, relative Durchschnittsdichte, die als Prozentzahl ausgedrückt wird, kann durch das Teilen der LPD ( $\rho$ ) durch eine theoretische Dichte der Agglomerate ( $\rho_0$ ) unter Annahme einer Nullporosität ermittelt werden. Die theoretische Dichte kann gemäß dem Verfahren der volumetrischen Mischungsregel aus der Gewichtsprozentzahl und der spezifischen Schwerkraft des Bindemittels und der in den Agglomeraten enthaltenen Schleifkörnung ermittelt werden.

Bei den gesinterten, anorganischen Agglomeraten gemäß der Erfindung beträgt eine maximale Prozent-relative Dichte 50 Vol.-%, wobei eine maximale Prozent-relative Dichte von 30 Vol.-% eher bevorzugt wird.

Die relative Dichte kann durch ein Flüssigverdrängungs-Volumenverfahren derart gemessen werden, dass die verbundene Porosität eingeschlossen und die geschlossene Zellporosität ausgeschlossen wird. Die relative Dichte ist das Verhältnis Volumens der gesinterten, anorganischen Agglomerate, gemessen durch die Flüssigverdrängung zum Volumen des zur Herstellung der gesinterten, anorganischen Agglomerate verwendeten Materials. Das Volumen der zur Herstellung des Agglomerates verwendeten Materialien ist ein Maß des scheinbaren Volumens beruhend auf den Mengen und den Packdichten der Schleifkörnung und des zur Herstellung der Agglomerate verwendeten Bindemittels. Bei den anorganisch gesinterten Agglomeraten beträgt eine maximale relative Dichte der Agglomerate bevorzugt 0,7, wobei eine maximale relative Dichte von 0,5 eher bevorzugt wird.

#### Herstellungsverfahren von Schleifagglomeraten

Die Agglomerate können durch eine Vielzahl an Methoden zu zahlreichen Größen und Formen gebildet werden. Diese Metho-

den können vor, während oder nach dem Feuern der anfänglichen („grünen“) Phasenmischung der Körnung und des Bindemittels durchgeführt werden. Der bevorzugte Schritt des Erhitzens der Mischung, um das Bindemittel dazu zu veranlassen, zu schmelzen und zu fließen und dadurch das Bindematerial an die Körnung zu haften und die Körnung in einer agglomerierten Form zu fixieren, kann hier als Aushärten, Feuern, Kalzinieren oder Sintern bezeichnet werden. Zur Vorbereitung der Schleifagglomerate kann ein gemäß dem Stand der Technik bekanntes Verfahren zum Agglomerieren von Partikelmischungen verwendet werden.

In einer ersten Ausführungsform des hier zur Herstellung von Agglomeraten mit organischen Bindemitteln verwendeten Verfahrens, wird die anfängliche Mischung an Körnung und Bindemittel agglomeriert, bevor die Mischung ausgehärtet wird, so dass eine relativ schwache mechanische Festigkeit, genannt „grüne Agglomerate“ erzeugt wird.

Zur Durchführung der ersten Ausführungsform können die Schleifkörnung und Bindemittel im grünen Zustand durch eine Reihe von verschiedenen Methoden agglomeriert werden, z.B. auf einem Pelletisierteller, und dann einem Ofen bei 140 - 200 °C zum thermischen Aushärten zugeführt werden. Die grünen Agglomerate können dann auf eine Schale oder Ablage gegeben und mit oder ohne rotieren in einem kontinuierlichen oder diskontinuierlichen Verfahren im Ofen ausgehärtet werden. Eine thermische Behandlung kann in einem Fließbettapparat durch Zuführen von grüner, agglomerierter Körnung in das Fließbett durchgeführt werden. Kombinationen dieser Verfahren können ebenfalls eingesetzt werden.

Die Schleifkörnung kann auf einen Mischtteller überführt, mit dem organischen Bindemittel vermischt und dann mit einer Lösung befeuchtet werden, um das Bindemittel an die Körnung zu haften, nach Agglomeratgröße abgesiebt und dann

in einem Ofen oder in einem Trommeltrockner ausgehärtet werden.

Die Pelletisierung kann durch Hinzufügen der Körnung in die Mischschale und Dosierung einer flüssigen Komponente, die Bindemittel enthält (z.B. Wasser oder organisches Bindemittel und Wasser), zur Körnung unter Rühren durchgeführt werden, um diese miteinander zu agglomerieren.

Eine Lösung kann auf die Mischung aus Körnung und Bindemittel gesprüht werden, um die Körnung während dem Rühren mit Bindemittel zu beschichten und die beschichtete Körnung kann dann zurück gewonnen werden, um Agglomerate zu bilden.

Ein Niederdruck-Extrusionsapparat kann eingesetzt werden, um eine Paste aus Körnung und Bindematerial in Größen und Formen zu extrudieren, die dann getrocknet werden, um Agglomerate zu bilden. Eine Paste kann aus den Bindemitteln und der Körnung mit einer organischen Bindemittellösung hergestellt werden und dann mit dem im US Patent -A-4,393,021 offenbarten Apparat und Verfahren in gestreckte Partikel extrudiert werden.

In einem Trockengranulatverfahren kann ein aus einer Schleifkörnung hergestelltes Blech oder ein Block, eingebettet in einer Dispergierung aus einer Bindemittelpaste, getrocknet und dann ein Walzenrüttler verwendet werden, um die Zusammensetzung aus Körnung und Bindemittel auseinander zu brechen.

In einem weiteren Verfahren zum Herstellen von grünen oder Vorläuferagglomeraten kann die Mischung aus organischem Bindemittel und der Körnung zu einem Abformungsgerät hinzugefügt werden und die Mischung dann geformt werden, um präzise Formen und Größen zu bilden, zum Beispiel in der Art, wie sie im US Pat. Nr. 6,217,413 B1 offenbart ist.

In einer zweiten Ausführungsform des für diese Zwecke nützlichen Verfahrens zum Herstellen von Agglomeraten, wird eine einfache Mischung aus der Körnung und dem organischen Bindemittel in einen Rotationskalzinierer gegeben. Die Mischung wird bei einer vorbestimmten Umdrehungszahl pro Minute, entlang einer vorbestimmten Neigung unter Anwendung von Wärme gerüttelt. Die Agglomerate werden geformt während sich die Materialmischung erhitzt, schmilzt, fließt und sich an die Körnung haftet. Die Feuerungs- und Agglomerierungsschritte können gleichzeitig bei kontrollierten Raten und Volumen der Zufuhr- und Erwärmungsanwendungen durchgeführt werden. In einem bevorzugten Verfahren wird das Agglomerierungsverfahren durch die zugehörigen Verfahren, die in den Prioritäts-Patentanmeldungen US. Ser. Nr. 10-120,969, eingereicht am 11. April 2002, beschrieben sind, durchgeführt.

Beim Agglomerieren von Schleifkörnung mit Bindemitteln mit Niedrigtemperatur-Aushärtung (z.B. ungefähr von etwa 145 bis etwa 500 °C) kann eine alternative Ausführungsform dieser Drehofenanlage verwendet werden. Die alternative Ausführungsform, ein Trommeltrockner, ist so ausgerüstet, um erwärmte Luft an das Ablassende des Rohrs zu leiten, um die grün agglomerierte Schleifkornmischung zu erwärmen und das Bindemittel auszuhärten, wobei es an die Körnung gebunden wird. Wie hier verwendet, schließt der Begriff „Drehkalzinierungssofen“ solche Drehofenanlagen ein.

Agglomerate aus einer Schleifkörnung mit anorganischen Bindemitteln können durch die in der zugehörigen Prioritäts-Patentanmeldung US Ser. Nr. 10-120,969, eingereicht am 11. April 2002, und durch die in den hier enthaltenen Beispielen beschriebenen Verfahren durchgeführt werden.

Schleifwerkzeuge, die mit Schleifagglomeraten hergestellt werden

Die gebundenen Schleifwerkzeuge, die mit Agglomeraten hergestellt werden, enthalten Schleifräder, segmentierte Schleifräder, Scheiben, Steine und andere starre, monolithische oder segmentierte, geformte Schleifverbundstoffe.

Die Schleifwerkzeuge gemäß der Erfindung umfassen bevorzugt etwa 5 bis 70 Vol.-%, eher bevorzugt 10 bis 60 Vol.-%, am meisten bevorzugt 20 bis 52 Vol.-% an Schleifkornagglomeraten, beruhend auf dem Gesamtvolumen des Schleifverbundstoffes. Von 10 bis 100 Vol.-%, bevorzugt 30 bis 100 Vol.-% und mindestens 50 Vol.-% an im Werkzeug enthaltener Schleifkörnung, liegt in Form einer Mehrheit (z.B. 2 bis 40 Körnung) an Schleifkörnungen vor, die mit dem Bindemittel zusammen agglomeriert sind.

Die Werkzeuge gemäß der Erfindung können als Option zusätzliche, sekundäre Schleifkörnungen, Füllmittel, Schleifhilfen und Poren induzierende Medien sowie Kombinationen dieser Materialien enthalten. Das Gesamtvolumen-% der Schleifkörnung in den Werkzeugen (agglomerierte und nicht agglomerierte Körnung) kann in einem Bereich von etwa 22 bis etwa 48 Vol.-%, eher bevorzugt von etwa 26 bis 44 Vol.-% und am meisten bevorzugt von etwa 30 bis etwa 40 Vol.-% des Werkzeuges liegen.

Die Dichte und Härte der Schleifwerkzeuge wird durch die Auswahl der Agglomerate, Art der Bindung und andere Werkzeugkomponenten, den Porositätsgehalt zusammen mit der Größe und Art der Gussform sowie der Auswahl des Pressverfahrens bestimmt. Die gebundenen Schleifwerkzeuge haben bevorzugt eine Dichte von höchstens 2,2 g/cc, eher bevorzugt von höchstens 2,0 g/cc und am meisten bevorzugt von höchstens 1,8 g/cc.

Wird eine sekundäre Schleifkörnung in Kombination mit den Schleifagglomeraten verwendet, so stellen die sekundären Schleifkörnungen bevorzugt etwa 0,1 bis etwa 90 Vol.-% an

Gesamtschleifkörnung des Werkzeugs bereit, und eher bevorzugt von etwa 0,1 bis 70 Vol.-%, am meisten bevorzugt 0,1 bis 50 Vol.-%. Geeignete sekundäre Schleifkörnungen schließen ein, sind jedoch nicht beschränkt auf verschiedenen Aluminiumoxide, Sol-Gel-Aluminiumoxid, gesintertes Bauxit, Silikoncarbid, Aluminiumoxid-Zirkonium, Aluminiumoxynitrid, Cerdioxid, Borsuboxid, kubisches Bornitrid, Diamant, Flint- und Granatkörnungen sowie deren Kombinationen.

Bevorzugte Schleifwerkzeuge gemäß der vorliegenden Erfindung werden mit einer organischen Bindung gebunden. Jede beliebige der verschiedenen gemäß dem Stand der Technik zur Herstellung von Schleifwerkzeugen bekannten Bindungen kann für den hier genannten Verwendungszweck eingesetzt werden.

Beispiele für geeignete Bindungen und Bindungsfüllmitteln können in den US Pat. Nr. A-6,015,338; A-5,912,216 und 5,611,827 gefunden werden, von welchen der Inhalt hier unter Bezugnahme aufgenommen wurde. Geeignete Bindungen schließen Phenolharze verschiedener Arten ein, wahlweise mit einem Vernetzungsmittel, wie z.B. Cyclohexantetrammin, Epoxidharzmaterialien, Polyimidharzmaterialien, Phenolformaldehyd, Harnstoffformaldehyd und Melaminformaldehyd-Harzmaterialien, Acrylharzmaterialien sowie deren Kombinationen. Andere aushärtbare Harzzusammensetzungen können hier ebenfalls verwendet werden.

Organische Bindemittel oder Lösungen können zu den Pulverbindekomponenten als Guss- oder Verfahrenshilfsmittel hinzugefügt werden. Diese Bindemittel können Furfural, Wasser, Viskositäts- oder pH-Modifikatoren sowie Mischhilfsmittel einschließen. Die Verwendung von Bindemitteln verbessert oft die Einheitlichkeit des Schleifrads sowie die strukturelle Qualität des vorgefeuerten oder grüngepressten Schleifrads und des ausgehärteten Schleifrads.

Weil die meisten Bindemittel während dem Aushärten verdunsteten, werden sie nicht zum Bestandteil der fertigen Bindung oder des fertigen Schleifwerkzeuges.

Organisch gebundene Schleifwerkzeuge gemäß der Erfindung können etwa 10 bis 50 Vol.-%, eher bevorzugt 12 bis 40 Vol.-% und am meisten bevorzugt 14 bis 30 Vol.-% an Bindung umfassen. Die Bindung befindet sich derart innerhalb des dreidimensionalen Schleifverbundstoffes, so dass eine erste Phase an Schleifkörnungen und Bindung höchstens 10 Vol.-% an Porosität, eher bevorzugt höchstens 5 Vol.-% an Porosität umfasst. Diese erste Phase erscheint in der Verbundstoff-Grundsubstanz des organisch gebundenen Schleifwerkzeuges als ein retikuläres Netzwerk an Schleifkörnungen, die innerhalb des organischen Bindemittels verankert sind.

Im Allgemeinen ist es wünschenswert, eine erste Phase innerhalb des dreidimensionalen Verbundstoffes zu haben, die so vollkommene Dichte haben, wie sie innerhalb der Beschränkungen der Materialien und des Herstellungsverfahrens erreicht werden kann.

Zusammen mit den Schleifkornagglomeraten und der Bindung umfassen diese Werkzeuge etwa 38 bis 54 Vol.-% an Porosität, wobei diese Porosität eine kontinuierliche Phase darstellt, die mindestens 30 Vol.-% an verbundener Porosität enthält. Bevorzugte organisch gebundene Schleifwerkzeuge können 24 bis 48 Vol.-% an Schleifkörnung, 10 bis 38 Vol.-% an organischer Bindung und 38 bis 54 Vol.-% an Porosität umfassen.

Diese organisch gebundenen Werkzeuge weisen eine Mindeststoßgeschwindigkeit von 20,32 m/s (4000 sfpm), bevorzugt 30,48 m/s (6000 sfpm) auf.

In einer bevorzugten Ausführungsform können die organisch gebundenen Schleifwerkzeuge als eine erste Phase 26 - 40

Vol.-% an Schleifkörnungen umfassen, die mit 10 - 22 Vol.-% an organischem Bindemittel und höchstens 10 Vol.-% an Porosität gebunden sind und eine zweite Phase, die aus 38 - 50 Vol.-% Porosität besteht.

Werden die organisch gebundenen Schleifwerkzeuge aus Agglomeraten aus Körnung und organischen Bindemitteln hergestellt, können diese als eine erste Phase 24 - 42 Vol.-% an Schleifkörnungen umfassen, die mit 18 - 38 Vol.-% organischem Bindemittel und höchstens 10 Vol.-% Porosität gebunden sind sowie eine zweite Phase, die aus 38 - 54 Vol.-% Porosität besteht.

Werden die organisch gebundenen Schleifwerkzeuge aus Agglomeraten aus Körnung und anorganischen Bindemitteln hergestellt, können diese als eine erste Phase 28 bis 48 Vol.-% an Körnungen umfassen, die mit 10 bis 33 Vol.-% an Bindung (der Summe der organischen Bindung in dem Schleifrad und des anorganischen Bindemittels in den Agglomeraten) gebunden sind sowie eine zweite Phase, die aus 38 bis 53 Vol.-% Porosität besteht. Das Werkzeug umfasst bevorzugt einen Mindestbetrag von 1 Vol.-% an anorganischem Bindemittel und umfasst am meisten bevorzugt 2 bis 12 Vol.-% an anorganischem Bindemittel. Solche Werkzeuge haben bevorzugt einen maximalen elastischen Modulwert von 10 GPa und eine Mindeststoßgeschwindigkeit von 30,48 m/s (6000 sfpm). Auf der Härteskala der Firma Norton ausgewertet, verfügen diese Schleifwerkzeuge über einen Härtegrad zwischen A und H und dieser Härtegrad ist mindestens ein Härtegrad weicher, als der von ansonsten identischen herkömmlichen Werkzeugen, die mit Schleifkörnungen hergestellt werden, die nicht mit einem anorganischem Bindemittel zusammen agglomeriert sind.

Wahlweise enthält das organisch gebundene Schleifwerkzeug eine Mischung aus einer Vielzahl von Körnungen, die mit einem anorganischen Bindemittel zusammen agglomeriert sind

sowie aus einer Vielzahl von Körnungen, die mit einem organischen Bindemittel zusammen agglomeriert sind.

Werden die Schleifwerkzeuge mit einer anorganischen Bindung und Agglomeraten aus Körnung und anorganischen Bindemitteln hergestellt, können diese einen dreidimensionalen Verbundstoff einer (a) 22 - 46 Vol.-% Schleifkörnung umfassen, die mit 4 - 20 Vol.-% an anorganischem Bindemittel; und (b) einer 40 - 68 vol.-% verbundenen Porosität verbunden ist, wobei eine Mehrzahl an Schleifkörnungen als ungleichmäßige Hohlraumanhäufungen innerhalb des Verbundstoffes vorhanden ist. Diese gebundenen Schleifwerkzeuge verfügen über elastische Modulwerte, die mindestens 10 % niedriger liegen, als die elastischen Modulwerte von ansonsten identischen herkömmlichen Werkzeugen, die über regelmäßig verteilte Schleifkörnungen innerhalb eines dreidimensionalen Verbundstoffes verfügen und eine Mindeststoßgeschwindigkeit von 20,32 m/s (4000 sfpm), bevorzugt 30,48 m/s (6000 sfmp) aufweisen. Bevorzugte anorganisch gebundene Schleifwerkzeuge umfassen 22 - 40 Vol.-% an Schleifkörnungen, die mit 8 - 20 Vol.-% an anorganischem Bindemittel und 40 - 68 Vol.-% an verbundener Porosität gebunden sind.

In einer bevorzugten Ausführungsform umfassen die anorganisch gebundenen Schleifwerkzeuge 34 - 42 Vol.-% an Schleifkörnungen, die mit 6 - 12 Vol.-% anorganischem Bindemittel und 46 - 58 Vol.-% verbundener Porosität gebunden sind. Diese Werkzeuge werden mit gesinterten Bindemitteln hergestellt, sind im Wesentlichen frei von Körnungen und Füllmitteln mit hohen Längenverhältnissen und die Werkzeuge werden ohne den Zusatz von Porosität induzierenden Materialien während der Herstellung gussgeformt und gefeuert. Bei den bevorzugten gesinterten, gebundenen Schleifwerkzeugen handelt es sich um Schleifräder mit einem Härtegrad von zwischen A um M auf der Härteskala der Firma Norton und der Härtegrad ist mindestens einen Grad weicher, als der eines ansonsten identischen herkömmlichen Werkzeug-

ges mit regelmäßig verteilten Schleifkörnungen innerhalb eines dreidimensionalen Verbundstoffes. Die bevorzugten gesinterten, gebundenen Schleifwerkzeuge sind durch einen elastischen Modulwert gekennzeichnet, der mindestens 25 % niedriger, bevorzugt mindestens 40 % niedriger liegt, als der elastische Modulwert eines ansonsten identischen herkömmlichen Werkzeugs mit regelmäßig verteilten Schleifkörnungen innerhalb eines dreidimensionalen Verbundstoffes und einer Mindeststoßgeschwindigkeit von 30,48 m/s (6000 sfpm).

Die bevorzugten gesinterten, gebundenen Schleifwerkzeuge, die mit Agglomeraten aus einer Körnung in anorganischen Bindemitteln hergestellt sind, enthalten Innendurchmesser-Schleifräder, die 40 bis 52 Vol.-% an Schleifkörnung enthalten und einen elastischen Modulwert von 25 bis 50 GPa aufweisen. Ebenfalls enthalten sind Flachsleifräder für Werkzeugbauanwendungen, die 39 bis 52 Vol.-% an Schleifkörnung enthalten und einen elastischen Modulwert von 15 bis 36 GPa aufweisen sowie Tiefschleifräder, die 30 bis 40 Vol.-% an Schleifkörnung enthalten und einen elastischen Modulwert von 8 bis 25 GPa aufweisen.

Um eine geeignete mechanische Festigkeit in dem organisch gebundenen Schleifwerkzeug während der Herstellung des Werkzeugs und während der Verwendung des Werkzeugs in Schleifverfahren zu erhalten, muss mindestens 10 % der Gesamtverbundstoffkomponente aus einer zusätzlichen organischen Bindung bestehen und kann nicht als Bindemittel in den Agglomeraten verwendet werden.

Die Schleifräder können auf jede beliebige gemäß dem Stand der Technik bekannte Weise formgegossen und gepresst werden, einschließlich durch Heiß-, Warm- und Kaltpressverfahren. Bei der Auswahl eines Formdrucks zum Formen der grünen Schleifräder muss sorgfältig vorgegangen werden, um entweder das Zerdrücken der Agglomerate oder das Zerdrücken eines kontrollierten Betrags der Agglomerate (z.B. 0 - 75

Gew.-% der Agglomerate) zu verhindern und die dreidimensionale Struktur der verbleibenden Agglomerate zu erhalten.

Der zur Herstellung der Schleifräder gemäß der Erfindung geeignete, angelegte Druck hängt von der Form, Größe, Dicke und Bindungskomponente des Schleifrads sowie von der Formgusstemperatur ab. Bei den gebräuchlichen Herstellungsverfahren kann der Maximaldruck in einem Bereich von etwa 35 bis 704 kg/cm<sup>2</sup> (500 bis 10.000 lbs/Zoll<sup>2</sup>) liegen. Das Formgießen und Pressen wird bevorzugt bei etwa 53 bis 422 kg/cm<sup>2</sup>, eher bevorzugt bei 42 bis 352 kg/cm<sup>2</sup> durchgeführt.

Die Agglomerate gemäß der Erfindung verfügen über eine ausreichende mechanische Festigkeit, um den Formguss- und Pressschritten standzuhalten, die in typischen gewerblichen Herstellungsverfahren zum Herstellen von Schleifwerkzeugen durchgeführt werden.

Die Schleifräder können durch Verfahren ausgehärtet werden, die dem Fachmann bekannt sind. Die Aushärtungsbedingungen werden hauptsächlich durch die tatsächlich verwendeten Bindungen und Haftmittel sowie durch die Art der in den Schleifkornagglomeraten enthaltenen Bindemittel bestimmt.

Je nach chemischer Zusammensetzung der ausgewählten Bindung kann eine organische Bindung bei 150 bis 250 °C, bevorzugt bei 160 bis 200 °C gefeuert werden, um die notwendigen mechanischen Eigenschaften für die gewerbliche Anwendung in Schleifverfahren bereitzustellen.

Die Auswahl von geeigneten organischen Bindungen hängt davon ab, welches Agglomerierungsverfahren verwendet wird und ob es wünschenswert ist, den Fluss der erwärmten organischen Bindung in die intra-agglomerierten Poren zu vermeiden.

Die organisch gebundenen Werkzeuge können gemäß den verschiedenen Verarbeitungsverfahren und mit verschiedenen Anteilen an Schleifkörnung oder Agglomeraten, Bindungs- und Porositätskomponenten, wie sie gemäß dem Stand der Technik bekannt sind gemischt, geformt und ausgehärtet werden.

Geeignete Herstellungsverfahren zum Herstellen von organisch gebundenen Schleifwerkzeugen werden in den U.S. Pat. Nr. A-6,015,338; A-5,912,216 und 5,611,827 offenbart.

Geeignete Herstellungsverfahren zum Herstellen von gesinterten (oder anderen anorganischen Bindungen) gebundenen Schleifwerkzeugen gemäß der Erfindung werden in den zugehörigen Prioritäts-Patentanmeldungen U.S. Ser. Nr. 10-120,969, eingereicht am 11. April 2202, in den hier enthaltenen Beispielen und, z.B. in US-A-5,738,696 und US-A-5,738,697, beschrieben.

#### Schleifanwendungen

Die Schleifwerkzeuge gemäß der Erfindung sind besonders wirksam bei Schleifanwendungen mit großen Kontaktflächen oder anhaltend kontinuierlichem Kontakt zwischen dem Schleifwerkzeug und dem Werkstück während dem Schleifen.

Solche Schleifverfahren schließen ein, sind jedoch nicht beschränkt auf Walzen- und Trennschleifen, Tiefschleifen, Innendurchmesserschleifen, Werkzeugbauschleifen sowie andere Präzisionsschleifverfahren.

Feinschleif- oder Polierverfahren, die eine Schleifkörnung mit Mikron- oder Submikrongrößen einsetzen, profitieren von der Anwendung der Werkzeuge, die mit Agglomeraten gemäß der Erfindung hergestellt worden sind. Relativ zu den herkömmlichen Schwingschleif- oder Polierwerkzeugen und Systemen erodieren die mit diesen Feinkorn-Schleifagglomeraten hergestellten Werkzeuge gemäß der Erfindung bei niedrigeren

Schleifkräften mit wenig oder keinen Oberflächenschädigungen am Werkstück während den Präzisionsbearbeitungsverfahren (z.B. um Hochglanzpolituren an Glas- und Keramikkomponenten zu erzielen). Die Werkzeugstandzeit bleibt aufgrund der agglomerierten Strukturen innerhalb der dreidimensionalen Grundsubstanz des Werkzeugkörpers zufrieden stellend erhalten.

Aufgrund der verbundenen Porosität der Werkzeuge werden die Kühlmittelzufuhr und Fremdkörperentfernung beim Walzen- und Trennschleifen erhöht, was zu kühleren Schleifverfahren, weniger häufigeren Werkzeugeinpassungen, weniger thermischen Schädigungen am Werkstück und geringeren Schleifmaschinenverschleiß führt. Weil Schleifkörnungen von kleineren Korngrößen in agglomerierter Form die Schleifleistung einer größeren Korngröße ergeben, jedoch eine glattere Oberflächenbehandlung hinterlassen, verbessert sich oft die Qualität des Grundarbeitsteiles erheblich.

Bei einem bevorzugten Verfahren zum Trennschleifen werden die organisch gebundenen Schleifwerkzeuge, die Agglomerate aus Körnung, die mit organischen Bindemitteln gebunden sind, umfassen, auf einer Flachsleifmaschine befestigt, bei, z.B. 20,32 bis 33,02 m/s (4000 bis 6500 sfpm) rotiert und ausreichend lange in Kontakt mit dem Werkstück gebracht, um das Werkstück zu schleifen. Bei diesem Verfahren entfernt das Schleifrad Werkstückmaterial bei einer effektiven Materialentfernungsrate, die Schleiffläche des Schleifrads bleibt im Wesentlichen frei von Schleifabfällen und nachdem der Schleifvorgang fertig gestellt worden ist, ist das Werkstück im Wesentlichen frei von thermischen Schädigungen.

In einem bevorzugten Verfahren zum Tiefschleifen werden gesinterte, gebundene Schleifräder, die Agglomerate aus Körnung, die mit anorganischen Bindemitteln gebunden sind, die über einen elastischen Modulwert verfügen, der mindes-

tens 10 % niedriger liegt, als der elastische Modulwert eines ansonsten identischen, herkömmlichen Werkzeugs mit regelmäßig verteilten Schleifkörnungen innerhalb eines dreidimensionalen Verbundstoffes, und die eine Mindeststoßgeschwindigkeit von 20,32 m/s (4000 sfpm) aufweisen, auf einer Tiefschleifmaschine befestigt. Das gesinterte Schleifrad wird bei einer Drehzahl von 27,94 bis 43,18 m/s (5500 bis 8500 sfpm) rotiert und in ausreichend lange in Kontakt mit einem Werkstück gebracht, um das Werkstück zu schleifen. Durch dieses Verfahren entfernt das Schleifrad Werkstückmaterial bei einer effektiven Materialentfernungsrate und ist nach dem Schleifen im Wesentlichen frei von thermischen Schädigungen.

Die nachfolgenden Beispiele werden als Darstellung der Erfindung und nicht als Einschränkung bereitgestellt.

### **Beispiel 1**

Eine Reihe von agglomerierten Schleifkornproben, die anorganische Bindemittel enthalten, wurde in einem Rotationskalzinierer (elektrisch gefeuertes Modell Nr. HOU-5D34-RT-28, 1.200 °C Maximaltemperatur, 30 KW Leistungsaufnahme, ausgerüstet mit einem 183 cm (72 Zoll) langem, 14 cm (5,5 Zoll) Innendurchmesser hitzebeständigen Metallrohr, hergestellt von der Firma Harper International, Buffalo, New York, U.S.A.) vorbereitet. Das hitzebeständige Metallrohr wurde mit einem Silikonkarbidrohr mit denselben Dimensionen ausgetauscht und der Apparat wurde derart modifiziert, dass bei einer Maximaltemperatur von 1.550 °C betrieben werden konnte. Das Agglomerationsverfahren wurde unter atmosphärischen Bedingungen, bei einer Festwertregelung der Kontrollbereichstemperatur von 1.180 °C, mit einer Apparatrohr-Umdrehungsrate von 9 U/min, einem Rohrneigungswinkel von 2,5 bis 3 Grad und einer Materialzufuhr rate von 6 - 10 kg/Std. durchgeführt. Der Ertrag der verwendbaren, frei fließenden Körnchen (definiert als eine 12er Maschenweite

pro Pelletisierteller) betrug 60 bis 90 % des Gesamtgewichts des Ausgangsmaterials vor dem Kalzinierungsvorgang.

Die Agglomeratproben wurden aus einer einfachen Mischung aus Schleifkörnung, Bindemittel und Wassermischungen, die in Tabelle 1-1 beschrieben werden, hergestellt. Die für die Vorbereitung der Proben verwendeten Bindemittel mit gesinteter Bindung sind in Tabelle 2 aufgeführt. Die Proben wurden mit drei Arten von Schleifkörnungen vorbereitet: Elektrokorund 38A, Elektrokorund 32 A und gesintertes Sol-Gel-Alpha-Aluminiumoxid mit Norton SG Körnung, die von der Firma Saint-Gobain Ceramics & Plastics, Inc., Worcester, MA, U.S.A. bezogen wurden, in den in Tabelle 1 aufgeführten Korngrößen.

Nach der Agglomerierung im Rotationskalzinierer wurden die agglomerierten Schleifkörnungsproben gefiltert und auf lose Packdichte (LPD), Größenverteilung und Agglomeratstärke getestet. Diese Ergebnisse werden in Tabelle 1-1 aufzeigt.

**Tabelle 1-1 Agglomerierte Körneigenschaften**

| Probe Nr.<br>Körnung<br>flüssiges<br>Binde-<br>mittel    | Gewicht<br>t in<br>Kg<br>der<br>Mischung | Binde-<br>mittel-<br>gewicht<br>% (auf<br>Körn-<br>ungs-<br>basis) | Volumen<br>-<br>% des<br>Binde-<br>mittels <sup>a</sup> | LPD<br>g/cc<br>-12/<br>Pan | Durchschn.<br>Größen-<br>verteilung<br>in Mikron | Durchschn.<br>Größen-<br>verteilung<br>in<br>Netzgröße | Durch-<br>schn. %<br>an<br>relative<br>r<br>Dichte | Druck<br>bei 50%<br>der<br>gemahl.<br>Fraktion<br>in<br>MPa |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 1<br>60 Körn-<br>ung 38A<br>Wasser<br>A Binde-<br>mittel | 13,6<br>0,3<br>0,3                       | 2,0                                                                | 3,18                                                    | 1,46                       | 334                                              | -40/+50                                                | 41,0                                               | 0,6±0,1                                                     |
| 2                                                        |                                          | 6,0                                                                | 8,94                                                    | 1,21                       | 318                                              | -45/+50                                                | 37,0                                               | 0,5±0,1                                                     |

|                    |      |      |       |      |     |         |      |         |
|--------------------|------|------|-------|------|-----|---------|------|---------|
| 90<br>Körnung      | 13,6 |      |       |      |     |         |      |         |
| 38A<br>Wasser      | 0,4  |      |       |      |     |         |      |         |
| E Binde-<br>mittel | 0,9  |      |       |      |     |         |      |         |
| 3                  |      | 10,0 | 13,92 | 0,83 | 782 | -20/+25 | 22,3 | 2,6±0,2 |
| 120<br>Körnung     | 13,6 |      |       |      |     |         |      |         |
| 38A<br>Wasser      | 0,5  |      |       |      |     |         |      |         |
| C Binde-<br>mittel | 1,5  |      |       |      |     |         |      |         |
| 4                  |      | 6,0  | 8,94  | 1,13 | 259 | -50/+60 | 31,3 | 0,3±0,1 |
| 120<br>Körnung     | 13,6 |      |       |      |     |         |      |         |
| 32A<br>Wasser      | 0,4  |      |       |      |     |         |      |         |
| A Binde-<br>mittel | 0,9  |      |       |      |     |         |      |         |
| 5                  |      | 10,0 | 14,04 | 1,33 | 603 | -25/+30 | 37,0 | 3,7±0,2 |
| 60<br>Körnung      | 13,6 |      |       |      |     |         |      |         |
| 32A<br>Wasser      | 0,5  |      |       |      |     |         |      |         |
| E Binde-<br>mittel | 1,5  |      |       |      |     |         |      |         |
| 6                  |      | 2,0  | 3,13  | 1,03 | 423 | -40/+45 | 28,4 | 0,7±0,1 |
| 90<br>Körnung      | 13,6 |      |       |      |     |         |      |         |
| 32A<br>Wasser      | 0,3  |      |       |      |     |         |      |         |
| C Binde-<br>mittel | 0,3  |      |       |      |     |         |      |         |
| 7                  |      | 10,0 | 14,05 | 1,20 | 355 | -45/+50 | 36,7 | 0,5±0,1 |
| 90<br>Körnung      | 13,6 |      |       |      |     |         |      |         |

|                    |      |     |      |      |     |           |      |    |
|--------------------|------|-----|------|------|-----|-----------|------|----|
| SG                 | 0,5  |     |      |      |     |           |      |    |
| Wasser             |      |     |      |      |     |           |      |    |
| A Binde-<br>mittel | 1,4  |     |      |      |     |           |      |    |
| <b>8</b>           |      | 2,0 | 3,15 | 1,38 | 120 | -120/+140 | 39,1 | -- |
| 120 Kör-<br>nungSG | 13,6 |     |      |      |     |           |      |    |
| Wasser             | 0,3  |     |      |      |     |           |      |    |
| E Binde-<br>mittel | 0,3  |     |      |      |     |           |      |    |
| <b>9</b>           |      | 6,0 | 8,87 | 1,03 | 973 | -18/+20   | 27,6 | -- |
| 60 Kör-<br>nungSG  | 13,6 |     |      |      |     |           |      |    |
| Wasser             | 0,4  |     |      |      |     |           |      |    |
| C Binde-<br>mittel | 0,9  |     |      |      |     |           |      |    |

<sup>a</sup>. Das Volumen-%-Bindemittel ist ein Prozentanteil des Festkörpermateri- als innerhalb der Körnchen (d.h. Bindemittel und Körnung) nach dem Feuern und enthält nicht die Volumen-%-Porosität.

Das Volumen-%-Bindemittel der gefeuerten Agglomerate wurde durch Verwendung des durchschnittlichen LOI (loss on ignition - Glühverlust) des Bindemittel-Rohmaterials errechnet.

Die Größe der gesinterten Agglomerate wurde durch US Standardtestsiebe festgelegt, die an einem Vibrationssiebapparat (Ro-Tap; Modell RX-29; W.S. Tyler Inc., Mentor, OH, U.S.A.) befestigt wurden. Die Siebmaschengrößen lagen in einem Bereich von 18 bis 140, je nach Größe der verschiedenen Proben. Die lose Packdichte der gesinterten Agglomerate (LPD) wurde durch das American National Standard Verfahren für die Raumdichte von Schleifkörnungen gemessen.

Die anfängliche, durchschnittlich relative Dichte, ausgedrückt in einer Prozentzahl, wurde durch das Teilen der LPD ( $\_$ ) durch eine theoretische Dichte der Agglomerate ( $\_0$ ) unter Annahme einer Nullporosität ermittelt. Die theoretische Dichte wurde gemäß dem Verfahren der volumetrischen Mischungsregel vom Gewichtsprozentanteil und der spezifischen Schwerkraft des Bindemittels und der in den Agglomeraten enthaltenen Schleifkörnung ermittelt.

Die Stärke der Agglomerate wurde durch einen Verdichtungs-test gemessen. Die Verdichtungstests wurden mithilfe eines geschmierten Matrizenstahls mit einem Durchmesser von 2,54 cm (1 Zoll), der an einer Instron® universellen Testmaschine (Modell MTS 1125, 9072 Kg (20.000 lbs) befestigt ist, zusammen mit einer 5-Gramm Probe eines Agglomerats durchgeführt. Die Agglomeratprobe wurde in die Matriz e gegossen und leicht durch Anstoßen der Matrizenaußenseite eingeebnet. Ein Oberstempel wurde eingesetzt und ein Querhaupt abgesenkt, bis eine Kraft („anfängliche Position“) am Aufzeichnungsgerät beobachtet wurde. Die Probe wurde mit einem Druck bei einer konstanten Steigerungsrate (2 mm/min) bis zu einem Maximaldruck von 180 MPa beaufschlagt. Das als Verschiebung des Querhauptes (das Sieb) beobachtete Volumen der Agglomeratprobe (die verdichtete LPD der Probe) wurde als die relative Dichte als eine Funktion des Protokolls des beaufschlagten Druckes aufgezeichnet. Das Restmaterial wurde dann durchgeseibt, um den Prozentsatz des Stoßbruchanteils festzustellen. Verschiedene Drücke wurden gemessen, um ein Diagramm des Verhältnisses zwischen dem Protokoll des beaufschlagten Druckes und des Prozentsatzes des Stoßbruchanteils zu ermitteln. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1-1 als das Protokoll der Drücke an dem Punkt angegeben, an dem der Stoßbruchanteil mit 50 Gew.-% der Agglomeratprobe gleichsteht. Bei dem Stoßbruchanteil handelt es sich um das Verhältnis des Gewichts der zerstoßenen Partikel, die durch das kleinere Sieb passieren zum Gewicht des anfänglichen Probengewichts.

Diese Agglomerate hatten eine LPD, Größenverteilung und Formkraft sowie Körnchengrößen-Eigenbehalteigenschaften, die für die Anwendung in der gewerblichen Herstellung von Schleifrädern geeignet sind. Die fertigen, gesinterten Agglomerate hatten dreidimensionale Formen, die zwischen dreieckig, kugelförmig, würfelförmig, rechteckig sowie anderen geometrischen Formen variierten. Die Agglomerate bestanden aus einer Vielzahl an individuellen Schleifkörnungen (z.B. 2 bis 20 Korn), die durch Glasbindemittel von Körnungs- zu Körnungskontaktpunkten zusammen gebunden waren.

Die Agglomeratkörnchengröße erhöhte sich mit dem Betrag an Bindematerial in den Agglomeratkörnchen über einen Bereich von 3 bis 20 Gew.-% des Bindemittels hinweg.

Eine ausreichende Verdichtungsstärke wurde bei allen Proben, 1 - 9, beobachtet, was darauf hindeutet, dass sich das Glasbindemittel voll entwickelt hatte und zum Fließen kam, um eine wirksame Bindung zwischen den Schleifkörnungen innerhalb des Agglomerates zu erzeugen. Die mit 10 Gew.-% an Bindemittel hergestellten Agglomerate hatten eine wesentlich höhere Verdichtungsstärke, als diejenigen, die mit 2 oder 6 Gew.-% an Bindemittel hergestellt worden waren.

Niedriger LPD Werte deuteten auf einen höheren Grad an Agglomeration hin. Die LPD der Agglomerate reduzierte sich mit zunehmendem Gew.-% an Bindemittel und mit abnehmender Schleifkorngröße. Relativ große Unterschiede zwischen 2 und 6 Gew.-% an Bindemittel verglichen mit relativ kleinen Unterschieden zwischen 6 und 10 Gew.-% an Bindemittel deuten auf ein Gew.-% an Bindemittel von höchstens 2 Gew.-%, was zur Bildung von Agglomeraten unzureichend sein kann.

Bei höheren Gewichtsprozentanteilen über etwa 6 Gew.-%, kann es sein, dass der Zusatz von mehr Bindematerial bei

der Herstellung von wesentlich größeren oder stärkeren Agglomeraten nicht von Vorteil ist.

Wie die Ergebnisse der Agglomeratkörnchengröße hindeuten, hatten die Proben mit Bindemittel C, welche die niedrigste Flüssigglasviskosität bei der Agglomerierungstemperatur aufwiesen, die niedrigste LPD der drei Bindemittel. Die Schleifart hatte keinen erheblichen Einfluss auf die LPD.

**Tabelle 1-2: Bindemittel, die in den gesinterten Agglomeraten verwendet werden**

| Gefeuerte<br>Verbundstoff-<br>elemente <sup>b</sup>                                    | A Binde-<br>mittel-<br>Gew.-%<br>(A-1<br>Binde-<br>mittel) <sup>a</sup> | B Binde-<br>mittel-<br>Gew.-% | C Binde-<br>mittel-<br>Gew.-% | D Binde-<br>mittel-<br>Gew.-% | E Binde-<br>mittel-<br>Gew.-% | F Binde-<br>mittel-<br>Gew.-% | G Binde-<br>mittel-<br>Gew.-% |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Glasbilder<br>(SiO <sub>2</sub> + B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )                      | 69 (72)                                                                 | 69                            | 71                            | 73                            | 64                            | 68                            | 69                            |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                                         | 15 (11)                                                                 | 10                            | 14                            | 10                            | 18                            | 16                            | 9                             |
| Erdalkali RO<br>(CaO, MgO)                                                             | 5-6 (7-8)                                                               | <0,5                          | <0,5                          | 1-2                           | 6-7                           | 5-6                           | <1                            |
| Alkali R <sub>2</sub> O<br>(Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O,<br>Li <sub>2</sub> O) | 9-10 (10)                                                               | 20                            | 13                            | 15                            | 11                            | 10                            | 7-8                           |
|                                                                                        |                                                                         |                               |                               |                               |                               |                               |                               |
| Spez.<br>Schwerkraft<br>g/cc                                                           | 2,40                                                                    | 2,38                          | 2,42                          | 2,45                          | 2,40                          | 2,40                          | 2,50                          |
| Geschätzte<br>Viskosität<br>(Pascalsek.)<br>bei 1180 °C                                | 2559                                                                    | 3                             | 34,5                          | 85                            | 5530                          | 780                           | N/Z                           |

a. Die A-1 Bindemittelvariation in Klammern wurde für die Proben des Beispiels 2 verwendet.

b. Verunreinigungen (z.B. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und TiO<sub>2</sub>) sind zu etwa 0,1 - 2 % vorhanden.

**Beispiel 2**Schleifkörnungs-/Anorganische Bindemittelagglomerate

Gesinterte Bindemittel wurden zur Herstellung der Agglomeratschleifkörnungsproben AV2 und AV3 verwendet. Die Agglomerate wurde gemäß des in Beispiel 1 beschriebenen Rotationskalzinierungsverfahrens unter Anwendung der nachfolgenden beschriebenen Materialien vorbereitet. Die AV2-Agglomerate wurden mit 3 Gew.-% Bindemittel (Tabelle 1-2) hergestellt. Die Kalziniertemperatur wurde auf 1250 °C eingestellt, der Rohrwinkel betrug 2,5 Grad und die Rotationsgeschwindigkeit betrug 5 U/min. Die AV3-Agglomerate wurden mit 6 Gew.-% E Bindemittel (Tabelle 1-2) bei einer Kalziniertemperatur von 1200 °C, mit einem Rohrwinkel von 2,5 - 4 Grad und einer Rotationsgeschwindigkeit von 5 U/min hergestellt. Bei der Schleifkörnung handelte es sich um eine geschmolzene Aluminiumoxid 38A Schleifkörnung, 80er Korngröße, die von der Firma Saint-Gobain Ceramics & Plastics, Inc., Worcester, MA, U.S.A. bezogen wurde.

Die gesinterten Kornagglomerate wurden auf lose Packdichte, relative Dichte und Größe getestet. Die Testergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle 2-1 aufgeführt. Die Agglomerate bestanden aus einer Vielzahl an individuellen Schleifkorngrößen (z.B. 2 bis 40er Korngröße), die durch gesinterte Bindemittel an Korn zu Korn Kontaktpunkten mit sichtbaren Hohlrumbereichen zusammen gebunden waren. Die Mehrzahl der Agglomerate war ausreichend resistent gegen eine Verdichtung zur Einbehaltung eines dreidimensionalen Charakters, nachdem diese dem Schleifradmischen und den Formgussverfahren ausgesetzt waren.

**Tabelle 2-1 Schleifkörnungs- /Gesinterte  
Bindemittelagglomerate**

| <u>Proben</u><br><u>Nr.</u><br><u>Mischung</u><br>:<br><u>Körnung.</u><br><u>Binde-</u><br><u>mittel</u>              | Gewicht<br>(kg)<br>Der<br>Mischun<br>g | Gew.-%<br>der<br>Schleif-<br>körnung | Binde-<br>mittel-<br>Gew.-% | Volumen-<br>% des<br>Binde-<br>mittels <sup>a</sup> | LPD<br>g/cc<br>-20/<br>+45<br>Netzwerk-<br>bruchteil | Durch-<br>schnittl.<br>Größe in<br>Mikron<br>(Netz-<br>werk) | Durchschn.<br>% der<br>relativen<br>Dichte |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <u>AV2</u><br><u>80er</u><br><u>Korn-</u><br><u>größe</u><br><u>38A</u><br><u>A</u><br><u>Binde-</u><br><u>mittel</u> | 84,94<br>(38.53)                       | 94,18                                | 2,99                        | 4,81                                                | 1,036                                                | 500µ<br>(-20/+45)                                            | 26,67                                      |
| <u>AV3</u><br><u>80er</u><br><u>Korn-</u><br><u>größe</u><br><u>38A</u><br><u>E Binde-</u><br><u>mittel</u>           | 338,54<br>(153,56)                     | 88,62                                | 6,36                        | 9,44                                                | 1,055                                                | 500µ<br>-20/+45                                              | 27,75                                      |

a. Die Prozentzahlen beruhen auf einer Festkörperbasis und schließen lediglich das gesinterte Bindemittel und die Schleifkörnung ein und schließen jede Porosität innerhalb der Agglomerate aus. Es wurden provisorische, organische Bindemittel verwendet, um die gesinterte Bindung an die Schleifkörnung zu haften (für AV2, wurde ein 2,83 Gew.-% AR30 flüssiges Proteinbindemittel verwendet und für AV3 wurde ein 3,77 Gew.-% AR30 flüssiges Proteinbindemittel verwendet). Die provisorischen, organischen Bindemittel wurden während dem Sintern der Agglomerate im Rotationskalzinierer ausgebrannt und das endgültige Gew.-% an Bindemittel schließt diese nicht ein.

### Schleifräder

Die Agglomeratproben AV2 und AV3 wurden verwendet, um experimentelle Schleifräder (Typ 1) (fertige Größe 12,7 x 1,27 x 3,18 cm) (5,0 x 0,5 x 1,250 Zoll) herzustellen. Die experimentellen Schleifräder wurden durch Hinzufügen der Agglomerate zu einem Rotationsblattrührer (ein Foote-Jones Rührwerk, bezogen von der Firma Illinois Gear, Chicago, IL, U.S.A.) und durch Mischen eines flüssigen Phenolharzes (V-1181 Harz der Firma Honeywell International Inc., Friction Division, Troy, NY, U.S.A.) (22 Gew.-% an Harzmischung) mit den Agglomeraten hergestellt. Pulverphenolharz (Durez Varcum® Harz 29-717, bezogen von der Firma Durez Corporation, Dallas, TX, U.S.A.) (78 Gew.-% an Harzmischung) wurde hinzugefügt, um die Agglomerate zu befeuchten. Die Gewichtsprozentmengen der Schleifagglomerate und der Harzbindung, die dazu verwendet wurde, diese Schleifräder herzustellen sowie die Zusammensetzung der fertigen Schleifräder (einschließlich Volumen-% an Schleifkorn, Bindung und Porosität in den ausgehärteten Schleifrädern) sind in der nachstehenden Tabelle 2-2 aufgeführt.

Die Materialien wurden für einen ausreichend langen Zeitraum gemischt, um eine einheitliche Mischung zu erhalten und um den Betrag an loser Bindung auf ein Minimum zu beschränken. Nach dem Mischen wurden die Agglomerate durch ein Sieb mit einem 24er Netzwerk gesiebt, um evtl. vorhandene, größere Harzklumpen zu zerbrechen. Die einheitliche Agglomerat- und Bindungsmischung wurde in Gussformen gegeben und diese mit Druck beaufschlagt, um Schleifräder der grünen Phase (nicht ausgehärtet) zu erhalten. Diese grünen Schleifräder wurden aus den Gussformen entfernt, in beschichtetes Papier gewickelt und durch Erwärmen auf eine Maximaltemperatur von 160 °C ausgehärtet, abgestuft, fertig bearbeitet und gemäß den gewerblichen Schleifrad-Herstellungsverfahren, die gemäß dem Stand der Technik bekannt

sind, untersucht. Die fertigen elastischen Schleifradmodule wurden gemessen und die Ergebnisse in der nachstehenden Tabelle 2-2 aufgeführt.

Der elastische Modul wurde mit einer Grindosonic Maschine durch die in J. Peters, „Sonic Testing of Grinding Wheels“ Advances in Machine Tool Design and Research, Pergamon Press, 1968, gemessen.

**Tabelle 2- 2 Schleifradzusammensetzungen**

| Wheel Sample<br>(Agglomerate)<br>Grade                                            | Elastischer<br>Modul<br>G-Pascal | Ausge-<br>härtete<br>Dichte<br>g/cc           | <u>Schleifradzusammenset-<br/>zungs-<br/>Volumen-%</u><br>Schleif- Bindung<br>Porosität<br>körnung Gesamt <sup>c</sup><br>(organisch) |                                 |                                        | Gew.-%<br>Agglomerat                   | Gew.-%<br>Bindun<br>g            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|
| <b>Experi-<br/>mentelle<br/>Schleif-räder</b>                                     |                                  |                                               |                                                                                                                                       |                                 |                                        |                                        |                                  |
| <b>1-1 (AV3)<br/>A</b>                                                            | 3,5                              | 1,437                                         | 30                                                                                                                                    | 18<br>(14,8)                    | 52                                     | 86,9                                   | 13,1                             |
| <b>1-2 (AV3)<br/>C</b>                                                            | 4,5                              | 1,482                                         | 30                                                                                                                                    | 22<br>(18,8)                    | 48                                     | 84,0                                   | 16,0                             |
| <b>1-3 (AV3)<br/>E</b>                                                            | 5,0                              | 1,540                                         | 30                                                                                                                                    | 26<br>(22,8)                    | 44                                     | 81,2                                   | 18,8                             |
| <b>1-4 (AV2)<br/>A</b>                                                            | 5,5                              | 1,451                                         | 30                                                                                                                                    | 18<br>(16,7)                    | 52                                     | 85,1                                   | 14,9                             |
| <b>1-5 (AV2)<br/>E</b>                                                            | 7,0                              | 1,542                                         | 30                                                                                                                                    | 26<br>(24,7)                    | 44                                     | 79,4                                   | 20,6                             |
| <b>Vergleich-bare<br/>Schleifräder<sup>a</sup><br/>gewerbliche<br/>Bestimmung</b> | <b>Elas-tischer<br/>Modul</b>    | <b>Ausge-<br/>härtete<br/>Dichte<br/>g/cc</b> | <b>Körn-<br/>ung<br/>Vol.-%</b>                                                                                                       | <b>Bin-<br/>dung<br/>Vol.-%</b> | <b>Poro-<br/>sität<br/>Vol.-<br/>%</b> | <b>Gew.-%<br/>Schleif-<br/>körnung</b> | <b>Gew.-<br/>% Bin-<br/>dung</b> |
| <b>C-1</b>                                                                        | 13                               | 2,059                                         | 48                                                                                                                                    | 17                              | 35                                     | 89,7                                   | 10,3                             |

|                                                                      |      |       |      |      |      |      |      |
|----------------------------------------------------------------------|------|-------|------|------|------|------|------|
| 38A80-G8 B24                                                         |      |       |      |      |      |      |      |
| C-2<br>38A80- K8 B24                                                 | 15   | 2,54  | 48   | 22   | 30   | 87,2 | 12,8 |
| C-3<br>38A80-O8 B24                                                  | 17   | 2,229 | 48   | 27   | 25   | 84,4 | 15,6 |
| C-4<br>53A80J7<br>Schellack-<br>mischung                             | 10,8 | 1,969 | 50   | 20   | 30   | 89,2 | 10,8 |
| C-5<br>53A80L7<br>Schellack-<br>mischung                             | 12,0 | 2,008 | 50   | 24   | 26   | 87,3 | 12,7 |
| C-6 <sup>b</sup><br>National<br>Schellack-<br>bindung<br>A80-Q6ES    | 9,21 | 2,203 | 48,8 | 24,0 | 27,2 | 86,9 | 13,1 |
| C-7 <sup>b</sup><br>Tyrolit<br>Schellack-<br>bindung<br>FA80-11E15SS | 8,75 | 2,177 | 47,2 | 27,4 | 25,4 | 84,9 | 15,1 |

a. Die C-1, C-2 und C-3 Schleifräder sind aus einer Phenolharzbindung hergestellt und diese Schleifradspezifikationen sind gewerblich bei der Firma Saint-Gobain Abrasives, Inc, erhältlich. Die C-4 und C-5 Schleifräder sind aus einer Schellackmischung, gemischt mit einem geringen Betrag an Phenolharzbindung hergestellt. Diese Schleifradspezifikationen sind gewerblich von der Firma Saint-Gobain Abrasives, Inc., Worcester, MA, U.S.A., erhältlich. Diese Proben, C-4 und C-5, wurden im Labor gemäß diesen gewerblichen Spezifikationen hergestellt und auf einen endgültigen Schleifradhärtegrad von jeweils J und L ausgehärtet.

b. Die C-6 und C-7 Schleifräder wurden nicht in den Schleiftests geprüft. Diese vergleichbaren Schleifradspezifikationen sind gewerblich von der Firma National Grinding Wheel Company/Radiac, Salem, IL, U.S.A. und der Firma Tyrolit N.A., Inc., Westboro, MA, U.S.A. erhältlich.

c. Der "Gesamt-" Volumenprozentsatz der Mischung ist die Summe aus der Menge an gesintertem Bindemittel, die zum Agglomerieren der Körnung verwendet wird und der Menge an organischer Harzbindung, die zur Herstellung des Schleifrads verwendet wird. Der "(organische)" Volumenprozentsatz der Bindung ist der Anteil des Gesamtvolumenprozentsatzes der Bindung, die aus dem organischen Harz besteht, das den Agglomeraten zur Herstellung des Schleifrads hinzugefügt wird.

### **Beispiel 3**

Die experimentellen Schleifräder aus Beispiel 2 wurden in einem simulierten Walzenschleiftest im Vergleich zu den gewerblich erhältlichen Schleifrädern geprüft, die mit Phenolharz gebunden sind (C-1-C-3, bezogen von der Firma Saint-Gobain Abrasives, Inc., Worcester, MA, U.S.A.). Als Vergleichsschleifräder wurden ebenfalls mit Schellack gebundene Schleifräder geprüft, die in dem Labor (C-4 und C-5) aus einer Schellackharzmischung vorbereitet wurden.

Die Vergleichsschleifräder wurden deshalb ausgewählt, weil sie gleichwertige Zusammensetzungen, Strukturen und physikalische Eigenschaften gegenüber den in den gewerblichen Walzenschleifverfahren verwendeten Schleifrädern hatten.

Um ein Walzenschleifen in einer Laboreinrichtung zu simulieren, wurde ein kontinuierliches Spannflächenschleifverfahren auf einer Flachsleifmaschine durchgeführt. Die

nachfolgenden Schleifkonditionen wurden in den Tests eingesetzt.

Schleifmaschine: Brown & Sharpe Flachscheifer

Betriebsart: Zwei kontinuierliche Spannflächenschleifabläufe, Umkehr am Hubende vor dem Kontaktverlust mit dem Werkstück

Kühlmittel: Trim Clear 1:40 Verhältnis vom Kühlmittel zu entionisiertem Wasser

Werkstück: 16 x 4 Zoll 4340 Stahl, Härtegrad Rc50

Werkstückgeschwindigkeit: 25 Füße/min

Schleifradgeschwindigkeit: 5730 U/min

Gleichlaufzufuhr: 0,100 Zoll gesamt

Schnitttiefe: 0,0005 Zoll an jedem Ende

Kontaktzeit: 10,7 Minuten

Abrichten: Einzeldiamantspitze bei einem 10 Zoll/Min Quervorschub, 0,001 Zoll Komp.

Die Schleifradschwingung während dem Schleifen wurde mit dem IRD-Mechanalysis-Gerät (Analysemodell 855 Analyser/Stabilisator, bezogen von der Firma Entek Corporation, North Westerville, Ohio, U.S.A.) gemessen. Bei einem ersten Schleifablauf wurde der Schwingungsgrad bei verschiedenen Frequenzen (als Geschwindigkeit in Zoll/Sekunden-Einheiten) mithilfe eines schnellen Fourier-Transformationsverfahrens nach jeweils zwei und acht Minuten nach dem Ablauf gemessen und der zeitabhängige Anstieg des Schwingungsgrades bei einer ausgewählten Zielfrequenz (57000 cpm, der während dem ersten Ablauf beobachteten Frequenz) während der gesamten 10,7 Minuten, während denen das Schleifrad in Kontakt mit dem Werkstück stand, aufgezeichnet. Die Schleifradverschleißraten (SVR), Materialentfernungsraten (MER) und andere Schleifvariablen wurden aufgezeichnet, während die Schleifabläufe durchgeführt wurden. Diese Daten, zusammen mit der Schwingungsamplitude für jedes Schleifrad nach 9 - 10 Minuten eines kontinuierlichen Kontaktschleifens, werden in der nachstehenden Tabelle 3-1 aufgeführt.

**Tabelle 3-1 Schleiftestergebnisse**

| Schleifradproben<br>(Agglomerat)<br>Härtegrad                           | Schwing-<br>ungs-<br>amplitude<br>9 - 10<br>Min.<br>Zoll/Sek | SVR<br>Zoll <sup>3</sup> /Min | Leist-<br>ung<br>9 - 10<br>min.<br>PS | SGE<br>J/mm <sup>3</sup> | G-Faktor<br>MER/RVG |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|---------------------|
| <b>Experimentelle<br/>Schleifräder</b>                                  |                                                              |                               |                                       |                          |                     |
| <b>1-1 (AV3)<br/>A</b>                                                  | 0,010                                                        | 0,00215                       | 10,00                                 | 22,70                    | 34,5                |
| <b>1-2 (AV3)<br/>C</b>                                                  | 0,011                                                        | 0,00118                       | 15,00                                 | 29,31                    | 63,3                |
| <b>1-3 (AV3)<br/>E</b>                                                  | 0,021                                                        | 0,00105                       | 22,00                                 | 43,82                    | 71,4                |
| <b>1-4 (AV2)<br/>A</b>                                                  | 0,011                                                        | 0,00119                       | 10,50                                 | 23,67                    | 62,7                |
| <b>1-5 (AV2)<br/>E</b>                                                  | 0,013                                                        | 0,00131                       | 21,00                                 | 40,59                    | 56,6                |
| <b>Vergleich-bare<br/>Schleifräder<br/>(gewerbliche<br/>Bestimmung)</b> |                                                              |                               |                                       |                          |                     |
| <b>C-1<br/>38A80-G8 B24</b>                                             | 0,033                                                        | 0,00275                       | 10,00                                 | 33,07                    | 26,5                |
| <b>C-2<br/>38A80- K8 B24</b>                                            | 0,055                                                        | 0,00204                       | 11,00                                 | 25,33                    | 36,8                |
| <b>C-3<br/>38A80-O8 B24</b>                                             | 0,130                                                        | 0,00163                       | 12,50                                 | 22,16                    | 46,2                |
| <b>C-4<br/>53A80J7<br/>Schellack-<br/>mischung</b>                      | 0,022                                                        | 0,00347                       | 10,00                                 | 25,46                    | 20,8                |
| <b>C-5<br/>53A80L7</b>                                                  | 0,052                                                        | 0,00419                       | 11,50                                 | 26,93                    | 17,1                |

|                        |  |  |  |  |  |
|------------------------|--|--|--|--|--|
| Schellack-<br>mischung |  |  |  |  |  |
|------------------------|--|--|--|--|--|

Es ist ersichtlich, dass die experimentellen Schleifräder den niedrigsten Schleifradverschleißgrad und die niedrigsten Schwingungsamplitudenwerte aufweisen. Die vergleichbaren, gewerblichen, aus Phenolharzbindungen (38A80-G8 B24, -K8 B24 und -O8 B24) hergestellten Schleifräder wiesen zwar niedrige Schleifradverschleißgrade auf, hatten jedoch unannehmbar hohe Schwingungsamplitudenwerte. Diese Schleifräder würden voraussichtlich eine Ratterschwingung in einem tatsächlichen Walzenschleifverfahren verursachen. Die vergleichbaren Schleifräder, die aus Schellackharzmischungen (53A80J7 Schellackmischung und 53A80L7 Schellackmischung) hergestellt sind, wiesen hohe Schleifradverschleißraten, jedoch annehmbar niedrige Schwingungsamplitudenwerte auf. Die experimentellen Schleifräder waren sämtlichen vergleichbaren Schleifrädern über einen Leistungspegelbereich (nahezu konstante Schwingungsamplitude bei 10 - 23 PS und konsistent niedrigerer SVR) hinaus überlegen und die experimentellen Schleifräder wiesen ebenfalls ausgezeichnete G-Faktoren (Materialentfernungsrate/Schleifradverschleißrate) auf, wodurch eine ausgezeichnete Leistung und Schleifradstandzeit nachgewiesen werden konnte.

Es wird davon ausgegangen, dass der relativ niedrige, elastische Modul und die relative hohe Porosität der experimentellen Schleifräder ein ratterresistentes Schleifrad ohne Verlust von Schleifradstandzeit und Schleifleistung erzeugt. Überraschenderweise wurde beobachtet, dass die experimentellen Schleifräder effektiver schleifen, als Schleifräder, die höhere Volumenprozentanteile an Körnung enthalten und einen härteren Schleifradhärtegrad aufweisen.

Obwohl die experimentellen Schleifräder so konstruiert wurden, um einen relativ weichen Härtegrad zu erhalten

(z.B. Härtegrad A - E auf der Schleifrad-Härtegradskala der Firma Norton), schleifen diese aggressiver, mit weniger Schleifradverschleiß, wodurch ein größerer G-Faktor erzielt wird, als mit den vergleichbaren Schleifrädern, die einen erheblich härteren Härtegradwert (z.B. Härtegrade G - O auf der Schleifrad-Härtegradskala der Firma Norton) aufweisen. Diese Ergebnisse waren bedeutsam und unerwartet.

#### **Beispiel 4**

Die experimentellen Schleifräder, die agglomerierte Körnungen enthalten, wurden in einem gewerblichen Herstellungsverfahren vorbereitet und in einem gewerblichen Walzenschleifverfahren getestet, wobei Schellack-gebundene Schleifräder bereits in der Vergangenheit verwendet wurden.

#### Schleifkörnungs-/anorganische Bindemittelagglomerate

Gesinterte Bindemittel (A Bindemittel von Tabelle 1-2) wurden verwendet, um das agglomerierte Schleifkörnungsproben AV4 herzustellen. Die Probe AV4 war der Probe AV2 ähnlich, mit der Ausnahme, dass eine gewerbliche Losgröße für Probe AV4 hergestellt wurde. Die Agglomerate wurden gemäß dem in Beispiel 1 beschriebenen Rotationskalzinierverfahrens vorbereitet. Die Schleifkörnung bestand aus einer geschmolzenen Aluminiumoxid 38A Schleifkörnung mit 80er Korngröße, bezogen von der Firma Saint-Gobain Ceramics & Plastics, Inc., Worcester, MA, U.S.A. und 3 Gew.-% an A Bindemittel (Tabelle 1-2) wurde verwendet. Die Kalzinier-temperatur wurde auf 1250 °C eingestellt, der Rohrwinkel betrug 2,5 Grad und die Rotationsgeschwindigkeit betrug 5 U/min. Die Agglomerate wurden mit einer 2 %igen Silanlösung (bezogen von der Firma Crompton Corporation, South Charleston, West Virginia, U.S.A.) behandelt.

#### Schleifräder

Die Agglomeratprobe AV4 wurde verwendet, um Schleifräder (fertige Größe 91,4 Durchmesser x 10,2 Breite x 50,8 cm mittige Bohrung (Typ 1) (35 Zoll x 4 Zoll x 20 Zoll) herzustellen. Die experimentellen Schleifräder wurden mit gewerblicher Herstellungsausrüstung durch das Mischen der Agglomerate mit flüssigem Phenolharz (V-1181 Harz von Honeywell International Inc., Friction Division, Troy, NY, U.S.A.) (22 Gew.-% an Harzmischung) und Pulverphenolharz (Durez Varcum® Harz 29-717, bezogen von der Firma Durez Corporation, Dallas, TX, U.S.A.) (78 Gew.-% an Harzmischung) hergestellt. Die Gewichtsprozentmengen der Schleifagglomerate und der Harzbindung, die in diesen Schleifrädern verwendet wurden, sind in der nachfolgenden Tabelle 4-1 aufgeführt. Die Materialien wurden für einen ausreichend langen Zeitraum gemischt, um eine einheitliche Mischung zu erhalten. Das einheitliche Agglomerat und die Bindungsmischung wurde in Gussformen gegeben und die Gussform mit Druck beaufschlagt, um Schleifräder der grünen Phase (nicht ausgehärtet) zu bilden. Diese grünen Schleifräder wurden aus den Gussformen entfernt, in beschichtetes Papier gewickelt und durch Erwärmen auf eine Maximaltemperatur von 160 °C ausgehärtet, abgestuft, fertig bearbeitet und gemäß den gewerblichen Schleifrad-Herstellungsverfahren, die gemäß dem Stand der Technik bekannt sind, untersucht. Die fertigen elastischen Schleifradmodule und die gefeuerte Dichte wurden gemessen und die Ergebnisse in der nachstehenden Tabelle 4-1 aufgeführt. Die Schleifradstoßgeschwindigkeit wurde gemessen und die maximale Betriebsgeschwindigkeit bei 9500 sfpm festgestellt.

Die Zusammensetzung der Schleifräder (einschließlich Volumen-% der Schleifkörnung, Bindung und Porosität der ausgehärteten Schleifräder) werden in Tabelle 4-1 beschreiben.

Diese Schleifräder wiesen eine sichtbar offene, kontinuierliche, relative einheitliche Porositätsstruktur, die bei

organisch gebundenen Schleifrädern, die zuvor in einem gewerblichen Verfahren hergestellt wurden, unbekannt war.

**Tabelle 4-1 Schleifradzusammensetzung**

| Schleifradproben<br>(Agglomerat)<br>Härtegrad,<br>Struktur | Elastische<br>r Modul<br>G-Pascal | Ausge-<br>härtete<br>Dichte<br>g/cc | <u>Schleifradzusammensetzung</u> |                                               |           | Gew.-%<br>Agglom-<br>erat | Gew.-%<br>Bindun<br>g |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------|-----------|---------------------------|-----------------------|
|                                                            |                                   |                                     | <u>Volumen-%</u>                 |                                               |           |                           |                       |
|                                                            |                                   |                                     | Schleif-<br>körnung              | Bindung<br>Gesamt <sup>3</sup><br>(organisch) | Porosität |                           |                       |
| <b>Experi-<br/>mentelle<br/>Schleif-räder</b>              |                                   |                                     |                                  |                                               |           |                           |                       |
| <b>2-1 (AV4)<br/>B14</b>                                   | 4,7                               | 1,596                               | 36                               | 14<br>(12,4)                                  | 50        | 90,2                      | 9,8                   |
| <b>2-2 (AV4)<br/>C14</b>                                   | 5,3                               | 1,626                               | 36                               | 16<br>(14,4)                                  | 48        | 88,8                      | 11,2                  |
| <b>2-3 (AV4)<br/>D14</b>                                   | 5,7                               | 1,646                               | 36                               | 18<br>(16,4)                                  | 46        | 87,4                      | 12,6                  |

a. Der "Gesamt-" Volumenprozentsatz der Mischung ist die Summe aus der Menge an gesintertem Bindemittel, die zum Agglomerieren der Körnung verwendet wird und der Menge an organischer Harzbindung, die zur Herstellung des Schleifrads verwendet wird. Der "(organische)" Volumenprozentsatz der Bindung ist der Anteil des Gesamtvolumenprozentsatzes der Bindung, die aus dem organischen Harz besteht, das den Agglomeraten zur Herstellung des Schleifrads hinzugefügt wird.

### Schleiftests

Diese experimentellen Schleifräder wurden in zwei gewerblichen Schleifverfahren zur Endbearbeitung von Kaltwalzwerken getestet. Nach dem Schleifen werden diese Schmiedestahlwalzen zum Walzen und zur Endbearbeitung der Oberfläche von Blech (z.B. Stahl) verwendet. Bei gewerblichen Verfahren werden gewöhnlich mit Schellack gebundene gewerbliche Schleifräder (eine 80er Korngröße Aluminiumoxid-Schleifkör-

nung ist gebräuchlich) eingesetzt und diese Schleifräder werden normalerweise bei 6500 sfpm mit einer maximalen Geschwindigkeit von etwa 8000 sfpm betrieben. Die Schleifkonditionen werden nachstehend aufgeführt und die Testergebnisse werden in den Tabellen 4-2 und 4-3 aufgeführt.

Schleifkonditionen A:

Schleifmaschine: Farrell Walzenschleifer, 40 PS  
Kühlmittel: Stuart Synthetisch mit Wasser  
Schleifradgeschwindigkeit: 780 U/min  
Werkstück: Schmiedestahl, Tandemwalzwerk, Härte 842 Equo-  
tip, 208 x 64 cm (82 x 25 Zoll)  
Werkstück- (Walzen-) Geschwindigkeit: 32 U/min  
Hub: 100 Zoll/min  
Kontinuierliche Zuführung: 0,0009 Zoll/min  
Endzuführung: 0,0008 Zoll/min  
Erforderliche Oberflächenbearbeitung: 18-30 Ra Rauheit, 160  
maximale Spitze

Schleifkonditionen B:

Schleifmaschine: Pomini Walzenschleifer, 150 PS  
Kühlmittel: Stuart Synthetisch mit Wasser  
Schleifradgeschwindigkeit: 880 U/min  
Werkstück: Schmiedestahl, Tandemwalzwerk, Härte 842 Equo-  
tip, 208 x 64 cm (82 x 25 Zoll)  
Werkstück- (Walzen-) Geschwindigkeit: 32 U/min  
Hub: 100 Zoll/min  
Kontinuierliche Zuführung: 0,00011 Zoll/min  
Endzuführung: 0,002 Zoll/min  
Erforderliche Oberflächenbearbeitung: 18-30 Ra Rauheit,  
160-180 maximale Spitzen

**Tabelle 4-2 Schleiftestergebnisse/Schleifkonditionen A**

| Probe<br>Test- parameter | Änder-ung<br>des Durch-<br>messers<br>Zoll | G-Faktor | Schleif-<br>rad-U/min | Schleif-<br>rad-<br>Ampere | Anzahl der<br>Schleif-<br>hübe | Walzen-<br>rauigkeit<br>Ra | Anzahl der<br>Spitzen<br>auf Walze |
|--------------------------|--------------------------------------------|----------|-----------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
|--------------------------|--------------------------------------------|----------|-----------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------------------------|

|                                        |        |       |     |         |    |    |     |
|----------------------------------------|--------|-------|-----|---------|----|----|-----|
|                                        |        |       |     |         |    |    |     |
| <b>Experi-mentelles Schleifrad 2-1</b> |        |       |     |         |    |    |     |
| Schleifrad-<br>verschleiß              | 0,12   | 0,860 | 780 | 75      | 10 | 28 | 171 |
| Material entfernt                      | 0,007  |       |     |         |    |    |     |
| <b>Experi-mentelles Schleifrad 2-2</b> |        |       |     |         |    |    |     |
| Schleifrad-<br>verschleiß              | 0,098  | 1,120 | 780 | 90-100  | 10 | 22 | 130 |
| Material entfernt                      | 0,0075 |       |     |         |    |    |     |
| <b>Experi-mentelles Schleifrad 2-3</b> |        |       |     |         |    |    |     |
| Schleifrad-<br>verschleiß              | 0,096  | 1,603 | 780 | 120-150 | 10 | 23 | 144 |
| Material entfernt                      | 0,0105 |       |     |         |    |    |     |

Unter den Schleifkonditionen A wiesen die experimentellen Schleifräder eine ausgezeichnete Schleifleistung auf und erreichten wesentlich höhere G-Faktoren, als bei den früheren gewerblichen Verfahren unter diesen Schleifkonditionen mit den mit Schellack gebundenen Schleifrädern. Nach den bisherigen Erfahrungen beim Walzenschleifen unter den Schleifkonditionen A wären die experimentellen Schleifräder 2-1, 2-2 und 2-3 als zu weich erachtet worden (mit Härtegraden von B-D auf der Norton Härteskala), um gewerblich akzeptable Schleifleistungen zu erreichen und deshalb waren diese Ergebnisse mit den ausgezeichneten G-Faktoren höchst ungewöhnlich. Überdies wies die Walzenrauigkeit keinerlei Rattermarken auf und befand sich innerhalb der Spezifikationen für Rautiefe (18 - 30 Ra) und der Anzahl der Oberflächenspitzen (ungefähr 160). Die experimentellen Schleifräder lieferten eine Oberflächengüte, die bisher nur bei mit Schellack gebundenen Schleifrädern beobachtet wurde.

Ein zweiter Schleiftest, der an den experimentellen Schleifrädern 3-3 unter den Schleifkonditionen B durchgeführt wurde, bestätigte die überraschenden Vorteile der Verwendung der Schleifräder gemäß der Erfindung in einem gewerblichen Endbearbeitungs-Kaltwalzenschleifverfahren über einen über einen längeren Testzeitraum hinaus. Die Testergebnisse sind in der nachstehenden Tabelle 4-3 aufgeführt.

**Tabelle 4-3 Schleiftestergebnisse/Schleifkonditionen B**

| Experi-<br>mentelles<br>Schleifrad<br>2-4 | Änder-ung<br>des Durch-<br>messers<br>Zoll | Schleifra<br>d-ge-<br>schwin-<br>dig-keit<br>sfpm | Schleif-<br>rad-<br>Ampere | Kontin-<br>uierliche<br>Zu-führung<br>Zoll/min. | End-zu-<br>führung<br>Zoll | Walzen-<br>rauigkeit<br>Ra | Anzahl der<br>Spitzen auf<br>Walze |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| <b>Walze 1</b>                            |                                            |                                                   |                            |                                                 |                            |                            |                                    |
| SRV <sup>a</sup>                          | 0,258                                      | 5667                                              | 90                         | 0,0009                                          | 0,0008                     | 24                         | 166                                |
| ME <sup>b</sup>                           | 0,028                                      |                                                   |                            |                                                 |                            |                            |                                    |
| <b>Walze 2</b>                            |                                            |                                                   |                            |                                                 |                            |                            |                                    |
| SRV                                       | 0,339                                      | 8270                                              | 105                        | 0,0016                                          | 0,002                      | 20                         | 136                                |
| ME                                        | 0,032                                      |                                                   |                            |                                                 |                            |                            |                                    |
| <b>Walze 3</b>                            |                                            |                                                   |                            |                                                 |                            |                            |                                    |
| SRV                                       | 0,165                                      | 8300                                              | 110                        | 0,0011                                          | 0,002                      | 28                         | 187                                |
| ME                                        | 0,03                                       |                                                   |                            |                                                 |                            |                            |                                    |
| <b>Walze 4</b>                            |                                            |                                                   |                            |                                                 |                            |                            |                                    |
| SRV                                       | 0,279                                      | 8300                                              | 115                        | 0,0011                                          | 0,002                      | 29                         | 179                                |
| ME                                        | 0,036                                      |                                                   |                            |                                                 |                            |                            |                                    |
| <b>Walze 5</b>                            |                                            |                                                   |                            |                                                 |                            |                            |                                    |
| SRV                                       | 0,098                                      | 8300                                              | 115                        | 0,0011                                          | 0,002                      | 25                         | 151                                |
| ME                                        | 0,018                                      |                                                   |                            |                                                 |                            |                            |                                    |
| <b>Walze 6</b>                            |                                            |                                                   |                            |                                                 |                            |                            |                                    |
| SRV                                       | 0,097                                      | 8300                                              | 115                        | 0,0011                                          | 0,002                      |                            |                                    |
| ME                                        | 0,016                                      |                                                   |                            |                                                 |                            |                            |                                    |

|                 |       |      |     |        |       |     |     |
|-----------------|-------|------|-----|--------|-------|-----|-----|
| <b>Walze 7</b>  |       |      |     |        |       |     |     |
| SRV             | 0,072 | 8300 | 115 | 0,0011 | 0,002 |     |     |
| ME              | 0,048 |      |     |        |       |     |     |
| <b>Walze 8</b>  |       |      |     |        |       |     |     |
| SRV             | 0,094 | 8300 | 115 | 0,0011 | 0,002 |     |     |
| ME              | 0,011 |      |     |        |       |     |     |
| <b>Walze 9</b>  |       |      |     |        |       |     |     |
| SRV             | 0,045 | 8300 | 115 | 0,0011 | 0,002 |     |     |
| ME              | 0,021 |      |     |        |       |     |     |
| <b>Walze 10</b> |       |      |     |        |       |     |     |
| SRV             | 0,128 | 8300 | 115 | 0,0011 | 0,002 |     |     |
| ME              | 0,017 |      |     |        |       |     |     |
| <b>Walze 11</b> |       |      |     |        |       |     |     |
| SRV             | 0,214 | 8300 | 115 | 0,0011 | 0,002 |     |     |
| ME              | 0,018 |      |     |        |       |     |     |
| <b>Walze 12</b> |       |      |     |        |       |     |     |
| SRV             | 0,12  | 8300 | 115 | 0,0011 | 0,002 |     |     |
| ME              | 0,018 |      |     |        |       |     |     |
| <b>Walze 13</b> |       |      |     |        |       |     |     |
| SRV             | 0,118 | 8300 | 115 | 0,0011 | 0,002 |     |     |
| ME              | 0,026 |      |     |        |       |     |     |
| <b>Walze 14</b> |       |      |     |        |       |     |     |
| SRV             | 1,233 | 8300 | 115 | 0,0011 | 0,002 |     |     |
| ME              | 0,03  |      |     |        |       |     |     |
| <b>Walze 15</b> |       |      |     |        |       |     |     |
| SRV             | 0,215 | 8300 | 115 | 0,0011 | 0,002 |     |     |
| ME              | 0,03  |      |     |        |       |     |     |
| <b>Walze 16</b> |       |      |     |        |       |     |     |
| SRV             | 0,116 | 8300 | 115 | 0,0011 | 0,002 | xxx | xxx |
| ME              | 0,018 |      |     |        |       |     |     |
| <b>Walze 17</b> |       |      |     |        |       |     |     |
| SRV             | 0,141 | 8300 | 115 | 0,0011 | 0,002 | xxx | xxx |
| ME              | 0,021 |      |     |        |       |     |     |
| <b>Walze 18</b> |       |      |     |        |       |     |     |
| SRV             | 0,116 | 8300 | 115 | 0,0011 | 0,002 | xxx | xxx |

|          |       |      |     |        |       |  |  |
|----------|-------|------|-----|--------|-------|--|--|
| ME       | 0,01  |      |     |        |       |  |  |
| Walze 19 |       |      |     |        |       |  |  |
| SRV      | 0,118 | 8300 | 115 | 0,0011 | 0,002 |  |  |
| ME       | 0,018 |      |     |        |       |  |  |

- a. Schleifradverschleißmessung.
- b. Material-entfernt-Messung.

Der kumulative G-Faktor des experimentellen Schleifrads 2-4 betrug 2,093 nach dem Schleifen von 19 Walzen und einer Unterziehung von Verschleiß von ungefähr drei Zoll vom Schleifraddurchmesser. Dieser G-Faktor stellt eine Verbesserung von 2 bis 3 Mal des bei den gewerblichen Schleifrädern (z.B. mit Schellack gebundenen Schleifräder, den in Beispiel 2 beschriebenen C-6 und C-7 Schleifrädern) beobachteten G-Faktors dar, die zum Schleifen von Walzen unter Schleifkonditionen A oder B verwendet werden. Die Umdrehungsgeschwindigkeit des Schleifrads und die Materialentfernungsrates übertragen die der vergleichbaren gewerblichen Schleifräder, die in diesem Walzenschleifverfahren eingesetzt wurden und belegen demnach die unerwartet Schleifleistung, die mit dem Schleifverfahren gemäß der Erfindung möglich ist. Die mit dem experimentellen Schleifrad erzielte Rauigkeit war gemäß den gewerblichen Herstellungsnormen akzeptabel. Die kumulativen Ergebnisse, die nach dem Schleifen von 19 Walzen beobachtet wurden, bestätigen den Dauerbetrieb des experimentellen Schleifrads und den vorteilhaften Widerstand des Schleifrads gegenüber der Entwicklung von Schleifradnocken, Schwingungen und Rattern während das Schleifrad durch den Schleifbetrieb aufgebraucht wird.

### Beispiel 5

Schleifkörnung/anorganische Bindemittelagglomerate

Die Agglomeratproben wurden aus einer einfachen Mischung aus Schleifkörnung, Bindemittel und Wassermischungen, die in Tabelle 5-1 beschrieben werden, hergestellt. Bei der Zusammensetzung des gesinterten Bindemittels, das zur Vorbereitung der Proben verwendet wurde, handelte es sich um das in Tabelle 1-2 aufgeführte Bindemittel C. Bei der Schleifkörnung handelte es sich um eine geschmolzene Aluminiumoxid 38A Schleifkörnung, 80er Korngröße, die von der Firma Saint-Gobain Ceramics & Plastics, Inc., Worcester, MA, U.S.A., bezogen wurde.

Die agglomerierten Schleifkörnungsproben wurden bei 1150 °C unter Verwendung eines Rotationskalzinierers (Modell Nr. HOU-6D60-RTA-28, Harper International, Buffalo, New York, U.S.A.) geformt, der mit einem 305 cm (120 Zoll) langen, 15,6 cm (5,75 Zoll) Innendurchmesser, 0,95 (3/8 Zoll) dicken Metallrohr (Hastelloy) mit einer 152 cm (60 Zoll) beheizten Länge mit drei Temperaturkontrollzonen ausgerüstet ist. Eine Brabender® Zuführungseinheit mit einer regelbaren volumetrischen Zuführungsrate wurde verwendet, um die Schleifkörnung und Bindemittelmischung in das Heizrohr des Rotationskalzinierers zu dosieren. Das Verfahren der Agglomeration wurde unter atmosphärischen Bedingungen ausgeführt, wobei die Apparatrohr-Rotationsrate 3,5 bis 4 U/min, der Rohrneigungswinkel 2,5 bis 3 Grad und die Materialzuführungsrate 6 - 10 kg/Stunde betrug.

Nach der Agglomeration im Rotationskalzinierer wurden die agglomerierten Schleifkörnungsproben gefiltert und auf lose Packdichte (LPD) sowie Größenverteilung geprüft. Diese Ergebnisse sind in Tabelle 5-1 aufgeführt.

**Tabelle 5-1 Agglomerierte Körnchencharakteristiken VI**

| <u>Probe Nr.</u> | Gewicht  | Binde-     | Volumen-             | LPD     | Durch-   | Aus-  | Durch-   |
|------------------|----------|------------|----------------------|---------|----------|-------|----------|
| Körnig           | Kg       | mittel-    | % des                | -12/Pan | schnitt- | beute | schnitt- |
| flüssiges        | der      | gewicht %  | Binde-               | g/cc    | liche    | (-    | liche    |
| Binde-           | Mischung | (auf Basis | mittels <sup>a</sup> |         | Größe    | 20/+5 | relative |

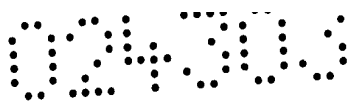
| mittel             |      | der<br>Körnung) |      |      | Mikron<br>(Maschen-<br>weite) | 0)<br>% | Dichte<br>% |
|--------------------|------|-----------------|------|------|-------------------------------|---------|-------------|
| V1                 |      |                 |      |      |                               |         |             |
| 80er Korn          | 42,6 |                 |      |      |                               |         |             |
| 38A                | 1,3  | 3,0             | 4,77 | 1,09 | 425                           | 85      | 28,3        |
| Wasser             | 1,5  |                 |      |      | (-35/+40)                     |         |             |
| C-Binde-<br>mittel |      |                 |      |      |                               |         |             |

a. Der Volumenprozentanteil des Bindemittels stellt einen Prozentsatz des Festmaterials innerhalb der Körnchen (z.B. Bindemittel und Körnung) nach dem Feuern dar und enthält nicht den Volumenprozentanteil der Porosität.

Die agglomerierte Körnungsprobe V1 wurde verwendet, um Schleifräder (Typ 1) (fertige Größe: 50,8 x 2,54 x 20,3 cm (20 x 1 x 8 Zoll) herzustellen. Die Zusammensetzung der Schleifräder (einschließlich des Volumenprozentanteils der Schleifkörnung, Bindung und Porosität in den gefeuerten Schleifrädern), Dichte und mechanischen Eigenschaften der Schleifräder werden in Tabelle 5-2 beschrieben. Die Zusammensetzungen der experimentellen Schleifräder 1 bis 4 wurden so ausgewählt, um Schleifräder mit einem Härtegrad F zu erzielen und die Zusammensetzungen der experimentellen Schleifräder 5 bis 8 wurden so ausgewählt, um Schleifräder mit einem Härtegrad G zu erzielen.

Zur Herstellung der Schleifräder wurden die Agglomerate zusammen mit einem flüssigen Bindemittel und einer gesinterten Pulverbindemittel-Zusammensetzung, die dem Bindemittel C aus Tabelle 1-2 entspricht, in ein Rührwerk gegeben.

Die Strukturen der Agglomerate wurden ausreichend resistent gegenüber einer Verdichtung, um einen effektiven Betrag an Agglomeraten beizubehalten, die einen dreidimensionalen Charakter aufweisen, nachdem sie dem Mischen des Schleifrads und den Formgussverfahren ausgesetzt worden sind. Die



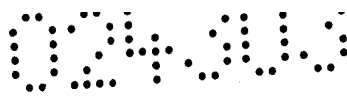
Schleifräder wurden dann geformt, getrocknet, auf eine Maximaltemperatur von 900 °C gefeuert, abgestuft, fertig bearbeitet, ausgewuchtet und gemäß den gewerblichen Schleifrad-Herstellungsverfahren, die gemäß dem Stand der Technik bekannt sind, untersucht.

Die fertigen Schleifräder wurden gemäß den gewerblich ausgeführten Geschwindigkeitstest auf Sicherheit geprüft um sicherzustellen, dass die Schleifräder eine ausreichende mechanische Festigkeit für die Rotationsbewegung, wenn an der Schleifmaschine befestigt, und ebenfalls eine ausreichende mechanische Festigkeit für das Schleifverfahren aufwiesen. Sämtliche experimentellen Schleifräder überstanden den Maximalgeschwindigkeitstest der Testausrüstung (85,1 m/s) und hatten daher eine ausreichende mechanische Festigkeit für die Tiefschleifverfahren.

Die Zusammensetzung der Schleifräder (einschließlich Volumen-% der Schleifkörnung, Bindung und Porosität in den gefeuerten Schleifrädern), Dichte und mechanischen Eigenschaften der Schleifräder werden in Tabelle 5-2 aufgeführt.

**Tabelle 5-2 Schleifradcharakteristiken**

| Schleifrad<br>V1 | Schleifradzusammensetzung |          |                      |      | Ge-<br>feuerte<br>Dichte<br>g/cc | Elastizi-<br>täts-<br>modul<br>(GPa) | Biege-<br>festigkeit<br>°<br>(MPa) | Geschwin-<br>digkeits-<br>test <sup>d</sup><br>(m/s) |
|------------------|---------------------------|----------|----------------------|------|----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------|
|                  | Volumen-%                 |          |                      |      |                                  |                                      |                                    |                                                      |
|                  | Agglom-<br>Porosität      | Schleif- | Bindung <sup>b</sup> |      |                                  |                                      |                                    |                                                      |
|                  | erate                     | mittel   |                      |      |                                  |                                      |                                    |                                                      |
| (1)              | 42,5                      | 40,5     | 6,2                  | 53,3 | 1,67                             | 13,3                                 | 22,6                               | 85,1                                                 |
| (2)              | 40,4                      | 38,5     | 6,5                  | 55,0 | 1,61                             | 11,6                                 | 18,5                               | 85,1                                                 |
| (3)              | 40,4                      | 38,5     | 7,2                  | 54,3 | 1,64                             | 12,4                                 | 23,0                               | 85,1                                                 |
| (4)              | 39,4                      | 37,5     | 8,2                  | 54,3 | 1,63                             | 12,8                                 | 22,8                               | 85,1                                                 |
| (5)              | 42,5                      | 40,5     | 7,3                  | 52,2 | 1,68                             | 14,3                                 | 25,8                               | 85,1                                                 |
| (6)              | 40,4                      | 38,5     | 9,3                  | 52,2 | 1,68                             | 15,8                                 | 26,7                               | 85,1                                                 |
| (7)              | 40,4                      | 38,5     | 8,3                  | 53,2 | 1,65                             | 13,5                                 | 25,5                               | 85,1                                                 |
| (8)              | 39,4                      | 37,5     | 9,3                  | 53,2 | 1,65                             | 14,6                                 | 24,0                               | 85,1                                                 |



| Vergleich-<br>bare<br>Proben <sup>a</sup><br><br>Nicht<br>agglomerierte<br>Körnung | Schleifradzusammensetzung<br><br>Volumen-% |          |         |      | Gefeu-<br>erte<br>Dichte<br>g/cc | Elastizi-<br>täts-<br>modul<br>(GPa) | Biege-<br>festigkeit<br><br>c<br>(MPa) | Geschwin-<br>digkeits-<br>test <sup>d</sup><br>(m/s) |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------|---------|------|----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------|
|                                                                                    | Agglom-                                    | Schleif- | Bindung |      |                                  |                                      |                                        |                                                      |
|                                                                                    | Porosität                                  |          |         |      |                                  |                                      |                                        |                                                      |
|                                                                                    | erate                                      | mittel   |         |      |                                  |                                      |                                        |                                                      |
| 38A80-<br>F19VCF2                                                                  | Nicht<br>zutr.                             | 40,5     | 6,2     | 53,3 | 1,73                             | 20,3                                 | 24,4                                   | 69,4                                                 |
| 38A80-<br>G19VCF2                                                                  | Nicht<br>zutr.                             | 40,5     | 7,3     | 52,2 | 1,88                             | 29,2                                 | 26,6                                   | 69,4                                                 |

a. Bei den vergleichbaren Schleifradproben handelte es sich um gewerbliche Produkte, die von der Firma Saint-Gobain Abrasives, Inc., Worcester, MA, U.S.A., bezogen und mit den gewerblichen Schleifradbestimmungen markiert wurden, die jeweils in Tabelle 5-2 angezeigt sind.

b. Die Werte der Volumen-% Bindung der experimentellen Schleifräder schließen den Volumenprozentanteil des gesinterten Bindemittels ein, das zur Herstellung der Agglomerate auf der Körnung verwendet wurde.

c. Die Schleifräder wurden auf Biegefestigkeit mit einer mechanischen Testmaschine des Instron Modells 1125 mit 4-Punkte-Biegespannvorrichtung und einer Stützweite von 3 Zoll, einer Lastweite von 1 Zoll und einer Belastungsrate von 0,050 Zoll pro Minute an Querschnittsgeschwindigkeit.

d. Die Schleifräder versagten nicht beim Rotieren bei der erreichten Maximalgeschwindigkeit in der Bersttestmaschine.

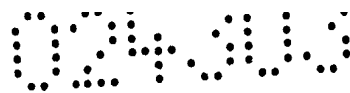
Die elastischen Modulwerte der experimentellen Schleifräder 1 - 4 lagen in einem Bereich, der 34 bis 43 % niedriger lag, als der Wert für das vergleichbare Schleifrad des Härtegrades F und die elastischen Modulwerte der experimentellen Schleifräder 5 - 8 lagen in einem Bereich, der 45 bis 54 % niedriger lag, als der Wert für das vergleichbare Schleifrad des Härtegrades G. Die Schleifräder mit identi-



schen Volumen-% Zusammensetzungen an Körnung, Bindung und Porosität hatten unerwarteterweise erheblich verschiedene elastische Modulwerte. Das experimentelle Rad 1 hatte einen elastischen Modulwert, der 34 % niedriger lag, als der Wert für das vergleichbare Schleifrad des Härtegrades F und das experimentelle Schleifrad 5 hatte einen elastischen Modulwert, der 51 % niedriger lag, als der Wert für das vergleichbare Schleifrad des Härtegrades G. In einem separaten Experiment wurden die vergleichbaren Schleifräder mit weicheren Härtegraden hergestellt, sodass sie durch gleichwertige, relativ niedrige elastische Modulwerte gekennzeichnet sind, denen eine ausreichende mechanische Festigkeit fehlt, um den 85,1 m/s Geschwindigkeitstest zu bestehen.

Die Geschwindigkeitstestwerte der experimentellen Schleifräder waren vollkommen akzeptabel. Weiterhin wies das experimentelle Schleifrad 1 bei identischen Volumen-% Zusammensetzungen aus Körnung, Bindung und Porosität eine Biegefestigkeit von nur 7 % niedriger, als der des vergleichbaren Schleifrades des Härtegrades F, während das experimentelle Schleifrad 5 eine Biegefestigkeit von nur 3 % niedriger aufwies, als das vergleichbare Schleifrad des Härtegrades G. Dieser leichte Abfall an Biegefestigkeit wurde aufgrund des leichten Abfalls an Dichte des experimentellen Schleifrades relativ zu den vergleichbaren Schleifrädern erwartet. Der Abfall an Dichte weist ebenfalls darauf hin, dass die experimentellen Schleifräder einer Schrumpfung während dem thermischen Verfahren, relativ zu den vergleichbaren Schleifrädern mit einer identischen Volumen-% Zusammensetzung, widerstanden und dies eine erhebliche, potentielle Ersparnis an Herstellungskosten, nämlich für Materialkosten sowohl als auch für die Endbearbeitungsverfahren, darstellt.

Die Schleifräder wurden in einem Tiefschleifverfahren gegenüber vergleichbaren gewerblichen Schleifrädern getes-



tet, die für die Verwendung in Tiefschleifverfahren empfohlen waren. Die vergleichbaren Schleifräder hatten dieselben Größendimensionen, identische oder ähnliche Volumen-% Zusammensetzungen, gleichwertige Härtegrade (Härtegrad wurde auf der Basis des Volumen-% Gehalts an Körnung, Bindung und Porosität festgestellt) und funktionsgemäß gleichwertigen Bindemittelchemien und waren ansonsten als vergleichbare Schleifräder für die Tiefschleifstudie geeignet. Die vergleichbaren Schleifräder wurden jedoch ohne Agglomeratkörnung hergestellt und die galvanischen Poreninduktoren waren erforderlich, um die beabsichtigte Volumen-% Porosität und Schleifraddichte zu erreichen. Die gewerblichen Schleifradbestimmungen und die Zusammensetzungen der vergleichbaren Schleifräder werden in Tabelle 5-2 aufgeführt (gewerbliche Schleifräder 38A80F19VCF2 und 38A80G19VCF2).

Ein „Keil“-Schleiftest wurde durchgeführt, wobei das Werkstück um einen kleinen Winkel relativ zur Maschinenführung, auf welches es befestigt ist, geneigt wurde. Diese Geometrie führt zu einer erhöhten Schnitttiefe, einer erhöhten Materialentfernungsrate und einer erhöhten Spandicke, während der Schleifvorgang vom Anfang bis zum Ende fortschreitet. Auf diese Weise wurden Schleifdaten über einen Bereich von Konditionen in einem einzigen Ablauf gesammelt.

Die Auswertung der Schleifradleistung im Spantest wird zusätzlich durch die Messung und Erfassung der Spindelantriebsleistung und der Schleifkräfte unterstützt. Die präzise Feststellung der Konditionen (MER, Spandicke, etc.), die unakzeptable Ergebnisse produzieren, wie z.B. Schleifbrand oder Schleifradversagen, fördert die Kennzeichnung des Schleifradverhaltens und die Rangfolge der relativen Produktleistung.

#### Schleifkonditionen:

Maschine: Hauni-Blohm Profimat 410



Modus: Keiltiefschleifen

Schleifradgeschwindigkeit: 28 m/sec (5500 sfpm)

Tischgeschwindigkeit: Variiert von 12,7 bis 44, 4 cm/Minute  
(5 bis 17, 5 Zoll/Minute)

Kühlmittel: Master Chemical Trim S210 200 bei 10 % Konzentration mit entionisiertem Grundwasser, 272 L/min (72 Gallonen/min)

Werkstückmaterial: Inconel 718 (42 HRc)

Abrichtmodus: Diamant-Abrichträdchen, kontinuierlich

Abrichtkompensation: 0,5 Mikrometer/rev (20 Mikrozoll/rev)

Geschwindigkeitsverhältnis: +0,8

Bei diesen Schleifabläufen stellte die erhöhte Schnitttiefe eine kontinuierliche Erhöhung an Materialentfernungsrate über die Blocklängen (20,3 cm (8 Zoll)) bereit. Eine Störung wurde durch Werkstückbrand, Schleifradversagen, raue Oberflächenbeschaffenheit und/oder Verlust an Winkelform angegeben. Der Schleifradverschleiß vom Schleifen war niedriger, als der Verlust von der kontinuierlichen Abrichtkompensation, die während dem Schleiftest durchgeführt wurde. Die spezifische Schleifenergie und die Materialentfernungsrate, bei denen das Versagen eintrat (maximale MER) sind in Tabelle 5-3 aufgeführt.

**Tabelle 5-3 Schleiftestergebnisse**

| Schleifrad | Schleifradzusammensetzung |               |         |           | Maximale MER<br>mm <sup>3</sup> /s/mm | Verbesserung<br>% <sup>a</sup> | Spezifische Schleifenergie<br>J/mm <sup>3</sup> | Verbesserung<br>% <sup>a</sup> | Durchschnittliche Oberflächenrauigkeit um |
|------------|---------------------------|---------------|---------|-----------|---------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|
|            | Agglo. Poren              | Schleifmittel | Bindung | Volumen-% |                                       |                                |                                                 |                                |                                           |
| (1)        | 42,5                      | 40,5          | 6,2     | 53,3      | 10,3                                  | 20                             | 57,6                                            | -17                            | 0,77                                      |
| (2)        | 40,4                      | 38,5          | 6,5     | 55,0      | 10,2                                  | 18                             | 55,1                                            | -20                            | 0,75                                      |
| (3)        | 40,4                      | 38,5          | 7,2     | 54,3      | 10,9                                  | 26                             | 59,2                                            | -15                            | 0,72                                      |
| (4)        | 39,4                      | 37,5          | 8,2     | 54,3      | 10,1                                  | 18                             | 59,2                                            | -15                            | 0,76                                      |

|                                                                        |                                                                                      |      |     |      |                                                   |     |                                                              |                |                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------|-----|------|---------------------------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------|
| (5)                                                                    | 42,5                                                                                 | 40,5 | 7,3 | 52,2 | 10,4                                              | 58  | 60,5                                                         | -23            | 0,77                                                                     |
| (6)                                                                    | 40,4                                                                                 | 38,5 | 9,3 | 52,2 | 9,4                                               | 42  | 65,2                                                         | -17            | 0,77                                                                     |
| (7)                                                                    | 40,4                                                                                 | 38,5 | 8,3 | 53,2 | 9,5                                               | 44  | 63,4                                                         | -19            | 0,75                                                                     |
| (8)                                                                    | 39,4                                                                                 | 37,5 | 9,3 | 53,2 | 9,2                                               | 39  | 64,4                                                         | -18            | 0,77                                                                     |
| Vergleich-<br>bare<br>Proben<br>Nicht<br>agglomer-<br>ierte<br>Körnung | Schleifradzusammensetzung<br>Volumen-%<br>Agglo. Schleif- Bindung<br>Poren<br>mittel |      |     |      | Maxi-<br>male<br>MER<br>mm <sup>3</sup> /s/<br>mm |     | Spezi-<br>fische<br>Schleif-<br>energie<br>J/mm <sup>3</sup> |                | Durch-<br>schnitt<br>-liche<br>Ober-<br>flächen<br>-rauig-<br>keit<br>um |
| 38A80-<br>F19VCF2                                                      | Nicht<br>zutr.                                                                       | 40,5 | 6,2 | 53,3 | 8,6                                               | N/Z | 69,6                                                         | Nicht<br>zutr. | 0,79                                                                     |
| 38A80-<br>G19VCF2                                                      | Nicht<br>zutr.                                                                       | 40,5 | 7,3 | 52,2 | 6,6                                               | N/Z | 78,2                                                         | Nicht<br>zutr. | 0,76                                                                     |

a. Um die Prozentwerte der Verbesserung zu errechnen, wurden die experimentellen Schleifräder mit den nächsten gleichwertigen Härtegraden in einem vergleichbaren Schleifrad verglichen. Die experimentellen Schleifräder 1 - 4 wurden mit dem Schleifrad des Härtegrades F und die experimentellen Schleifräder 5 - 8 wurden mit dem Schleifrad des Härtegrades G verglichen.

Wie aus den Schleiftestergebnissen in Tabelle 5-3 ersichtlich ist, weisen die experimentellen Schleifräder, bevor das Versagen auftrat, um 20 bis 58 % höhere MER-Werte relativ zu denen der vergleichbaren Schleifräder auf, die identische Volumen-% Zusammensetzungen hatten. Bei identischen Zusammensetzungen wiesen die experimentellen Schleifräder eine Reduzierung von mindestens 17 % an der zum Schleifen benötigten Leistung (spezifische Schleifenergie) auf. Diese Schleifverfahrensleistungen wurden ohne erheblichen Verlust an Oberflächengüte des zu schleifenden Werkstückes erreicht. Das Ergebnis deutet darauf hin, dass die experimentellen Schleifräder bei gewerblichen Tiefschleif-

verfahren mit einer niedrigeren Abrichtrate betrieben werden könnten, als mit einer konstanten MER, wodurch mindestens das Doppelte der Schleifradstandzeit erreicht wird.

### **Beispiel 6**

#### Schleifkörnungs-/anorganische Bindemittelagglomerate

Die agglomerierten Körnungsproben wurden aus einer einfachen, in Tabelle 6-1 beschriebenen Mischung aus Schleifkörnung, Bindemittel und Wasser hergestellt. Bei den gesinteren Bindemittelzusammensetzungen der zur Vorbereitung der Proben verwendeten Bindung handelte es sich um das in Tabelle 1-2 aufgeführte Bindemittel C. Bei der Schleifkörnung handelte es sich um eine geschmolzene Aluminiumoxid 38A Schleifkörnung, 60er Korngröße, die von der Firma Saint-Gobain Ceramics & Plastics, Inc., Worcester, MA, U.S.A., bezogen wurde.

Die agglomerierten Schleifkörnungsproben wurden in einem industriellen Rotationskalzinierer (hergestellt von der Firma Bartlett Inc., Stow, Ohio, U.S.A.; Direktfeuerungs- Gasmodell) bei 1250 °C Maximaltemperatur hergestellt, das mit einem 10,7 m (35 Fuß) langen, 0,78 m (31 Zoll) Innendurchmesser hitzebeständigen Rohr mit 0,58 m (23 Zoll) Dicke ausgerüstet ist. Das Verfahren der Agglomeration wurde unter atmosphärischen Konditionen, bei einer Festwertregelung der Kontrollbereichstemperatur von 1.250 °C, mit einer Apparatrohr-Umdrehungsrate von 2,5 U/min, einem Rohrneigungswinkel von 3 Grad und einer Materialzufuhr rate von 450 kg/Std. durchgeführt.

Nach der Agglomeration im Rotationskalzinierer wurden die agglomerierten Schleifkörnungsproben gefiltert und auf lose Packdichte (LPD) und Größenverteilung getestet. Diese Ergebnisse werden in Tabelle 6-1 aufgezeigt.

**Tabelle 6-1 Agglomerierte Körnchencharakteristiken V2**

| <u>Probe Nr.</u><br>Körnung<br>flüssiges<br>Binde-<br>material | Gewicht<br>Kg<br>Der<br>Mischung | Binde-<br>material<br>Gew.-%<br>(auf<br>Körn-<br>ungs-<br>basis) | Volumen-<br>% des<br>Binde-<br>materials <sup>a</sup> | LPD<br>-12/<br>Pan<br>g/cc | Durch-<br>schnittlich<br>e Größe<br>Mikron<br>(Maschen-<br>weite) | Ertrag<br>(-20/+45)<br>% | Durch-<br>schnitt-<br>liche<br>relative<br>Dichte<br>% |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------|
| V2<br>60 Korn-<br>größe 38A<br>Wasser<br>C-Binde-<br>material  | 42,1<br><br>1,3<br><br>2         | <br><br>4,2                                                      | <br><br>6,7                                           | <br><br>1,39               | <br><br>520<br>(-30/+35)                                          | <br><br>84               | <br><br>36,4                                           |

a. Der Volumenprozentanteil des Bindematerials stellt einen Prozentanteil des Festmaterials innerhalb der Körnchen (z.B. Bindemittel und Körnung) nach dem Feuern dar und schließt nicht den Volumenprozentanteil der Porosität ein.

Die Agglomeratproben wurden verwendet, um Schleifräder (Typ 1) (fertige Größe: 50,8 x 2,54 x 20,3 cm (20 x 1 x 8 Zoll)) herzustellen. Zur Herstellung der Schleifräder wurden die Agglomerate zusammen mit einem flüssigen Bindemittel und einer gesinterten Pulverbindemittel-Zusammensetzung, die dem Bindemittel C aus Tabelle 1-2 entspricht, in ein Rührwerk gegeben. Die Strukturen der Agglomerate wurden ausreichend resistent gegenüber einer Verdichtung, um einen effektiven Betrag an Agglomeraten beizubehalten, die einen dreidimensionalen Charakter aufweisen, nachdem sie dem Mischen des Schleifrads und den Formgussverfahren ausgesetzt worden sind. Die Zusammensetzungen der experimentellen Schleifräder 9 bis 11 wurden so ausgewählt, um Schleifräder mit einem Härtegrad I zu erzielen und die Zusammensetzungen der experimentellen Schleifräder 12 bis 16 wurden so ausgewählt, um Schleifräder mit einem Härtegrad K zu erzielen. Die Schleifräder wurden dann geformt, getrocknet,

auf eine Maximaltemperatur von 1030 °C gefeuert, abgestuft, fertig bearbeitet, ausgewuchtet und gemäß den gewerblichen Schleifrad-Herstellungsverfahren, die gemäß dem Stand der Technik bekannt sind, untersucht.

Die fertigen Schleifräder wurden gemäß den gewerblich ausgeführten Geschwindigkeitstest auf Sicherheit geprüft um sicherzustellen, dass die Schleifräder eine ausreichende mechanische Festigkeit für die Rotationsbewegung aufwiesen, wenn an der Schleifmaschine befestigt, und ebenfalls eine ausreichende mechanische Festigkeit für das Schleifverfahren. Die Ergebnisse des Bersttests werden in Tabelle 6-2 aufgeführt. Sämtliche experimentellen Schleifräder hatten eine ausreichende mechanische Festigkeit für die Tiefschleifverfahren. Gewerbliche Tiefschleifverfahren betreiben diese Schleifräder gewöhnlich bei 33 m/s (6500 sfpm) mit einer maximalen Betriebsgeschwindigkeit von etwa 43,2 m/s (8500 sfpm).

Die Zusammensetzung der Schleifräder (einschließlich Volumen-% der Schleifmittel, Bindung und Porosität in den gefeuerten Schleifrädern), Dichte und Materialeigenschaften der Schleifräder werden in Tabelle 6-2 aufgeführt.

**Tabelle 6-2 Schleifradcharakteristiken**

| Schleifrad<br>(V2 Agglomerate) | Schleifradzusammensetzung<br>Volumen-% |           |                      |      | Ge-<br>feuerte<br>Dichte<br>g/cc | Elastizi-<br>täts-<br>modul<br>(GPa) | Biege-<br>festig-<br>keit <sup>c</sup><br>(MPa) | Tat-<br>sächliche<br>Berstge-<br>schwindi-<br>gkeit<br>(m/s) |
|--------------------------------|----------------------------------------|-----------|----------------------|------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|                                | Agglo.<br>Porosität                    | Schleifm. | Bindung <sup>b</sup> |      |                                  |                                      |                                                 |                                                              |
|                                |                                        |           |                      |      |                                  |                                      |                                                 |                                                              |
| (9)                            | 36,5                                   | 34,1      | 7,5                  | 58,4 | 1,53                             | 8,1                                  | 9,6                                             | 66,5                                                         |
| (10)                           | 34,4                                   | 32,1      | 10,5                 | 57,4 | 1,59                             | 12,7                                 |                                                 | 76,6                                                         |
| (11)                           | 36,5                                   | 34,1      | 8,5                  | 57,4 | 1,56                             | 10,1                                 |                                                 | 78,6                                                         |
| (12)                           | 41,2                                   | 38,4      | 7,7                  | 53,9 | 1,69                             | 13,6                                 | 12,1                                            | 76,4                                                         |
| (13)                           | 39,0                                   | 36,4      | 9,7                  | 53,9 | 1,68                             | 15,2                                 |                                                 | 80,8                                                         |

|                                                                             |                                                                                      |      |      |      |                                  |                                      |                                                 |                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| (14)                                                                        | 39,0                                                                                 | 36,4 | 8,7  | 54,9 | 1,63                             | 13,0                                 |                                                 | 80,2                                                         |
| (15)                                                                        | 37,9                                                                                 | 35,4 | 9,7  | 54,9 | 1,64                             | 13,6                                 |                                                 | 78,9                                                         |
| (16)                                                                        | 39,0                                                                                 | 36,4 | 10,7 | 52,9 | 1,69                             | 16,4                                 |                                                 | 88,6                                                         |
| (17)                                                                        | 44,2                                                                                 | 41,2 | 5,6  | 53,2 | 1,74                             | 13,2                                 | 12,2                                            | 61,3                                                         |
| (18)                                                                        | 42,1                                                                                 | 39,2 | 6,6  | 54,2 | 1,69                             | 12,9                                 |                                                 | 77,1                                                         |
| (19)                                                                        | 42,1                                                                                 | 39,2 | 8,6  | 52,2 | 1,79                             | 17,9                                 |                                                 | 83,5                                                         |
| Vergleich-bare<br>Proben <sup>a</sup><br>Nicht<br>agglomer-ierte<br>Körnung | Schleifradzusammensetzung<br>Volumen-%<br>Agglom. Schleifmittel Bindung<br>Porosität |      |      |      | Ge-<br>feuerte<br>Dichte<br>g/cc | Elastizi-<br>täts-<br>modul<br>(GPa) | Biege-<br>festig-<br>keit <sup>c</sup><br>(MPa) | Tat-<br>sächliche<br>Berstge-<br>schwin-<br>digkeit<br>(m/s) |
| 38A60-I96<br>LCNN                                                           | Nicht<br>zutr.                                                                       | 34,1 | 7,5  | 58,4 | 1,58                             | 18,1                                 | 10,25                                           | 69,4                                                         |
| 38A60-K75<br>LCNN                                                           | Nicht<br>zutr.                                                                       | 38,4 | 7,7  | 53,9 | 1,75                             | 23,5                                 | Nicht<br>zutr.                                  | 73,2                                                         |
| 38A60-J64<br>LCNN                                                           | Nicht<br>zutr.                                                                       | 41,2 | 5,6  | 53,2 | 1,78                             | 23                                   | Nicht<br>zutr.                                  | 73,6                                                         |
| TG2-80 E13<br>VCF5 <sup>c</sup>                                             | Nicht<br>zutr.                                                                       | 38,0 | 6,4  | 55,6 | 1,68                             | 23,3                                 | 23,0                                            | Nicht<br>zutr.                                               |

a. Bei den vergleichbaren Schleifradproben handelte es sich um gewerbliche Produkte, die von der Firma Saint-Gobain Abrasives, Ltd., Stafford, GB, bezogen und mit den Schleifradbestimmungen markiert wurden, die jeweils in Tabelle 6-2 angezeigt sind.

b. Die Werte der Volumen-% Bindung der experimentellen Schleifräder schließen den Volumenprozentanteil des gesinterten Bindemittels ein, das zur Herstellung der Agglomerate auf der Körnung verwendet wurde.

c. Dieses Schleifrad ähnelt zwar dem vergleichbaren Schleifrad 38A60-K75 LCNN in der Volumen-% Zusammensetzung, wurde jedoch mit einer gestreckten, gesinterten Sol-Gel-Aluminiumoxid-Schleifkörnung hergestellt, die ein Längenverhältnis von mehr als 4:1 aufweist, gemäß US-A-

5,738,696 und US-A-5,738,697, erteilt an Wu. Es ist zu beachten, dass sie zwar eine niedrigere Dichte hat, jedoch einen sehr ähnlichen elastischen Modulwert relativ zum 38A60K75 LCNN aufweist.

Schleifräder mit identischen Volumen-% Zusammensetzungen aus Körnung, Bindung und Porosität hatten unerwarteterweise erheblich verschiedene elastische Modulwerte. Vor allem wiesen die elastischen Modulwerte eines vergleichbaren Schleifrades (TG2-80 E13 VCF5), das mit der gewünschten relativ hohen Volumen-% Porosität und der relativ niedrigen Dichte durch das Hinzufügen von gestreckten Partikel (Schleifkörnung) anstatt mit galvanischen Poreninduktoren hergestellt wurde, keinen Abfall des elastischen Modulwertes auf. In der Tat war der elastische Modulwert höher, als der des nächsten gleichwertigen vergleichbaren Schleifrads und viel höher, als der der experimentellen Schleifräder mit gleichwertigen Volumen-% Zusammensetzungen.

Trotz der reduzierten elastischen Moduleigenschaften waren die Geschwindigkeitstestwerte der experimentellen Schleifräder vollkommen akzeptabel. Bei identischen Volumen-% Zusammensetzungen aus Körnung, Bindung und Porosität wies das experimentelle Schleifrad 1 nur geringfügig niedrigere Biegefestigkeits- und Berstgeschwindigkeitswerte auf. Die Dichtwerte der experimentellen Schleifräder waren geringfügig niedriger, als die der vergleichbaren Schleifräder, die mit einer identischen Volumen-% Zusammensetzung formuliert waren. Deshalb war ein geringfügiger Abfall an Biegefestigkeit zu erwarten. Der Abfall an Dichte deutet ebenfalls darauf hin, dass die experimentellen Schleifräder einer Schrumpfung während dem thermischen Verfahren, relativ zu den vergleichbaren Schleifrädern mit einer identischen Volumen-% Zusammensetzung, widerstanden und dies eine erhebliche, potentielle Ersparnis an Herstellungskosten, nämlich für Materialkosten sowohl als auch für die Endbearbeitungsverfahren, darstellt.

Die Schleifräder wurden in einem Tiefschleifverfahren unter Anwendung der in Beispiel 5 beschriebenen Keiltest-Schleifkonditionen getestet. Die Schleifräder wurden gegenüber vergleichbaren gewerblichen Schleifrädern getestet, die für die Verwendung in Tiefschleifverfahren empfohlen waren. Die vergleichbaren Schleifräder hatten dieselben Größendimensionen, identische oder ähnliche Volumen-% Zusammensetzungen, gleichwertige Härtegrade (Härtegrad wurde auf der Basis des Volumen-% Gehalts an Körnung, Bindung und Porosität festgestellt) und funktionsgemäß gleichwertigen Bindemittelchemien und waren ansonsten als vergleichbare Schleifräder für die Tiefschleifstudie geeignet. Die vergleichbaren Schleifräder wurden jedoch ohne Agglomeratkörnung hergestellt und die galvanischen Poreninduktoren wurden verwendet, um die beabsichtigte Volumen-% Porosität und Schleifraddichte zu erreichen. Die gewerblichen Schleifradbestimmungen und die Zusammensetzungen der vergleichbaren Schleifräder werden in Tabelle 6-2 aufgeführt (gewerbliche Schleifräder 38A60-I96 LCNN, 38A60-K75 LCNN und 38A60-J64 LCNN). Die Ergebnisse werden in der nachstehenden Tabelle 6-3 aufgeführt.

**Tabelle 6-3 Schleiftestergebnisse**

| Schleifrad<br>V2 | Schleifradzusammensetzung<br>Volumen-%<br><br>Agglo. Schleifm. Bindung<br>Porosität |      |      |      | Maximale<br>MER<br>mm <sup>3</sup> /s/<br>mm | Verbes-<br>serung<br>% <sup>a</sup> | Spezif-<br>ische<br>Schleif-<br>energie<br>J/mm <sup>3</sup> | Verbes-<br>serung<br>% <sup>a</sup> | Druch-<br>schnitt-<br>liche<br>Ober-<br>flächen-<br>rauigkei-<br>t um |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|----------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| (9)              | 36,5                                                                                | 34,1 | 7,5  | 58,4 | 12,6                                         | 31                                  | 39,0                                                         | -31                                 | N. zutr.                                                              |
| (10)             | 34,4                                                                                | 32,1 | 10,5 | 57,4 | 10,6                                         | 10                                  | 54,7                                                         | -3                                  | N. zutr.                                                              |
| (11)             | 36,5                                                                                | 34,1 | 8,5  | 57,4 | 16,2                                         | 68                                  | 43,1                                                         | -24                                 | N. zutr.                                                              |
| (12)             | 41,2                                                                                | 38,4 | 7,7  | 53,9 | 12,4                                         | 53                                  | 41,9                                                         | -24                                 | 0.76                                                                  |
| (13)             | 39,0                                                                                | 36,4 | 9,7  | 53,9 | 11,2                                         | 38                                  | 44,8                                                         | -19                                 | 0.80                                                                  |
| (14)             | 39,0                                                                                | 36,4 | 8,7  | 54,9 | 12,1                                         | 43                                  | 40,7                                                         | -28                                 | 0.90                                                                  |

|                                                                      |                                                                                             |      |      |      |                                              |          |                                                              |          |                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|----------------------------------------------|----------|--------------------------------------------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------|
| (15)                                                                 | 37,9                                                                                        | 35,4 | 9,7  | 54,9 | 11,3                                         | 40       | 42,7                                                         | -22      | 0.80                                                                  |
| (16)                                                                 | 39,0                                                                                        | 36,4 | 10,7 | 52,9 | 10,2                                         | 25       | 46,5                                                         | -16      | 0.74                                                                  |
| (17)                                                                 | 44,2                                                                                        | 41,2 | 5,6  | 53,2 | 13,7                                         | 61       | 40,2                                                         | -29      | N. zutr.                                                              |
| (18)                                                                 | 42,1                                                                                        | 39,2 | 6,6  | 54,2 | 12,8                                         | 51       | 41,3                                                         | -27      | N. zutr.                                                              |
| (19)                                                                 | 42,1                                                                                        | 39,2 | 8,6  | 52,2 | 10,2                                         | 20       | 49,0                                                         | -13      | N. zutr.                                                              |
| Vergleich-<br>bare Proben<br><br>Nicht<br>agglomer-<br>ierte Körnung | Schleifradzusammensetzung<br><br>Volumen-%<br><br>Agglo. Schleifm. Bindung<br><br>Porosität |      |      |      | Maximale<br>MER<br>mm <sup>3</sup> /s/<br>mm |          | Spezif-<br>ische<br>Schleif-<br>energie<br>J/mm <sup>3</sup> |          | Druch-<br>schnitt-<br>liche<br>Ober-<br>flächen-<br>rauigkei-<br>t um |
| 38A60-I96<br>LCNN                                                    | N/A                                                                                         | 34,1 | 7,5  | 58,4 | 9,7                                          | N. zutr. | 56,5                                                         | N. zutr. | N. zutr.                                                              |
| 38A60-K75<br>LCNN                                                    | N.<br>zutr.                                                                                 | 38,4 | 7,7  | 53,9 | 8,1                                          | N. zutr. | 55,1                                                         | N. zutr. | 0,94                                                                  |
| 38A60-J64<br>LCNN                                                    | N.<br>zutr.                                                                                 | 41,2 | 5,6  | 53,2 | 8,5                                          | N. zutr. | 56,4                                                         | N. zutr. | N. zutr.                                                              |

a. Um die Prozentwerte der Verbesserung zu errechnen, wurden die experimentellen Schleifräder mit den nächsten gleichwertigen Härtegraden in einem vergleichbaren Schleifrad verglichen. Die experimentellen Schleifräder 9 - 11 wurden mit dem Schleifrad des Härtegrades I, die experimentellen Schleifräder 12 - 16 wurden mit dem Schleifrad des Härtegrades K und die experimentellen Schleifräder 17 - 19 wurden mit dem Schleifrad des Härtegrades J verglichen.

Wie aus den Schleiftestergebnissen in Tabelle 6-3 ersichtlich ist, weisen die experimentellen Schleifräder, bevor das Versagen auftrat, höhere MER-Werte (10 bis 68 %) relativ zu denen der vergleichbaren Schleifräder auf, die identische Volumen-% Zusammensetzungen hatten. Bei identischen Zusammensetzungen wiesen die experimentellen Schleifräder eine Reduzierung (3 bis 31 %) an der zum Schleifen benötigten Leistung (spezifische Schleifenergie) auf. Diese

Schleifverfahrensleistungen wurden ohne erheblichen Verlust an Oberflächengüte des zu schleifenden Werkstückes erreicht. Das Ergebnis deutet darauf hin, dass die experimentellen Schleifräder bei gewerblichen Tiefschleifverfahren mit einer niedrigeren Abrichtrate betrieben werden könnten, als mit einer konstanten MER, wodurch mindestens das Doppelte der Schleifradstandzeit erreicht wird.

### **Beispiel 7**

#### Schleifkörnungs-/organische Bindemittelagglomerate

Eine Reihe von agglomerierten Schleifkörnungsproben (A1 - A8) wurden aus einer Mischung aus Schleifkörnung und Phenolharzbindemittel (Durez Varcum® Harz 29-717, spezifische Schwerkraft 1,28 g/cc, bezogen von Durez Corporation, Dallas, TX, U.S.A) mit den in Tabelle 7-1 beschriebenen Mengen vorbereitet. Sämtliche Proben wurden mit einer Silan-behandelten, geschmolzenen Aluminiumoxid 38A Schleifkörnung mit den in Tabelle 7-1 aufgeführten Korngrößen (80er oder 46er Korn) vorbereitet, die von der Firma Saint-Gobain Ceramics & Plastics, Inc., Worcester, MA, U.S.A. bezogen wurde.

Körnung und Harzbindemittel wurden in den Tiegel eines Rührwerks (Proben A5 - A8 in einem Hochscherkraft-Eirich Rührwerk, Modell Nr. RV-02, hergestellt von der Firma Eirich Company, Gurnee, IL, U.S.A; Probe A1 in einem Panrührwerk, hergestellt von der Firma Foote-Jones/Illinois Gear, Chicago, IL, U.S.A.; und Proben A2, A3 und A4 in einem Panrührwerk, spezialangefertigt von der Firma Boniface Tool and Die, Southbridge, MA, U.S.A.) gegeben. Das Mischen wurde bei einer Tiegelgeschwindigkeit eingeleitet, die auf 64 U/min und eine Rührwerkgeschwindigkeit von 720 U/min (Proben A5 - A8 im Eirich Rührwerk); oder eine Tiegelgeschwindigkeit von 35 U/min und einem feststehenden Rührwerk (Probe A1 im Foote/Jones Rührwerk); oder eine

Tiegelgeschwindigkeit von 35 U/min und eine Rührwerkgeschwindigkeit von 75 U/min (Proben A2 - A4 im Boniface Rührwerk) eingestellt war. Während dem Mischen wurde eine ausreichende Menge an Lösung (Furfural) als feiner Dunst in die Mischung aus Körnung und Bindemittel gesprüht, um die Körnungen und das Bindemittel dazu zu bringen, zusammen zu agglomerieren. Das Sprühen der Lösung in die Mischung wurde nur so lange fortgeführt, bis die Körnungen und das Bindemittel Agglomerate gebildet hatten. Bei der Vorbereitung von Probe A1 wurde die Lösung mit einer Plastikflasche per Hand auf die trockenen Komponenten gesprüht. Bei der Vorbereitung der Proben A2 - A8 wurde die Lösung als ein kontinuierlicher Dunst in abgemessenen Mengen mit einem Werkzeug-Kühlschmiernebelgerät der Firma Wesco Company, Chatsworth, CA, U.S.A. gesprüht. Das Verfahren der Agglomeration wurde unter atmosphärischen Konditionen bei Raumtemperatur durchgeführt.

Nach der Agglomeration im Rührwerk wurden die nassen, agglomerierten Schleifkörnungsproben durch ein U.S. Sieb mit 3,5 Maschenweite gefiltert und über Nacht unter Raumbedingungen getrocknet. Die Proben wurde nochmals durch ein grobes Sieb (U.S. Standardsieb Nr. 8 für Agglomerate mit 46er Korn, Nr. 20 für Agglomerate mit 80er Korn) und auf einem Backblech mit Fluoropolymerbeschichtung (etwa 45 x 30 cm) zu einer einzelnen Schicht ausgebreitet. Die Agglomerate wurden dann in einem Laborofen (Despatch Modellnummer VRD-1-90-1E von der Firma Despatch Industries, Minneapolis, MN, U.S.A.) unter atmosphärischen Konditionen ausgehärtet, auf eine Maximaltemperatur von 160 °C erhitzt und bei dieser Temperatur 30 Minuten lang gehalten. Die ausgehärteten Agglomerate wurden unter einem manuell betriebenen 1,5 Zoll Stabstahl ausgerollt, um diese teilweise zu zerbrechen und größere Agglomerate in kleinere Agglomerate zu trennen.

Die Größe der ausgehärteten Agglomerate wurde mit U.S. Standard-Testsieben festgelegt, die an einem Vibrations-

siebapparat (Ro-Tap; Modell RX-29; W.S. Tyler Inc., Mentor, OH, U.S.A.) befestigt waren. Die Maschenweiten der Siebe lagen in einem Bereich von 10 bis 45 für Agglomerate, die mit einer 46er Korngröße, und 20 bis 45 für Agglomerate, die mit einer 80er Korngröße an Schleifkörnung hergestellt waren.

Der Ertrag der verwendbaren, frei-fließenden Agglomerate der Proben A1 - A8, definiert als Agglomerate mit einer Größenverteilung der angegebenen Maschenweite (U.S. Standard-Siebgröße), wird in der nachfolgenden Tabelle 7-1 als der Gew.-%-Anteil des Gesamtgewichtes der Körnungsmischung vor der Agglomeration aufgezeigt.

Die Agglomerate wurden auf lose Packdichte (LPD), relative Dichte und Größenverteilung getestet und vor und nach der Verwendung zur Herstellung von Schleifwerkzeugen visuell gekennzeichnet. Die lose Packdichte (LPD) der ausgehärteten Agglomerate wurde mit einem American National Standard-Verfahren für Raumdichte von Schleifkörnungen gemessen. Die anfängliche, durchschnittliche relative Dichte, ausgedrückt in Prozent, wurde durch das Teilen des LPD ( $\_$ ) durch eine theoretische Dichte der Agglomerate ( $\_0$ ) unter Annahme einer Nullporosität errechnet. Die theoretische Dichte wurde gemäß dem Verfahren der volumetrischen Mischungsregel aus der Gewichtsprozentzahl und der spezifischen Schwerkraft des Bindemittels und der in den Agglomeraten enthaltenen Schleifkörnung ermittelt.

Diese Agglomerate wiesen eine LPD, relative Dichte sowie Größenverteilungseigenschaften auf, die für die Anwendung in der gewerblichen Herstellung von Schleifrädern geeignet waren. Die Ergebnisse der Agglomerattests werden in Tabelle 7-1 aufgeführt.

Die fertigen, gesinterten Agglomerate hatten dreidimensionale Formen, die zwischen dreieckig, kugelförmig, würfel-

förmig, rechteckig sowie anderen geometrischen Formen variierten. Die Agglomerate bestanden aus einer Vielzahl an individuellen Schleifkörnungen (z.B. 2 bis 40 Korn), die durch Harzbindemittel von Körnungs- zu Körnungskontaktpunkten zusammen gebunden waren. Beruhend auf der Materialdichte und den volumetrischen Kalkulationen betrug die Porosität der Agglomerate in der Masse etwa 18 Volumen-%.

Die Strukturen der Agglomerate waren ausreichend resistent gegen eine Verdichtung zur Einbehaltung eines dreidimensionalen Charakters, nachdem diese dem Schleifradmischen und den Formgussverfahren ausgesetzt waren.

**Tabelle 7-1 Agglomerierte Körnchencharakteristiken**

| <u>Proben Nr.</u><br><u>Mischung:</u><br>Körnung,<br>Lösung,<br>Binde-<br>mittel       | Ge-<br>wicht<br>kg<br>der<br>Misch-<br>ung | Ge-<br>wicht<br>% der<br>Lö-<br>sung in<br>Misch-<br>ung | Binde-<br>mittel<br>Gew.-<br>%<br>(auf<br>Ge-<br>samt-<br>fest-<br>körper-<br>basis) | Volumen<br>%<br>Des<br>Binde-<br>mittels <sup>a</sup> | LPD<br>g/cc<br>-20/<br>+45<br>Ma-<br>schen-<br>weiten-<br>frak-<br>tion | Durch-<br>schnitt-<br>liche<br>Größe<br>Mikron<br>(Ma-<br>schen-<br>weite)<br>-25/+45<br>Sieb-<br>größe | % Ertrag<br>Gew.-%<br>(Ma-<br>schen-<br>weiten-<br>bereich) | Durch-<br>schnitt-<br>liche %<br>an re-<br>lativer<br>Dichte |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| <b><u>Beispiel 1</u></b><br><b>A1</b><br>80er Korn<br>38A,<br>Furfural,<br>Phenol-harz | 12 ge-<br>mischt<br>mit<br>jeweils<br>1 kg | 3,5                                                      | 10                                                                                   | 25,5                                                  | 1,11                                                                    | 500<br>(36)                                                                                             | 70<br>(-20 bis<br>+45)                                      | 34                                                           |
| <b>A2</b><br>80er Korn<br>38A,<br>Furfural<br>Phenol-harz                              | 5 kg                                       | 2,5                                                      | 10                                                                                   | 25,5                                                  | 1,17                                                                    | 500<br>(36)                                                                                             | 70<br>(-20 bis<br>+45)                                      | 35,8                                                         |
| <b>A3</b>                                                                              | 5 kg                                       | 2,5                                                      | 10                                                                                   | 25,5                                                  | 1,2                                                                     | 500                                                                                                     | 70                                                          | 36,7                                                         |

|                                                                          |                                               |     |     |      |      |              |                                                 |      |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----|-----|------|------|--------------|-------------------------------------------------|------|
| 80er Korn<br>38A,<br>Furfural,<br>Phenol-harz                            |                                               |     |     |      |      | (36)         | (-20 bis<br>+45)                                |      |
| <b>Beispiel 2</b><br>A4<br>80er Korn<br>38A,<br>Furfural,<br>Phenol-harz | 5 kg                                          | 2,5 | 9,1 | 23,6 | 1,20 | 500<br>(36)  | 70<br>(-20 bis<br>+45)                          | 36,1 |
| A5<br>80er Korn<br>38A,<br>Furfural<br>Phenol-harz                       | 6 ge-<br>mischt<br>mit je-<br>weils<br>2,5 kg | 2,0 | 10  | 25,5 | 0,97 | 500<br>(36)  | 80<br>(-20 bis<br>+45)                          | 29,7 |
| <b>Beispiel 3</b><br>A6<br>80er Korn<br>38A,<br>Furfural,<br>Phenol-harz | 25 ge-<br>mischt<br>mit je-<br>weils<br>5 kg  | 1,9 | 10  | 25,5 | 1,10 | 500<br>(36)  | 80-85<br>(-20 bis<br>+45)                       | 33,7 |
| <b>Beispiel 4</b><br>A7<br>46er Korn<br>38A,<br>Furfural,<br>Phenol-harz | 2,5 kg                                        | 2,0 | 10  | 25,5 | 1,07 | 1400<br>(14) | 66<br>(-10 bis<br>+20)                          | 32,7 |
| A8<br>46er Korn<br>38A,<br>Furfural<br>Phenol-harz                       | 2,5 kg                                        | 2,0 | 10  | 25,5 | 0,94 | 1400<br>(14) | 64<br>(-10 bis<br>+20) oder<br>(-14 bis<br>+20) | 28,7 |
| <b>Beispiel 5</b><br>A9<br>80er Korn<br>38A,<br>Furfural,                | 2,5 kg                                        | 2,0 | 10  | 25,5 | 1,09 | 500<br>(36)  | >90<br>(-20 bis<br>+45)                         | 33,4 |

| Binde-<br>mittel A                                         |         |     |      |      |      |             |                         |      |
|------------------------------------------------------------|---------|-----|------|------|------|-------------|-------------------------|------|
| A10<br>80er Korn<br>38A,<br>Furfural<br>Binde-<br>mittel B | 2,54 kg | 2,0 | 11,3 | 25,5 | 1,10 | 500<br>(36) | >90<br>(-20 bis<br>+45) | 33,2 |
| A11<br>80er Korn<br>38A,<br>Furfural<br>Binde-<br>mittel C | 2,57 kg | 1,9 | 12,6 | 25,5 | 1,15 | 500<br>(36) | >90<br>(-20 bis<br>+45) | 32,7 |
| A12<br>80er Korn<br>38A,<br>Furfural<br>Binde-<br>mittel D | 2,61 kg | 1,5 | 13,8 | 25,5 | 1,10 | 500<br>(36) | >90<br>(-20 bis<br>+45) | 32,2 |
| A13<br>80er Korn<br>38A,<br>Furfural<br>Binde-<br>mittel E | 2,65 kg | 1,5 | 15,0 | 25,5 | 1,08 | 500<br>(36) | >90<br>(-20 bis<br>+45) | 31,2 |

a. Der Volumenprozentanteil des Bindemittels stellt einen Prozentsatz des Festmaterials innerhalb der Körnchen (z.B. Bindemittel und Körnung) nach dem Aushärten dar und enthält nicht den Volumenprozentanteil der Porosität. Der Volumenprozentanteil des Bindemittels der ausgehärteten Agglomerate wurde mit der Annahme errechnet, dass keine interne Porosität und keine Mischungsverluste vorhanden waren.

Schleifräder

Die Agglomeratproben A1, A2 und A3 wurden verwendet, um Topfschleifräder des Typs 6 herzustellen (fertige Größe: 8,9 x 9,5 x 2,2 - 1,3 cm Rand) (3,5 x 3,75 x 0,88 - 0,50 Zoll Rand). Um die experimentellen Schleifräder herzustellen, wurden die Agglomerate per Hand in 250 Gramm-Losgrößen mit einer Zusammensetzung aus Phenolharzbindemittel gemischt, bis eine einheitliche Mischung erreicht wurde. Bei der Zusammensetzung aus Harzbindemitteln handelte es sich um eine Mischung aus 22 Gew.-% flüssigem Phenolharz (V-1181 von der Firma Honeywell International Inc., Friction Division, Troy, NY, U.S.A.) und 78 Gew.-% Pulverphenolharz (Durez Varcum® Harz 29-717 von der Firma Durez Corporation, Dallas, TX, U.S.A.). Die einheitliche Mischung aus Agglomeraten und Bindemitteln wurde in Gussformen gegeben und Druck auf diese beaufschlagt, um Schleifräder der grünen (nicht ausgehärteten) Phase zu bilden. Diese grünen Schleifräder wurden aus den Gussformen entfernt, in beschichtetes Papier gewickelt und durch Erwärmen auf eine Maximaltemperatur von 160 °C ausgehärtet, abgestuft, fertig bearbeitet und gemäß den gewerblichen Schleifrad-Herstellungsverfahren, die gemäß dem Stand der Technik bekannt sind, untersucht.

Die fertigen Schleifräder wurden gemäß den gewerblich ausgeführten Geschwindigkeitstest auf Sicherheit geprüft um sicherzustellen, dass die Schleifräder eine ausreichende mechanische Festigkeit für die Rotationsbewegung, wenn an der Schleifmaschine befestigt, und ebenfalls eine ausreichende mechanische Festigkeit für das Schleifverfahren aufwiesen. Sämtliche experimentellen Schleifräder überstanden den Geschwindigkeitstest mit 7200 U/min und hatten daher eine ausreichende mechanische Festigkeit für die Tiefschleifverfahren.

Die Zusammensetzung der Schleifräder (einschließlich Volumen-% der Schleifkörnung, Bindung und Porosität in den

gefeuerten Schleifrädern), werden in Tabelle 7-2 aufgeführt.

**Tabelle 7-2 Schleifradcharakteristiken**

| <b>Experi-<br/>mentelles<br/>Schleifra-<br/>d</b><br>(agglomerierte<br>Probenbei-<br>spiel 7,<br>Tabelle<br>7-1) | <u>Schleifradzusamm-<br/>ensetzung</u><br><u>Volumen-%</u><br>Schleifm. <sup>a</sup><br>Bindung <sup>b</sup><br>Porosität |                            |                                   | Gewic-<br>ht-%<br>Agglo-<br>m-<br>erate        | Gewi-<br>cht-<br>%<br>Bind-<br>ung  | Schle-<br>if-<br>rad-<br>dicht-<br>e<br>g/cc |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|
|                                                                                                                  |                                                                                                                           |                            |                                   |                                                |                                     |                                              |
| Alle mit<br>Härtegrad<br>D                                                                                       |                                                                                                                           |                            |                                   |                                                |                                     |                                              |
| <b>W1 (A1)</b>                                                                                                   | 30                                                                                                                        | 24                         | 46                                | 88,3                                           | 11,7                                | 1,492                                        |
| <b>W2 (A2)</b>                                                                                                   | 30                                                                                                                        | 24                         | 46                                | 88,3                                           | 11,7                                | 1,492                                        |
| <b>W3 (A3)</b>                                                                                                   | 30                                                                                                                        | 24                         | 46                                | 88,3                                           | 11,7                                | 1,492                                        |
| <b>W4 (A4)</b>                                                                                                   | 34                                                                                                                        | 20                         | 46                                | 93,3                                           | 6,7                                 | 1,599                                        |
|                                                                                                                  |                                                                                                                           |                            |                                   |                                                |                                     |                                              |
| <b>Vergleich-<br/>bare<br/>Probe Nr.<br/>(gewerb-<br/>liche<br/>Bestim-<br/>mung)<sup>c</sup></b>                | Körnung<br>Vol.-%                                                                                                         | Bind-<br>ung<br>Vol.<br>-% | Poro-<br>sitä-<br>t<br>Vol.<br>-% | Gewic-<br>ht- %<br>Schle-<br>if-<br>mitte<br>l | Ge-<br>wich-<br>t-%<br>Bind-<br>ung |                                              |
| <b>C1L</b><br>38A80-L9<br>B18<br>Kein<br>Agglomera-<br>t                                                         | 46                                                                                                                        | 25                         | 29                                | 84,6                                           | 15,4                                | 2,149                                        |
| <b>C1P</b>                                                                                                       | 46                                                                                                                        | 31                         | 23                                | 81,6                                           | 18,4                                | 2,228                                        |

|           |  |  |  |  |  |  |
|-----------|--|--|--|--|--|--|
| 38A80- P9 |  |  |  |  |  |  |
| B18       |  |  |  |  |  |  |
| Kein      |  |  |  |  |  |  |
| Agglomera |  |  |  |  |  |  |
| t         |  |  |  |  |  |  |

a) Bei einer 46 Vol.-% Schleifkörnung enthielten die vergleichbaren Schleifräder einen größeren Volumen-%-Anteil an Schleifkörnung (z.B. 12 - 16 Volumen-% mehr), als die experimentellen Schleifräder, die entweder mit einer 30 oder 34 Vol.-% Schleifkörnung hergestellt waren.

b) Die Werte für die Volumen-% Bindung der experimentellen Schleifräder enthalten den Volumen-%-Anteil des Harzbindemittels, das auf den Körnungen zur Herstellung der Agglomerate sowie des Bindemittels, das zur Herstellung der Schleifräder verwendet wird. Beruhend auf vorläufigen Testbeobachtungen wurden die experimentellen Schleifräder (Volumenprozent-Komponenten) auf einen Härtegrad D auf der Härtegradskala für gewerbliche Schleifräder der Firma Norton formuliert.

c) Bei den vergleichbaren Schleifradproben handelte es sich um Produktformulierungen, die von der Firma Saint-Gobain Abrasives, Inc., Worcester, MA, U.S.A., erhalten wurden und unter den für jedes Schleifrad in Tabelle 7-2 designierten alphanumerischen Schleifradbestimmungen verkauft werden.

Die Schleifräder enthalten eine Phenolharzbindung,  $\text{CaF}_2$  und hohle Mullitkugeln, 38A Aluminiumoxid-Schleifkörnung und haben einen Härtegrad (Härtegradskala der Firma Norton) wie angezeigt, von entweder L oder P.

Diese Schleifräder wurden in einem Tiefschleifverfahren getestet und für die gewerbliche Anwendung für geeignet befunden. Die Schleifräder wurden gegenüber den in Tabelle

7-2 beschriebenen, vergleichbaren gewerblichen Schleifrädern getestet, die für die Verwendung in Tiefschleifverfahren empfohlen waren. Die vergleichbaren Schleifräder hatten dieselben Größendimensionen, dieselbe Schleifkörnung und Bindemitteltypen und waren ansonsten als vergleichbare Schleifräder zur Auswertung der Tiefschleifstudie geeignet, wurden jedoch ohne Agglomeratkörnung hergestellt. Die Ergebnisse dieser Schleiftests werden in Tabelle 7-3 aufgezeigt.

### Schleiftest

Die Schleifräder gemäß der Erfindung und die vergleichbaren Schleifräder wurden mit einem kontaktreichen Flachsleiftest getestet, der zur Nachahmung von gewerblichen Scheibenschleifverfahren entwickelt wurde. Die nachfolgenden Konditionen wurden verwendet.

#### Schleifkonditionen:

Maschine: Okuma GI-20N, AD/ID-Schleifmaschine

Schleifmodus: Tiefschleifen (Oberfläche): Schleifscheibensimulationstest

Schleifradgeschwindigkeit: 6000 U/min; 27,9 m/sec (5498 sfpm)

Betriebsgeschwindigkeit: 10 U/min; 0,106 m/sec/20,9 sfpm

Zuführungsrate: 0,0044 mm/s (0,0105 Zoll/min) / 0,0089 mm/s (0,0210 Zoll)

Kühlmittel: Trim VHPE210, 5 % Verhältnis mit entionisiertem Grundwasser

Werkstückmaterial: 52100 Stahl 20,3 cm AD (8 Zoll) x 17,8 cm ID (7 Zoll) x 1,27 cm Rand (0,50 Zoll), Rc-60 Härte

Abrichtung: Diamantanhäufung; comp. 0,001 Zoll, 0,01 Zoll  
Leitung

**Tabelle 7-3. Schleiftestergebnisse**

| Probe | Zu-<br>führung | SVR<br>(mm <sup>3</sup> /s) | MER<br>(mm <sup>3</sup> /s) | Leis-<br>tung | G-Faktor | G-Faktor/<br>Schleif- | Spezi-<br>fische |
|-------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------|----------|-----------------------|------------------|
|-------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------|----------|-----------------------|------------------|

| (Tabelle<br>7-2)          | mm/rev |       |       | W    |       | mittel Vol..<br>Fraktion <sup>a</sup> | Energie<br>J/mm <sup>3</sup> |
|---------------------------|--------|-------|-------|------|-------|---------------------------------------|------------------------------|
| <b>C1L</b>                | 0,0533 | 1,682 | 63,47 | 2160 | 37,7  | 82,0                                  | 34,03                        |
|                           | 0,0267 | 0,310 | 32,96 | 1440 | 106,5 | 231,5                                 | 43,69                        |
|                           |        |       |       |      |       |                                       |                              |
| <b>C1P</b>                |        |       |       |      |       |                                       |                              |
| <b>Schleif-<br/>rad C</b> | 0,0533 | 0,606 | 65,93 | 2274 | 108,7 | 236,4                                 | 34,49                        |
|                           | 0,0267 | 0,133 | 33,43 | 2693 | 251,5 | 546,7                                 | 80,56                        |
|                           |        |       |       |      |       |                                       |                              |
| <b>Schleif-<br/>rad D</b> | 0,0533 | 0,402 | 66,42 | 2713 | 165,1 | 358,8                                 | 40,84                        |
|                           | 0,0267 | 0,109 | 33,37 | 2474 | 305,5 | 664,1                                 | 74,13                        |
|                           |        |       |       |      |       |                                       |                              |
| <b>SR1</b>                | -      | -     | -     | -    |       |                                       | -                            |
|                           | 0,0267 | 0,062 | 33,50 | 1975 | 54,2  | 1804                                  | 58,95                        |
|                           |        |       |       |      |       |                                       |                              |
| <b>SR2</b>                | 0,0533 | 0,231 | 66,73 | 2792 | 288,6 | 961,9                                 | 41,84                        |
|                           | 0,0267 | 0,061 | 33,48 | 2154 | 548,8 | 1829                                  | 64,35                        |
|                           |        |       |       |      |       |                                       |                              |
| <b>SR3</b>                | 0,0533 | 0,244 | 66,73 | 2892 | 273,5 | 911,7                                 | 43,34                        |
|                           | 0,0267 | 0,059 | 33,53 | 2194 | 566,6 | 1889                                  | 65,43                        |
|                           |        |       |       |      |       |                                       |                              |
|                           |        |       |       |      |       |                                       |                              |
| <b>SR4</b>                | 0,0267 | 0,116 | 33,43 | 1915 | 289,1 | 850,4                                 | 57,28                        |
|                           |        |       |       |      |       |                                       |                              |

a. Bei der G-Fraktion/Schleifmittelvolumen-%-Fraktion handelt es sich um ein Maß der Schleifleistung der Körnung in dem Schleifrad. Die Kalkulierung normalisiert die Schleifleistung, um die erheblichen Unterschiede im Volumen-%-Anteil der Schleifkörnung in den experimentellen und vergleichbaren Schleifrädern zu berücksichtigen. Es ist deutlich sichtbar, dass die Schleifkörnung der experimentellen Schleifräder eine erheblich bessere Schleifeffizienz auf einer Volumenfraktionsbasis

bereitstellt (d.h. es wird weniger Körnung benötigt, um denselben Grad an Schleifeffizienz zu liefern).

Die Ergebnisse zeigen, dass die gemäß der Erfindung hergestellten Schleifräder resistent gegen Schleifradverschleiß waren, jedoch ebenfalls in der Lage waren, bei Zuführungsraten und Materialentfernungsraten (MER) betrieben zu werden, die den nächsten vergleichbaren Schleifrädern gleichwertig sind, bei entweder längeren Schleifradstandzeiten (SVR) bei gleichwertigen, spezifischen Schleifenergien oder niedrigeren, spezifischen Schleifenergien bei einer gleichwertigen Schleifradstandzeit. Das experimentelle Schleifrad (SR4) mit einem höheren Volumenprozentanteil an Schleifkörnung (34 %), wies unerwarteterweise eine höhere Schleifradverschleißrate auf, als die der anderen experimentellen Schleifräder, die weniger Schleifkörnung (30 %) enthielten. Bei einer Zuführung von 0,0267 wiesen sämtliche experimentellen Schleifräder eine niedrigere, spezifische Energie bei einer vorgegebenen MEF auf, als die vergleichbaren Schleifräder. Da die niedrigere, spezifische Schleifenergie einem niedrigeren Brandpotenzial entspricht, weisen die Schleifräder gemäß der Erfindung erwartungsgemäß weniger Werkstückbrand auf, als die vergleichbaren Schleifräder. Weiterhin lieferten die experimentellen Schleifräder relativ zu den vergleichbaren Schleifrädern eine erheblich bessere Schleifeffizienz auf einer Schleifkörnungs-Volumenfraktionsbasis auf (d.h. es wird weniger Körnung benötigt, um denselben Grad an Schleifeffizienz zu liefern). Dieses Ergebnis widersetzt sich der herkömmlichen Erkenntnis der gebundenen Schleiftechnologie, dass ein Schleifrad mit einem höheren Härtegrad, das mehr Körnung enthält, resistent gegen Verschleiß ist und eine bessere Schleifradstandzeit und Schleifeffizienz bereitstellt, als ein Schleifrad mit einem niedrigeren (weicheeren) Härtegrad. Deshalb war die herausragende Leistung der Schleifräder gemäß der Erfindung signifikant und unerwartet.

**Beispiel 8**Schleifräder

Die Agglomeratproben A4 und A5 wurden verwendet, um Topfschleifräder des Typs 6 herzustellen (fertige Größe: 12,7 x 5,08 x 1,59 - 3,81 cm Rand) (5,0 x 2,0 x 0,625 - 1,5 Zoll Rand). Die experimentellen Schleifräder wurden gemäß dem oben in Beispiel 7 beschriebenen Verfahren hergestellt.

Während dem Formen und Pressen der grünen Schleifräder unter Anwendung der Agglomerate wurde beobachtet, dass ein gewisses Grad an Verdichtung der Mischung notwendig war, um ein ausgehärtetes Schleifrad mit ausreichender mechanischen Festigkeit zur Verwendung in Tiefschleifverfahren zu erhalten. Wurde die Gussform mit der Mischung aus Bindung und Agglomeraten gefüllt und im Wesentlichen keine Verdichtung während dem Formen stattfand, so dass die Agglomerate ihre ursprüngliche LPD beibehielten, so zeigten die daraus entstandenen, ausgehärteten experimentellen Schleifräder keinen Vorteil beim Schleifen gegenüber den vergleichbaren Schleifrädern. Wurde jedoch ein ausreichender Druck auf die geformte Mischung aus Agglomeraten und Bindung beaufschlagt, um das Mischvolumen um mindestens 8 Volumen-% zu verdichten, wiesen die Schleifräder eine verbesserte Schleifleistung in den Tiefschleiftests auf. Es wurde beobachtet, dass die Verdichtungsvolumenwerte, die in einem Bereich von 8 - 35 Volumen-% lagen (beruhend auf der ursprünglichen LPD der Agglomerate und dem Volumen der Mischung, die in die Gussform gegeben wurde), betriebsfähige Schleifräder produzierten, welche die Vorteile gemäß der Erfindung aufwiesen. Es wurde weiterhin beobachtet, dass ein Zerknischen von 8 bis 15 Volumen-% der Agglomerate die Schleifleistung des mit solchen Agglomeraten hergestellten Schleifrads nicht veränderte.

Die fertigen Schleifräder wurden gemäß den gewerblich ausgeführten Geschwindigkeitstest auf Sicherheit geprüft um sicherzustellen, dass die Schleifräder eine ausreichende mechanische Festigkeit für die Rotationsbewegung, wenn an der Schleifmaschine befestigt, und ebenfalls eine ausreichende mechanische Festigkeit für das Schleifverfahren aufwiesen. Sämtliche experimentellen Schleifräder überstanden einen 6308 U/min Geschwindigkeitstest und hatten daher eine ausreichende mechanische Festigkeit für die Tief-schleifverfahren.

Die Zusammensetzung der Schleifräder (einschließlich Volumen-% der Schleifmittel, Bindung und Porosität in den gefeuerten Schleifrädern) werden in Tabelle 8-1 aufgeführt.

**Tabelle 8-1 Schleifradcharakteristiken**

| Schleifrad<br>(agglom-<br>erierter Proben-<br>Beispiel 2,<br>Tabelle 7-1 )<br>Härtegrad | Elas-<br>tischer<br>Modul<br>GPa | <u>Schleifradzusammensetzung</u><br><u>Volumen-%</u><br>Schleifm. <sup>a</sup> Bindung <sup>d</sup> Porosität |                       |                          | Ge-<br>wicht-<br>%<br>Agglo-<br>merat    | Ge-<br>wicht-<br>% Bin-<br>dung | Luft-<br>durch-<br>lässig-<br>keit <sup>d</sup> | Schleif-<br>rad-<br>dich-<br>teg/cc |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Probe Nr.                                                                               |                                  |                                                                                                               |                       |                          |                                          |                                 |                                                 |                                     |
| SR5 (A4) D                                                                              | 3,290                            | 30                                                                                                            | 24                    | 46                       | 87,4                                     | 12,6                            | 7,9                                             | 1,492                               |
| SR6 (A4) D                                                                              | 3,305                            | 34                                                                                                            | 20                    | 46                       | 92,4                                     | 7,6                             | 7,5                                             | 1,599                               |
| SR7 (A4) A                                                                              | 1,458                            | 30                                                                                                            | 18                    | 52                       | 92,2                                     | 7,8                             | 10,8                                            | 1,415                               |
| SR8 (A5) D                                                                              | 3,755                            | 34                                                                                                            | 20                    | 46                       | 93,3                                     | 6,7                             | 5,8                                             | 1,599                               |
| SR9 (A4) G                                                                              | 4,615                            | 30                                                                                                            | 30                    | 40                       | 83,1                                     | 16,9                            | 4,4                                             | 1,569                               |
| Vergleichs-<br>probe Nr.<br>(gewerbliche<br>Bestimmung) <sup>c</sup>                    | Elas-<br>tischer<br>Modul<br>GPa | Körnung<br>Vol.-%                                                                                             | Bindun<br>g<br>Vol.-% | Poro-<br>sität<br>Vol.-% | Ge-<br>wicht-<br>%<br>Schleif-<br>mittel | Ge-<br>wicht-<br>% Bin-<br>dung | Luft-<br>Durch-<br>lässig-<br>keit              | Schleif-<br>rad-<br>dichte<br>g/cc  |
| C2I<br>38A80 I9 B18<br>Kein                                                             | 14,883                           | 46,0                                                                                                          | 21,2                  | 32,8                     | 86,6                                     | 13,4                            | 1,1                                             | 2,098                               |

| Agglomerat                                       |        |      |      |      |      |      |     |       |
|--------------------------------------------------|--------|------|------|------|------|------|-----|-------|
| <b>C2L</b><br>38A80-L9 B18<br>Kein<br>Agglomerat | 18,001 | 46,0 | 25,0 | 29,0 | 84,6 | 15,4 | 0,7 | 2,149 |
| <b>C2P</b><br>38A80-P9 B18<br>Kein<br>Agglomerat | 20,313 | 46,0 | 31,0 | 23,0 | 81,6 | 18,4 | 0,3 | 2,228 |
| <b>C2T</b><br>38A80-T9 B18<br>Kein<br>Agglomerat | 25,464 | 46,0 | 38,3 | 15,7 | 78,2 | 21,8 | 0,1 | 2,325 |

a) Bei einer 46 Vol.-% Schleifkörnung enthielten die vergleichbaren Schleifräder einen größeren Volumen-%-Anteil an Schleifkörnung (z.B. 12 - 16 Volumen-% mehr), als die experimentellen Schleifräder, die entweder mit einer 30 oder 34 Vol.-% Schleifkörnung hergestellt waren.

b) Die Werte für die Volumen-% Bindung der experimentellen Schleifräder enthalten den Volumen-%-Anteil des Harzbindemittels, das auf den Körnungen zur Herstellung der Agglomerate sowie den Volumen-%-Anteil des Bindemittels, das zur Herstellung der Schleifräder verwendet wird.

Schleifräder SR5, SR6 und SR8 wurden mit einem Härtegrad D auf der Norton Härtegradskala hergestellt. Schleifrad SR7 wurde mit einem Härtegrad A und Schleifrad SR9 mit einem Härtegrad G der Härtegradskala für gewerbliche Schleifräder der Firma Norton hergestellt.

c) Bei den vergleichbaren Schleifradproben handelte es sich um Produktformulierungen, die von der Firma Saint-Gobain Abrasives, Inc., Worcester, MA, U.S.A., erhalten wurden und unter den für jedes Schleifrad in Tabelle 8-1 designierten alphanumerischen Schleifradbestimmungen verkauft werden.

Die Schleifräder enthalten eine Phenolharzbindung,  $\text{CaF}_2$ , hohle Mullitkugeln, 38A Aluminiumoxid-Schleifkörnung und haben einen Härtegrad (gewerbliche Härtegradskala der Firma Norton) wie angezeigt, von I, L, P oder T.

Bei der visuellen Prüfung aus der Querschnittssicht der ausgehärteten, experimentellen Schleifräder hatte es den Anschein, dass das Phenolharz, das dazu verwendet wurde, um die Agglomerate in den Schleifrädern zusammen zu binden, zu den Hohlräumen um die Agglomeratoberflächen hin gezogen wurde und einige oder alle Hohlräume ausfüllte. Dies wurde weder bei den grünen Schleifrädern oder den Schleifrädern, die mit Hochviskositäts-Schleifradharz hergestellt wurden, beobachtet. Diese Beobachtungen deuten darauf hin, dass die Bindung während dem thermischen Aushärteverfahren in die Hohlräume der Agglomerate angesaugt wurde. Es wird angenommen, dass diese Bindungsmigration während dem Aushärteschritt die Porosität der Intraagglomerate wirksam reduziert und die Porosität der Interagglomerate wirksam erhöht hat, und zwar relativ zu einer theoretischen Verteilung der Porosität innerhalb der und zwischen den Agglomeraten. Das Nettoergebnis war das Erzeugen einer Verbundstoffstruktur, die eine Körnungs-/Bindungsgrundsubstanz innerhalb einer kontinuierlichen Phase hat, die eine Porosität von einer verbundenen Natur umfasst.

Diese experimentellen Schleifräder wurden in einem Tiefschleifverfahren getestet und für die gewerbliche Anwendung für geeignet befunden. Die Schleifräder wurden gegenüber den in Tabelle 8-1 beschriebenen, vergleichbaren gewerblichen Schleifrädern getestet, die gewerblich für Tiefschleifverfahren eingesetzt werden. Die vergleichbaren Schleifräder hatten dieselben Größendimensionen, dieselbe Schleifkörnung und Bindemitteltypen und waren ansonsten zur Auswertung der experimentellen Schleifräder in einer Tiefschleifstudie vergleichbare Schleifräder, wurden jedoch

ohne Agglomeratkörnung hergestellt. Die Schleiftestkonditionen und Ergebnisse werden nachfolgend und in der Tabelle 8-2 aufgezeigt.

### Schleiftest

Die Schleifräder gemäß der Erfindung und die vergleichbaren Schleifräder wurden mit einem kontaktreichen Flachsleiftest getestet, der zur Nachahmung von gewerblichen Scheibenschleifverfahren entwickelt wurde. Die nachfolgenden Konditionen wurden verwendet.

#### Schleifkonditionen:

Maschine: Schienenschleifer; maximale Leistung: 45 PS

Schleifmodus: Tiefschleifen (Schleifscheibensimulationstest)

Schleifradgeschwindigkeit: 4202 U/min; 27,9 m/sec (5500 sfpm)

Betriebsgeschwindigkeit: 3 U/min; 0,192 m/sec/37,7 sfpm

Zuführungsrate: 0,0686 mm/rev (0,0027 Zoll/rev) und 0,1016 mm/rev (0,0004 Zoll/rev)

Schleifzeit: 15 Minuten

Ausfunkzeit: 10 Sek.

Kühlmittel: Trim Clear, 2 % Verhältnis mit entionisiertem Grundwasser

Werkstückmaterial: 1070 Stahl 1,22 m AD (48 Zoll) x 1,18 m ID (46,5 Zoll) x 1,91 cm Rand (0,75 Zoll), HB 300-331

Brinnell-Härte; keine Abrichtung

**Tabelle 8-2. Schleiftestergebnisse**

| Probe<br>(Tabelle<br>8-1) &<br>Härte-<br>grad | Zuführung<br>(mm/rev) | SVR<br>(mm <sup>3</sup> /s) | MER<br>(mm <sup>3</sup> /s) | Leistung<br>(W) | G-Faktor<br>MER/<br>SVR | G-Faktor/<br>Schleif-<br>mittel-<br>Vol.-<br>Fraktion <sup>a</sup> | Spe-<br>zifische<br>Schleif-<br>energie<br>(J/mm <sup>3</sup> ) |
|-----------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| <b>C2 I</b>                                   | 0.0686                | 18,35                       | 125,07                      | 5368            | 6,81                    | 14,81                                                              | 42,92                                                           |

|              |        |       |        |       |       |       |       |
|--------------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
|              | 0,1016 | 35,65 | 128,51 | 5100  | 3,60  | 7,84  | 39,69 |
| <b>C2 L</b>  | 0,0686 | 13,83 | 155,37 | 7242  | 11,24 | 24,43 | 46,61 |
|              | 0,1016 | 28,93 | 173,32 | 7372  | 5,99  | 13,02 | 42,54 |
| <b>C2 P</b>  | 0,0686 | 11,96 | 168,04 | 8646  | 14,05 | 30,53 | 51,45 |
|              | 0,1016 | 24,91 | 200,38 | 9406  | 8,04  | 17,49 | 46,94 |
|              | 0,0686 | 11,56 | 171,39 | 8700  | 14,83 | 32,23 | 50,76 |
|              | 0,1016 | 25,29 | 198,16 | 8906  | 7,84  | 17,03 | 44,94 |
| <b>C2 T</b>  | 0,0686 | 8,56  | 190,95 | 10430 | 22,31 | 48,51 | 54,62 |
|              | 0,1016 | 21,03 | 226,52 | 11012 | 10,77 | 23,42 | 48,61 |
|              | 0,0686 | 8,33  | 192,48 | 10013 | 23,10 | 50,22 | 52,02 |
|              | 0,1016 | 20,56 | 230,27 | 10857 | 11,20 | 24,35 | 47,15 |
|              |        |       |        |       |       |       |       |
| <b>SR5 D</b> | 0,0686 | 9,50  | 184,57 | 7962  | 19,42 | 64,74 | 43,14 |
|              | 0,1016 | 23,87 | 207,37 | 8109  | 8,69  | 28,96 | 39,10 |
|              | 0,0686 | 9,83  | 182,44 | 7731  | 18,56 | 61,85 | 42,38 |
|              | 0,1016 | 24,11 | 206,15 | 7970  | 8,55  | 28,50 | 38,66 |
| <b>SR6 D</b> | 0,0686 | 13,57 | 157,10 | 6267  | 11,58 | 34,04 | 39,89 |
|              | 0,1016 | 30,08 | 165,42 | 6096  | 5,50  | 16,17 | 36,85 |
|              | 0,0686 | 13,98 | 154,66 | 6142  | 11,07 | 32,54 | 39,72 |
|              | 0,1016 | 27,93 | 179,91 | 6463  | 6,44  | 18,95 | 35,93 |
| <b>SR7 A</b> | 0,0686 | 23,25 | 91,73  | 3278  | 3,95  | 13,15 | 35,73 |
|              | 0,1016 | 39,67 | 101,05 | 3330  | 2,55  | 8,49  | 32,95 |
|              | 0,0508 | 15,15 | 82,10  | 3083  | 5,42  | 18,07 | 37,56 |
|              | 0,0686 | 23,14 | 92,44  | 3321  | 3,99  | 13,31 | 35,93 |
|              | 0,1016 | 39,33 | 103,27 | 3434  | 2,63  | 8,75  | 33,26 |
|              | 0,0508 | 14,73 | 84,94  | 3179  | 5,77  | 19,22 | 37,43 |
| <b>SR8 D</b> | 0,0686 | 13,48 | 158,01 | 6523  | 11,72 | 34,47 | 41,28 |
|              | 0,1016 | 28,04 | 179,60 | 6810  | 6,41  | 18,84 | 37,92 |
|              | 0,0686 | 12,94 | 161,36 | 6533  | 12,47 | 36,67 | 40,49 |
|              | 0,1016 | 26,04 | 192,77 | 7139  | 7,40  | 21,77 | 37,03 |
| <b>SR9 G</b> | 0,0686 | 5,15  | 214,05 | 10317 | 41,57 | 138,6 | 48,20 |
|              | 0,1016 | 16,84 | 254,80 | 10761 | 15,13 | 50,42 | 42,23 |
|              | 0,0686 | 5,39  | 213,34 | 10274 | 39,58 | 131,9 | 48,16 |
|              | 0,1016 | 16,72 | 255,62 | 10677 | 15,28 | 50,95 | 41,77 |

a. Bei der G-Fraktion/Schleifmittelvolumen-%-Fraktion handelt es sich um ein Maß der Schleifleistung der Körnung in dem Schleifrad. Die Kalkulierung normalisiert die Schleifleistung, um die erheblichen Unterschiede im Volumen-%-Anteil der Schleifkörnung in den experimentellen und vergleichbaren Schleifrädern zu berücksichtigen. Es ist deutlich sichtbar, dass die Schleifkörnung der experimentellen Schleifräder eine erheblich bessere Schleifeffizienz auf einer Volumenfraktionsbasis bereitstellt (d.h. es wird weniger Körnung benötigt, um denselben Grad an Schleifeffizienz zu liefern).

Die Ergebnisse zeigen, dass die gemäß der Erfindung hergestellten Schleifräder entweder längere Schleifradstandzeiten (SVR) bei gleichwertigen, spezifischen Schleifenergien oder niedrigere, spezifische Schleifenergien bei einer gleichwertigen Schleifradstandzeit aufwiesen. Da die niedrigere, spezifische Schleifenergie einem niedrigeren Brandpotenzial entspricht, weisen die Schleifräder gemäß der Erfindung erwartungsgemäß weniger Werkstückbrand auf, als die vergleichbaren Schleifräder.

Weiterhin lieferten die experimentellen Schleifräder relativ zu den vergleichbaren Schleifrädern eine erheblich bessere Schleifeffizienz auf einer Schleifkörnungs-Volumenfraktionsbasis auf (d.h. es wird weniger Körnung benötigt, um denselben Grad an Schleifeffizienz zu liefern). Dieses Ergebnis widersetzt sich der herkömmlichen Erkenntnis der gebundenen Schleiftechnologie, dass ein Schleifrad mit einem höheren Härtegrad, das mehr Körnung enthält, resistent gegen Verschleiß ist und eine bessere Schleifradstandzeit und Schleifeffizienz bereitstellt, als ein Schleifrad mit einem niedrigeren (weicheeren) Härtegrad.

Deshalb konnten die experimentellen Schleifräder, die eine ausreichende, für gewerbliche Zwecke akzeptable mechanische Festigkeit hatten, jedoch vergleichbar niedrige, messbare

Härtegrade und vergleichbar hohe Beträge an verbundener Porosität aufwiesen, die als eine kontinuierliche Phase innerhalb der Schleifgrundsubstanz des Schleifrads existiert, gemäß der Erfindung hergestellt und betrieben werden.

### **Beispiel 9**

#### Schleifräder

Die Agglomeratprobe A6 wurde verwendet, um Topfschleifräder des Typs 6 herzustellen (fertige Größe: 12,7 x 5,08 x 1,59 - 3,81 cm Rand) (5,0 x 2,0 x 0,625 - 1,5 Zoll Rand). Die experimentellen Schleifräder wurden gemäß dem oben in Beispiel 7 beschriebenen Verfahren hergestellt. Die fertigen Schleifräder wurden gemäß den gewerblich ausgeführten Geschwindigkeitstest auf Sicherheit geprüft um sicherzustellen, dass die Schleifräder eine ausreichende mechanische Festigkeit für die Rotationsbewegung, wenn an der Schleifmaschine befestigt, und ebenfalls eine ausreichende mechanische Festigkeit für das Schleifverfahren aufwiesen.

Sämtliche experimentellen Schleifräder überstanden einen 6308 U/min Geschwindigkeitstest und hatten daher eine ausreichende mechanische Festigkeit für die Tiefschleifverfahren.

Die Zusammensetzung der Schleifräder (einschließlich Volumen-% der Schleifmittel, Bindung und Porosität in den gefeuerten Schleifrädern) werden in Tabelle 9-1 aufgeführt.

**Tabelle 9-1 Schleifradcharakteristiken**

| Experi-<br>mentelles<br>Schleifrad<br>(agglomerierte<br>Proben Beispiel<br>3)<br>Härtegrad | Agglomer-<br>ierte Probe<br>(Tabelle 7-<br>1) | <u>Schleifradzusammensetzung</u> |                      |           | Ge-<br>wicht-%<br>Agglo-<br>merat | Ge-<br>wicht-<br>% Bin-<br>dung | Elastischer<br>Modul<br>GPa |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------|----------------------|-----------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
|                                                                                            |                                               | <u>Volumen-%</u>                 |                      |           |                                   |                                 |                             |
|                                                                                            |                                               | Schleifm. <sup>a</sup>           | Bindung <sup>b</sup> | Porosität |                                   |                                 |                             |
| Probe Nr.                                                                                  |                                               |                                  |                      |           |                                   |                                 |                             |
| SR10 D                                                                                     | A6                                            | 30                               | 24                   | 46        | 88,3                              | 11,7                            | 3,414                       |
| SR11 A                                                                                     | A6                                            | 30                               | 18                   | 52        | 93,1                              | 6,9                             | 1,906                       |

a) Die Werte für die Volumen-% Bindung der experimentellen Schleifräder enthalten den Volumen-%-Anteil des Harzbindemittels, das auf den Körnungen zur Herstellung der Agglomerate sowie den Volumen-%-Anteil des Bindemittels, das zur Herstellung der Schleifräder verwendet wird.

Eine visuelle Prüfung der ausgehärteten, experimentellen Schleifräder, wie bei dem vorherigen Beispiel 8, ergab eine Migration der Bindung in Hohlräume an der Oberfläche oder innerhalb der Agglomerate. Auch hier stellte das Nettoergebnis eine Erzeugung einer Verbundstoffstruktur, die eine Schleifkörnungs-/Bindungsgrundsubstanz innerhalb einer kontinuierlichen Phase enthält, die eine Porosität von verbundener Natur umfasst.

Diese experimentellen Schleifräder wurden in dem Tiefschleifverfahren aus Beispiel 8 getestet und für geeignet befunden. Die Schleifergebnisse der experimentellen Schleifräder wurden gegenüber den Ergebnissen der vier in Tabelle 8-1 beschriebenen, vergleichbaren Schleifräder verglichen. Die vergleichbaren Schleifräder hatten dieselben Größendimensionen, dieselbe Schleifkörnungstypen und waren ansonsten zur Auswertung der experimentellen Schleifräder in einer Tiefschleifstudie geeignet, wurden jedoch

ohne Agglomeratkörnung hergestellt. Die Ergebnisse dieser Schleiftests werden in der Tabelle 9-2 aufgezeigt.

**Tabelle 9-2. Schleiftestergebnisse Nr. 3.924**

| Schleifrad-<br>probe<br>(Tabelle 9-<br>1)<br>Härtegrad | Zuführung<br>(mm/rev) | SVR<br>(mm <sup>3</sup> /s) | MER<br>(mm <sup>3</sup> /s) | Leis-<br>tung<br>(W) | G-<br>Faktor<br>MER/<br>SVR | G-Faktor/<br>Schleif-<br>mittel<br>Vol.-<br>Fraktion <sup>a</sup> | Spe-<br>zifische<br>Schleif-<br>energie<br>(J/mm <sup>3</sup> ) |
|--------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| <b>SR10 D</b>                                          | 0,0686                | 6,15                        | 206,97                      | 9397                 | 33,63                       | 112,1                                                             | 45,40                                                           |
|                                                        | 0,1016                | 18,72                       | 241,93                      | 9697                 | 12,93                       | 43,1                                                              | 40,08                                                           |
|                                                        | 0,0508                | 6,80                        | 202,82                      | 9147                 | 29,82                       | 99,4                                                              | 45,10                                                           |
|                                                        | 0,0686                | 17,69                       | 248,92                      | 10143                | 14,07                       | 46,9                                                              | 40,75                                                           |
| <b>SR11 A</b>                                          | 0,0686                | 18,48                       | 124,05                      | 4733                 | 6,71                        | 22,4                                                              | 38,16                                                           |
|                                                        | 0,1016                | 34,70                       | 133,99                      | 4777                 | 3,86                        | 12,9                                                              | 35,65                                                           |
|                                                        | 0,0508                | 12,34                       | 100,74                      | 3979                 | 8,16                        | 27,2                                                              | 39,50                                                           |
|                                                        | 0,0686                | 18,15                       | 125,98                      | 4721                 | 6,94                        | 23,1                                                              | 37,48                                                           |
|                                                        | 0,1016                | 34,78                       | 133,59                      | 4768                 | 3,84                        | 12,8                                                              | 35,69                                                           |
|                                                        | 0,0508                | 11,75                       | 104,70                      | 4083                 | 8,91                        | 29,7                                                              | 39,00                                                           |
| <b>C2 L</b>                                            | 0,0686                | 13,83                       | 155,37                      | 7242                 | 11,24                       | 24,43                                                             | 46,61                                                           |
|                                                        | 0,1016                | 28,93                       | 173,32                      | 7372                 | 5,99                        | 13,02                                                             | 42,54                                                           |

a. Bei der G-Fraktion/Schleifmittelvolumen-%-Fraktion handelt es sich um ein Maß der Schleifleistung der Körnung in dem Schleifrad. Die Kalkulierung normalisiert die Schleifleistung, um die erheblichen Unterschiede im Volumen-%-Anteil der Schleifkörnung in den experimentellen und vergleichbaren Schleifrädern (Probe C2L in Tabelle 8-1) zu berücksichtigen. Es ist deutlich sichtbar, dass die Schleifkörnung der experimentellen Schleifräder eine erheblich bessere Schleifeffizienz auf einer Volumenfraktionsbasis bereitstellt (d.h. es wird weniger Körnung benötigt, um denselben Grad an Schleifeffizienz zu liefern).

Die experimentellen Schleifräder (A und D) mit einem relativ niedrigen Härtegrad wiesen höhere SVR, jedoch einen

niedrigeren Leistungszug auf, als die vergleichbaren Schleifräder, die im gleichen Schleifverfahren verwendet werden (z.B. Probe C2 L, ein Schleifrad mit Härtegrad L, in Tabelle 8-1). Die vergleichbaren Schleifräder in Tabelle 8-1 (Härtegrad L bis P) waren über 8 Härtegrade härter (auf der Norton Härteskala), als die experimentellen Schleifräder SR10 und SR11. Unerwarteterweise überschritt die Leistung der experimentellen Schleifräder (G-Faktor, MER und niedrigerer Stromverbrauch) die der vergleichbaren Schleifräder in den meisten der Testschleifabläufe.

Weiterhin lieferten die experimentellen Schleifräder relativ zu den vergleichbaren Schleifrädern eine erheblich bessere Schleifeffizienz auf einer Schleifkörnungs-Volumenfraktionsbasis auf (d.h. es wird weniger Körnung benötigt, um denselben Grad an Schleifeffizienz zu liefern). Dieses Ergebnis widersetzt sich der herkömmlichen Erkenntnis der gebundenen Schleiftechnologie, dass ein Schleifrad mit einem höheren Härtegrad, das mehr Körnung enthält, resistent gegen Verschleiß ist und eine bessere Schleifradstandzeit und Schleifeffizienz bereitstellt, als ein Schleifrad mit einem weicheren Härtegrad.

Deshalb konnten die experimentellen Schleifräder, die eine ausreichende, für gewerbliche Zwecke akzeptable mechanische Festigkeit hatten, jedoch vergleichbar niedrige, messbare Härtegrade und eine vergleichbar hohe verbundene Porosität aufwiesen, gemäß der Erfindung hergestellt und betrieben werden.

### **Beispiel 10**

#### Schleifräder

Die Agglomeratproben A7 und A8 wurden zur Herstellung der Schleifräder verwendet (fertige Größe: 12,7 x 5,08 x 1,59 - 3,81 cm Rand) (5,0 x 2,0 x 0,625 - 1,5 Zoll Rand). Für die

Schleifräder SR12 und SR13 wurde eine agglomerierte Probe verwendet, die in einem Größenverteilungsbereich von  $-10/+20$  Maschenweite gefiltert wurde. Für das Schleifrad SR14 wurde eine agglomerierte Probe verwendet, die in einem Größenverteilungsbereich von  $-14/+20$  Maschenweite gefiltert wurde. Die experimentellen Schleifräder wurden gemäß des im obigen Beispiel 7 beschriebenen Verfahrens hergestellt. Die fertigen Schleifräder wurden gemäß den gewerblich ausgeführten Geschwindigkeitstest auf Sicherheit geprüft um sicherzustellen, dass die Schleifräder eine ausreichende mechanische Festigkeit für die Rotationsbewegung, wenn an der Schleifmaschine befestigt, und ebenfalls eine ausreichende mechanische Festigkeit für das Schleifverfahren aufwiesen. Sämtliche experimentellen Schleifräder überstanden einen 6308 U/min Geschwindigkeitstest und hatten daher eine ausreichende mechanische Festigkeit für die Tief-schleifverfahren. Die Zusammensetzung der Schleifräder (einschließlich Volumen-% der Schleifmittel, Bindung und Porosität in den gefeuerten Schleifrädern) werden in Tabelle 10-1 beschrieben.

**Tabelle 10-1 Schleifradcharakteristiken**

| Experi-<br>mentelles<br>Schleifrad,<br>Härtegrad<br>Agglomerat<br>(Tabelle 7-1)<br>Größe | Elasti-<br>scher<br>Modul<br>GPa | <u>Schleifradzusammensetzung</u><br><u>Volumen-%</u><br>Schleifm.. <sup>a</sup> Bindung <sup>b</sup><br>Porosität |    |    | Gewicht-%<br>Agglomerat | Gewicht-<br>%<br>Bindung | Luft-<br>durch-<br>lässig-<br>keit <sup>d</sup> |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|-------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------|
|                                                                                          |                                  |                                                                                                                   |    |    |                         |                          |                                                 |
| <b>SR12 D</b><br>A7<br>$-10/+20$                                                         | 3,535                            | 30                                                                                                                | 24 | 46 | 88,3                    | 11,7                     | 13,3                                            |
| <b>SR13 D</b><br>A8<br>$-10/+20$                                                         | 3,469                            | 30                                                                                                                | 24 | 46 | 88,3                    | 11,7                     | 12,0                                            |
| <b>SR14 D</b>                                                                            | 3,689                            | 30                                                                                                                | 24 | 46 | 88,3                    | 11,7                     | 11,2                                            |

|                                                                                  |                                  |                   |                       |                          |                                 |                            |                |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------|
| A8<br>-14/+20                                                                    |                                  |                   |                       |                          |                                 |                            |                |
| <b>Vergleich-bare<br/>Probe Nr.<br/>(gewerbliche<br/>Bestimmung)<sup>c</sup></b> | Elasti-<br>scher<br>Modul<br>GPa | Körnung<br>Vol.-% | Bindun<br>g<br>Vol.-% | Poro-<br>sität<br>Vol.-% | Gewicht-%<br>Schleif-<br>mittel | Gewicht-<br>% Bin-<br>dung |                |
| C4L<br>38A46-L9 B18<br>Kein<br>Agglomerat                                        | 14,411                           | 46,0              | 25,0                  | 29,0                     | 84,6                            | 15,4                       | Nicht<br>zutr. |

a) Bei einer 46 Vol.-% Schleifkörnung enthielten die vergleichbaren Schleifräder einen größeren Volumen-%-Anteil an Schleifkörnung (z.B. 16 Volumen-% mehr), als die experimentellen Schleifräder, die mit einer 30 Vol.-% Schleifkörnung hergestellt waren.

b) Die Werte für die Volumen-% Bindung der experimentellen Schleifräder enthalten den Volumen-%-Anteil des Harzbindemittels, das auf den Körnungen zur Herstellung der Agglomerate sowie den Volumen-%-Anteil des Bindemittels, das zur Herstellung der Schleifräder verwendet wird.

c) Bei den vergleichbaren Schleifradproben handelte es sich um Produktformulierungen, die von der Firma Saint-Gobain Abrasives, Inc., Worcester, MA, U.S.A., erhalten wurden und unter den für jedes Schleifrad in Tabelle 10-2 designierten alphanumerischen Schleifradbestimmungen verkauft werden.

Die Schleifräder enthalten eine Phenolharzbindung,  $\text{CaF}_2$ , hohle Mullitkugeln, 38A Aluminiumoxid-Schleifkörnung und haben einen Härtegrad (gewerbliche Härtegradskala der Firma Norton) wie angezeigt, von L.

d) Die Flüssigkeits-(Luft-) Durchlässigkeit wird in Einheiten von cc/sec/Zoll an Wasser angegeben und wird mit einer 1,1 cm Düse durch das im U.S. Pat. Nr. 5,738,696 und 5,738,697 beschriebene Verfahren gemessen.

Eine visuelle Prüfung der ausgehärteten, experimentellen Schleifräder, wie bei den vorherigen Beispielen 8 und 9, ergab eine Migration der Bindung in Hohlräume an der Oberfläche oder innerhalb der Agglomerate. Das Nettoergebnis stellte eine Erzeugung einer Verbundstoffstruktur, die eine Schleifkörnungs-/Bindungsgrundsubstanz innerhalb einer kontinuierlichen Phase enthält, die aus einer Porosität von verbundener Natur besteht.

Diese experimentellen Schleifräder wurden in einem Tiefschleifverfahren getestet und für die gewerbliche Verwendung für geeignet befunden. Die experimentellen Schleifräder wurden gegenüber dem in Tabelle 10-1 beschriebenen, vergleichbaren Schleifrad, das gewerblich für Tiefschleifverfahren verwendet wird, verglichen. Die vergleichbaren Schleifräder hatten dieselben Größendimensionen, dieselbe Schleifkörnung und Bindemitteltypen und waren ansonsten zur Auswertung der experimentellen Schleifräder in einer Tiefschleifstudie geeignet, wurden jedoch ohne Agglomerate hergestellt.

Die Schleiftestkonditionen und Ergebnisse werden in der nachfolgenden Tabelle 10-2 aufgezeigt.

Schleifkonditionen:

Maschine: Schienenschleifer; maximale Leistung: 45 PS

Schleifmodus: Tiefschleifen (Schleifscheibensimulationstest)

Schleifradgeschwindigkeit: 4202 U/min; 27,9 m/sec (5500 sfpm)

Betriebsgeschwindigkeit: 6 U/min; (0,383 m/sec/75,4 sfpm)

Zuführungsrate: 0,0254 mm/rev (0,0010 Zoll/rev), 0,0356 mm/rev (0,0014 Zoll/rev) und 0,0686 mm/rev (0,0027 Zoll/rev)

Schleifzeit: 15 Minuten bei der jeweiligen Zuführungsrate;  
45 PS

Ausfunktzeit: 10 Sek.

Kühlmittel: Trim Clear, 2% Verhältnis mit entionisiertem Grundwasser

Werkstückmaterial: AISI 1070 Stahl 1,22 m AD (48 Zoll) x 1,18 m ID (46,5 Zoll) x 1,91 cm Rand (0,75 Zoll), HB 302 Brinnell-Härte

Abrichtung: Keine

**Table 10-2. Schleiftestergebnisse**

| Probe<br>(Tabelle<br>10-1)<br>Härte-<br>grad | Zu-<br>führung<br>(mm/rev) | SVR<br>(mm <sup>3</sup> /s) | MER<br>(mm <sup>3</sup> /s) | Lei-<br>stung<br>(W) | G-<br>Faktor | G-Faktor/<br>Schleifmittel<br>Vol. Fraktion <sup>a</sup> | Spezi-<br>fische<br>Schleif-<br>energie<br>(J/mm <sup>3</sup> ) |
|----------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| <b>C4 L</b>                                  | 0,0686                     | 49,58                       | 169,46                      | 6119                 | 3,42         | 7,43                                                     | 36,11                                                           |
|                                              | 0,0508                     | 28,77                       | 179,20                      | 7423                 | 6,23         | 13,5                                                     | 41,42                                                           |
|                                              | 0,0356                     | 17,52                       | 143,00                      | 6214                 | 8,16         | 17,7                                                     | 43,46                                                           |
|                                              |                            |                             |                             |                      |              |                                                          |                                                                 |
| <b>SR12 D</b>                                | 0,0686                     | 28,84                       | 309,44                      | 12249                | 10,73        | 35,8                                                     | 39,58                                                           |
|                                              | 0,0508                     | 18,54                       | 248,32                      | 10887                | 13,40        | 44,6                                                     | 43,84                                                           |
|                                              | 0,0356                     | 9,66                        | 196,12                      | 9831                 | 20,31        | 67,7                                                     | 50,13                                                           |
|                                              | 0,0254                     | 4,54                        | 156,08                      | 8876                 | 34,41        | 114,7                                                    | 56,87                                                           |
| <b>SR13 D</b>                                | 0,0686                     | 30,41                       | 299,50                      | 11613                | 9,85         | 32,8                                                     | 38,78                                                           |
|                                              | 0,0508                     | 19,35                       | 242,75                      | 10320                | 12,54        | 41,8                                                     | 42,51                                                           |
|                                              | 0,0356                     | 10,39                       | 191,15                      | 9386                 | 18,39        | 61,3                                                     | 49,10                                                           |
| <b>SR14 D</b>                                | 0,0686                     | 24,82                       | 336,59                      | 13467                | 13,56        | 45,2                                                     | 40,01                                                           |
|                                              | 0,0508                     | 19,92                       | 238,89                      | 10099                | 11,99        | 40,0                                                     | 42,27                                                           |
|                                              | 0,0356                     | 8,93                        | 200,98                      | 9892                 | 22,49        | 75,0                                                     | 49,22                                                           |

a. Bei der G-Fraktion/Schleifmittelvolumen-%-Fraktion handelt es sich um ein Maß der Schleifleistung der Körnung in dem Schleifrad. Die Kalkulierung normalisiert die Schleifleistung, um die erheblichen Unterschiede im Volumen-%-Anteil der Schleifkörnung in den experimentellen und vergleichbaren Schleifrädern zu berücksichtigen. Es ist deutlich sichtbar, dass die Schleifkörnung der experimentellen Schleifräder eine erheblich bessere

Schleifeffizienz auf einer Volumenfraktionsbasis bereitstellt (d.h. es wird weniger Körnung benötigt, um denselben Grad an Schleifeffizienz zu liefern).

Bei den experimentellen Schleifrädern war der Stromverbrauch etwas höher, die MER war jedoch erheblich niedriger, als die der vergleichbaren Schleifräder. Es wird angenommen, dass wenn die experimentellen Schleifräder bei der für die vergleichbaren Schleifräder verwendeten, niedrigeren MER betrieben worden wären, diese weniger Strom verbraucht hätten.

Auch hier lieferten die experimentellen Schleifräder relative zu den vergleichbaren Schleifrädern eine erheblich bessere Schleifeffizienz auf einer Schleifkörnungs-Volumenfraktionsbasis (d.h. es wird weniger Körnung benötigt, um denselben Grad an Schleifeffizienz zu liefern). Dieses Ergebnis widersetzt sich der herkömmlichen Erkenntnis der gebundenen Schleiftechnologie, dass ein Schleifrad mit einem höheren Härtegrad, das mehr Körnung enthält, resistent gegen Verschleiß ist und eine bessere Schleifradstandzeit und Schleifeffizienz bereitstellt, als ein Schleifrad mit einem niedrigeren (weicheeren) Härtegrad.

### **Beispiel 11**

#### Schleifkörnungs-/organische Bindemittelagglomerate

Verschiedene Bindemittel (wie in der nachstehenden Tabelle 11-1 beschrieben) wurden verwendet, um agglomerierte Schleifkörnungsproben A9 - A13 (Tabelle 7-1) herzustellen.

Wie auch im vorherigen Beispiel 7, wurden diese Agglomerate aus einer Mischung aus Schleifkörnung, Bindemittel, das Phenolharz enthält (Durez Varcum® Harz 29-717, spezifische Schwerkraft 1,28 g/cc, bezogen von der Firma Durez Corporation, Dallas, TX, U.S.A.), zusammen mit dem in Tabelle 11-1

aufgeführten Füllstoff vorbereitet. Körnung und Bindemittel wurden in den in Tabelle 11-1 beschriebenen Mengen verwendet. Sämtliche Proben wurden mit einer Silan-behandelten, geschmolzenen Aluminiumoxid 38A Schleifkörnung, 80er Korngröße) vorbereitet, die von der Firma Saint-Gobain Ceramics & Plastics, Inc., Worcester, MA, U.S.A. bezogen wurde.

Körnung und Harzbindemittel wurden in den Tiegel eines Hochscherkraft-Eirich Rührwerks (Modell Nr. RV-02, hergestellt von der Firma Eirich Company, Gurnee, IL, U.S.A) gegeben. Das Mischen wurde bei einer Tiegelgeschwindigkeit eingeleitet, die auf 64 U/min, und einer Rührwerkgeschwindigkeit von 720 U/min eingestellt war. Während dem Mischen wurde eine ausreichende Menge an Lösung (Furfural) als feiner Dunst in einer kontrollierten Menge in die Mischung aus Körnung und Bindemittel gesprüht, um die Körnungen und das Bindemittel dazu zu bringen, zusammen zu agglomerieren.

Das Sprühen der Lösung in die Mischung wurde nur so lange fortgeführt, bis die Körnungen und das Bindemittel Agglomerate gebildet hatten (z.B. Sprühen bei einer Rate von 15 - 20 g/min 7 Minuten lang auf eine Losgröße, inklusive 2,25 kg Körnung zusammen mit der Menge an Bindemittel, das in Tabelle 11-1 angezeigt ist). Das Sprühen wurde mit einem Werkzeug-Kühlschmiernebelgerät der Firma Wesco Company, Chatsworth, CA, U.S.A. durchgeführt. Das Verfahren der Agglomeration wurde unter atmosphärischen Konditionen bei Raumtemperatur durchgeführt.

Nach der Agglomeration im Rührwerk wurden die nassen, agglomerierten Schleifkörnungsproben durch ein U.S. Sieb mit 3,5 Maschenweite gefiltert und über Nacht unter Raumbedingungen getrocknet. Die Proben wurde nochmals gefiltert, um eine -20/+45 Körnchenverteilung zu erzielen, und auf einem Backblech mit Fluoropolymerbeschichtung (etwa 45 x 30 cm) zu einer einzelnen Schicht ausgebreitet. Die Agglomerate wurden dann in einen Ofen unter atmosphärischen Kondi-

tionen gegeben, die Temperatur wurde auf ein Maximum von 160 °C erhöht und die Agglomerate bei dieser Temperatur 30 Minuten lang gehalten. Die ausgehärteten Agglomerate wurden unter einem manuell betriebenen 1,5 Zoll Stabstahl ausgerollt, um diese teilweise zu zerbrechen und größere Agglomerate in kleinere Agglomerate zu trennen und dann zur gewünschten Größenverteilung gefiltert.

Der Ertrag der verwendbaren, frei-fließenden Agglomerate, definiert als Körnchen mit einer Größenverteilung von einer Maschenweite von -20/+45 (U.S. Standard-Siebgröße), betrug >90 Gew.-% des Gesamtgewichtes der Körnungsmischung vor der Agglomeration.

Die Agglomerate wurden auf lose Packdichte (LPD), relative Dichte und Größenverteilung getestet und vor und nach der Verwendung zur Herstellung von Schleifwerkzeugen visuell gekennzeichnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7-1 aufgeführt.

Diese Agglomerate wiesen eine LPD, relative Dichte sowie Größenverteilungseigenschaften auf, die für die Anwendung in der gewerblichen Herstellung von Schleifrädern geeignet waren. Die fertigen, ausgehärteten Agglomerate hatten dreidimensionale Formen, die zwischen dreieckig, kugelförmig, würfelförmig, rechteckig, zylindrisch sowie anderen geometrischen Formen variierten. Die Agglomerate bestanden aus einer Vielzahl an individuellen Schleifkörnungen (z.B. 2 bis 40 Korn), die durch Harzbindemittel von Körnungs- zu Körnungskontaktpunkten zusammen gebunden waren. Die Strukturen der Agglomerate waren ausreichend resistent gegen eine Verdichtung zur Einbehaltung eines dreidimensionalen Charakters, nachdem diese dem Schleifradmischen und den Formgussverfahren ausgesetzt waren (d.h. ein unerheblicher Anteil (z.B. <20 Gew.-%) der Agglomerate war auf individuelle Schleifkörnungsstrukturen während der Schleifradverarbeitung reduziert worden). Es wurde beobachtet, dass die

Agglomerate, die aus einer Kombination aus Harz und Füllstoffen hergestellt waren, weniger haftbar und daher leichter zu trennen waren, als die Agglomerate, die aus Harz und keinen Füllstoffen hergestellt waren. Weiterhin waren etwas geringere Mengen an Lösung erforderlich, wenn Füllstoffe zum Harz hinzugefügt waren.

Daher können mit geringfügigen Modifikationen dieselben Verfahren, die zur Herstellung von Agglomeraten mit Phenolharz-Bindemittel verwendet werden, ebenfalls eingesetzt werden, um Schleifkörnungsagglomerate mit organischen Bindemitteln herzustellen, wenn anorganische Füllmittel (zur Beimischung in das Schleifrad erwünscht) zu den organischen Bindemitteln hinzugefügt waren.

**Tabelle 11-1 In den Agglomeraten A9 - A13 verwendete Bindemittel**

| Bindemittelkomponenten                   | A Bindemittel<br>Gew.-% | B Bindemittel<br>Gew.-% | C Bindemittel<br>Gew.-% | D Bindemittel<br>Gew.-% | E Bindemittel<br>Gew.-%<br>Beispiel 12 |
|------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------------------|
| Phenolharz <sup>a</sup>                  | 100                     | 78,4                    | 61,7                    | 48,4                    | 37,7                                   |
| Füllmittel <sup>b</sup> CaF <sub>2</sub> | keine                   | 21,6                    | 38,3                    | 51,6                    | 62,3                                   |
| Spez. Schwerkraft<br>g/cc                | 1,28                    | 1,47                    | 1,66                    | 1,85                    | 2,04                                   |

a) Bei dem Phenolharz handelte es sich um Durez Varcum® Harz 29-717 der Firma Durez Corporation, Dallas, TX, U.S.A.

b) Der Füllstoff wurde von der Firma Min-Chem Canada, Inc., Oakville, Ontario, Kanada, in einer <45 Mikron Partikelgröße (-325 Maschenweite) bezogen und vor dem Beimischen der Körnung und des flüssigen Materials mit der Pulverharzkomponente gemischt.

### Schleifräder

Die Agglomeratproben A9 bis A13 wurden zur Herstellung der Schleifräder verwendet (fertige Größe: 12,7 x 5,08 x 1,59 - 3,81 cm Rand) (5,0 x 2,0 x 0,625 - 1,5 Zoll Rand). Die experimentellen Schleifräder wurden gemäß des im obigen Beispiel 7 beschriebenen Verfahrens hergestellt. Die fertigen Schleifräder wurden gemäß den gewerblich ausgeführten Geschwindigkeitstest auf Sicherheit geprüft um sicherzustellen, dass die Schleifräder eine ausreichende mechanische Festigkeit für die Rotationsbewegung, wenn an der Schleifmaschine befestigt, und ebenfalls eine ausreichende mechanische Festigkeit für das Schleifverfahren aufwiesen.

Sämtliche experimentellen Schleifräder überstanden einen 6308 U/min Geschwindigkeitstest und hatten daher eine ausreichende mechanische Festigkeit für die Tiefschleifverfahren. Die Zusammensetzung der Schleifräder (einschließlich Volumen-% der Schleifmittel, Bindung und Porosität in den gefeuerten Schleifrädern) werden in Tabelle 11-2 beschrieben.

**Tabelle 11-2 Schleifradcharakteristiken**

| Schleifrad,<br>Härtegrad<br>Agglomerat<br>(Tabelle 7-1) | Elastischer<br>Modul<br>GPa | <u>Schleifradzusammensetzung</u><br><u>Volumen-%</u><br>Schleifm. <sup>a</sup> Bind. <sup>b</sup> Porosität |    |    | Gewicht-<br>%<br>Agglomerat | Gewicht-<br>% Bindung | Schleifrad-<br>dichte<br>g/cc |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|-----------------------------|-----------------------|-------------------------------|
|                                                         |                             |                                                                                                             |    |    |                             |                       |                               |
| <b>SR15 D</b><br>(A9)                                   | 3,373                       | 30                                                                                                          | 24 | 46 | 88,3                        | 11,7                  | 1,492                         |
| <b>SR16 D</b><br>(A10)                                  | 2,263                       | 30                                                                                                          | 24 | 46 | 88,4                        | 11,6                  | 1,496                         |
| <b>SR17 D</b><br>(A11)                                  | 3,188                       | 30                                                                                                          | 24 | 46 | 88,6                        | 11,4                  | 1,515                         |
| <b>SR18 D</b><br>(A12)                                  | 3,485                       | 30                                                                                                          | 24 | 46 | 88,7                        | 11,3                  | 1,535                         |

|                                                                                             |                                  |                   |                                |                                  |                                     |                                 |                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| <b>SR19 D</b><br>(A13)                                                                      | 3,644                            | 30                | 24                             | 46                               | 88,9                                | 11,1                            | 1,554                              |
| <b>Vergleichbare</b><br><b>Probe Nr.</b><br>(gewerbliche<br><b>Bestimmung)</b> <sup>c</sup> | Elast-<br>ischer<br>Modul<br>GPa | Körnung<br>Vol.-% | <b>Bin-<br/>dung</b><br>Vol.-% | <b>Poro-<br/>sität</b><br>Vol.-% | Gewicht-<br>%<br>Schleif-<br>mittel | Ge-<br>wicht-<br>% Bin-<br>dung | Schleif-<br>rad-<br>dichte<br>g/cc |
| <b>C5L</b><br>38A80-L9 B18<br>Kein Agglomerat                                               | 17,006                           | 46,0              | 25,0                           | 29,0                             | 84,6                                | 15,4                            | 2,149                              |
| <b>C5P</b><br>38A80- P9 B18<br>Kein Agglomerat                                              | 21,111                           | 46,0              | 31,0                           | 23,0                             | 81,6                                | 18,4                            | 2,228                              |
| <b>C5T</b><br>38A80-T9 B18<br>Kein Agglomerat                                               | 24,545                           | 46,0              | 38,3                           | 15,7                             | 78,2                                | 21,8                            | 2,325                              |
| <b>C5D<sup>e</sup></b><br>Kein Agglomerat                                                   | 9,183                            | 48                | 6                              | 46                               | 96,1                                | 3,9                             | 1,973                              |
| <b>C5J</b><br>Kein Agglomerat                                                               | 15,796                           | 48                | 18                             | 34                               | 89,2                                | 10,8                            | 2,126                              |

a) Bei einer 46 Vol.-% Schleifkörnung enthielten die vergleichbaren Schleifräder einen größeren Volumen-%-Anteil an Schleifkörnung (z.B. 16 Volumen-% mehr), als die experimentellen Schleifräder, die mit einer 30 Vol.-% Schleifkörnung hergestellt waren.

b) Die Werte für die Volumen-% Bindung der experimentellen Schleifräder enthalten den Volumen-%-Anteil des Harzbindemittels, das auf den Körnungen zur Herstellung der Agglomerate sowie den Volumen-%-Anteil des Bindemittels, das zur Herstellung der Schleifräder verwendet wird.

c) Bei den vergleichbaren Schleifradproben C5L, C5P und C5T handelte es sich um Produktformulierungen, die von der Firma Saint-Gobain Abrasives, Inc., Worcester, MA, U.S.A.,

erhalten wurden und unter den für jedes Schleifrad in Tabelle 11-2 designierten alphanumerischen Schleifradbestimmungen verkauft werden. Die Schleifräder enthalten eine Phenolharzbindung,  $\text{CaF}_2$ , hohle Mullitkugeln, 38A Aluminiumoxid-Schleifkörnung und haben einen Härtegrad (gewerbliche Härtegradskala der Firma Norton) wie angezeigt, von L, P oder T.

d) Die Flüssigkeits-(Luft-) Durchlässigkeit wird in Einheiten von cc/sec/Zoll an Wasser angegeben und wird mit einer 1,1 cm Düse durch das im U.S. Pat. Nr. 5,738,696 und 5,738,697 beschriebene Verfahren gemessen.

e) Die Schleifradprobe C5D hatte keine ausreichende mechanische Festigkeit, um die gewerblichen Sicherheitstests zu bestehen.

Diese experimentellen Schleifräder wurden in einem Tief-schleifverfahren getestet und für die gewerbliche Verwendung für geeignet befunden. Die experimentellen Schleifräder wurden gegenüber den in Tabelle 11-2 beschriebenen, vergleichbaren Schleifrädern C5L, C5P und C5T verglichen, bei denen es sich um gewerbliche Produkte handelt die für Tiefschleifverfahren verkauft werden. Die vergleichbaren Schleifräder hatten dieselben Größendimensionen, dieselbe Schleifkörnung und Bindemitteltypen und waren ansonsten zur Auswertung der experimentellen Schleifräder in einer Tiefschleifstudie geeignet, wurden jedoch ohne Agglomerate hergestellt. Ebenfalls in diesem Schleiftest enthalten war das experimentelle Schleifrad SR5 und das vergleichbare Schleifrad CLP von Tabelle 8-1.

In einem späteren Test unter identischen Schleifkonditionen wurden zwei zusätzliche, vergleichbare Schleifräder getestet (C5D und C5J). Die vergleichbaren Schleifräder C5D und C5J wurden gemäß dem für die experimentellen Schleifräder in Beispiel 7 beschriebenen Verfahren hergestellt, mit der

Ausnahme, dass die in Tabelle 11-2 aufgeführten Zusammensetzungen anstelle denen in Beispiel 7 aufgeführten verwendet wurden. Diese Schleifräder wurden mit weicheren Schleifrad-Härtegraden (D und J) hergestellt und getestet, um die Leistung der experimentellen Schleifräder gegenüber dem herkömmlichen Schleifrad mit einem übereinstimmenden Härtegrad zu vergleichen (d.h. mit demselben oder einem ähnlichen Volumenprozentanteil an Körnung, Bindung und Porosität). Die Härtegradzuteilungen wurden aufgrund der Zusammensetzung der für das Schleifrad ausgewählten Bindung bestimmt, zusammen mit den Volumenprozentanteilen an Schleifkörnung, Bindung und Porosität in dem fertigen Schleifrad. Die Schleiftestkonditionen und Ergebnisse werden nachstehend und in Tabelle 11-2 aufgeführt.

#### Schleifkonditionen:

Maschine: Schienenschleifer; maximale Leistung: 45 PS

Schleifmodus: Tiefschleifen (Schleifscheibensimulationstest)

Schleifradgeschwindigkeit: 4202 U/min; 27,9 m/sec (5500 sfpm)

Betriebsgeschwindigkeit: 3 U/min; (0,192 m/sec/37,7 sfpm)

Zuführungsrate: 0,0508 mm/rev (0,0020 Zoll/rev), 0,0686 mm/rev (0,0027 Zoll/rev) und 0,1016 mm/rev (0,04 Zoll/rev)

Schleifzeit: 15 Minuten bei der jeweiligen Zuführungsrate

Ausfunkzeit: 10 Sek.

Kühlmittel: Trim Clear, 2 % Verhältnis mit entionisiertem Grundwasser

Werkstückmaterial: AISI 1070 Stahl 1,22 m AD (48 Zoll) x 1,18 m ID (46,5 Zoll) x 1,91 cm Rand (0,75 Zoll), HB 302 Brinnell-Härte

Abrichtung: Keine

**Tabelle 11-2. Schleiftestergebnisse**

| Schleifrad-<br>probe<br>(Tabelle 11- | Zu-<br>führung<br>(mm/rev) | SVR<br>(mm <sup>3</sup> /s) | MER<br>(mm <sup>3</sup> /s) | Leis-<br>tung<br>(W) | G-<br>Faktor | G-Faktor/<br>Schleif-<br>mittel Vol.- | Spezi-fische<br>Schleif-<br>energie |
|--------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
|--------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--------------|---------------------------------------|-------------------------------------|

| 1)<br>Härtegrad |        |       |        |      |       | Fraktion <sup>a</sup> | (J/mm <sup>3</sup> ) |
|-----------------|--------|-------|--------|------|-------|-----------------------|----------------------|
| <b>C5 L</b>     | 0,1016 | 34,56 | 135,01 | 4772 | 3,91  | 8,49                  | 35,35                |
|                 | 0,0686 | 19,48 | 116,97 | 4247 | 6,00  | 13,05                 | 36,31                |
| <b>C5 P</b>     | 0,1016 | 29,44 | 169,57 | 6373 | 5,76  | 12,52                 | 37,59                |
|                 | 0,0686 | 17,04 | 133,48 | 5033 | 7,83  | 17,02                 | 37,71                |
|                 | 0,1016 | 31,90 | 152,95 | 5716 | 4,79  | 10,42                 | 37,37                |
|                 | 0,0686 | 17,84 | 128,11 | 4888 | 7,18  | 15,61                 | 38,15                |
|                 | 0,0508 | 12,63 | 98,81  | 3796 | 7,83  | 17,01                 | 38,41                |
| <b>C5 T</b>     | 0,1016 | 25,56 | 195,72 | 7963 | 7,66  | 16,64                 | 40,69                |
|                 | 0,0686 | 15,18 | 146,05 | 5920 | 9,62  | 20,9                  | 40,54                |
|                 | 0,1016 | 23,20 | 211,72 | 8554 | 9,13  | 19,8                  | 40,40                |
|                 | 0,0686 | 11,92 | 168,04 | 7168 | 14,09 | 30,6                  | 42,66                |
|                 | 0,0508 | 11,16 | 108,76 | 4577 | 9,75  | 21,2                  | 42,08                |
| <b>C2 P</b>     | 0,1016 | 26,09 | 192,17 | 7664 | 7,36  | 16,01                 | 39,88                |
|                 | 0,0686 | 13,21 | 159,34 | 6678 | 12,06 | 26,2                  | 41,91                |
|                 | 0,0508 | 6,83  | 137,94 | 6004 | 20,19 | 43,9                  | 43,53                |
|                 |        |       |        |      |       |                       |                      |
| <b>SR15 D</b>   | 0,1016 | 21,89 | 220,73 | 7706 | 10,09 | 33,6                  | 34,91                |
|                 | 0,0686 | 10,78 | 175,74 | 6570 | 16,30 | 54,3                  | 37,38                |
| <b>SR16 D</b>   | 0,1016 | 34,81 | 133,39 | 4088 | 3,83  | 12,77                 | 30,65                |
|                 | 0,0686 | 18,43 | 124,16 | 4014 | 6,74  | 22,5                  | 32,33                |
|                 | 0,1016 | 31,65 | 154,66 | 5072 | 4,89  | 16,3                  | 32,80                |
|                 | 0,0686 | 21,98 | 99,63  | 3319 | 4,53  | 15,11                 | 33,31                |
| <b>SR17 D</b>   | 0,1016 | 27,88 | 180,11 | 5942 | 6,46  | 21,5                  | 32,99                |
|                 | 0,0686 | 15,05 | 146,86 | 5186 | 9,76  | 32,5                  | 35,31                |
| <b>SR18 D</b>   | 0,1016 | 28,62 | 175,14 | 5550 | 6,12  | 20,4                  | 31,69                |
|                 | 0,0686 | 15,62 | 143,20 | 4801 | 9,17  | 30,6                  | 33,53                |
| <b>SR19 D</b>   | 0,1016 | 32,16 | 151,22 | 4536 | 4,70  | 15,7                  | 29,99                |
|                 | 0,0686 | 20,43 | 110,47 | 3577 | 5,41  | 18,02                 | 32,38                |
|                 | 0,0508 | 11,14 | 108,85 | 3773 | 9,77  | 32,6                  | 34,67                |
|                 | 0,1016 | 30,83 | 160,25 | 5076 | 5,20  | 17,32                 | 31,67                |
|                 | 0,0686 | 16,17 | 139,36 | 4446 | 8,62  | 28,72                 | 31,90                |
|                 | 0,0508 | 8,42  | 127,20 | 4166 | 15,10 | 50,3                  | 32,75                |
| <b>SR5 D</b>    | 0,1016 | 23,45 | 210,01 | 7314 | 8,95  | 29,8                  | 34,83                |

|                        |        |       |        |       |       |      |       |
|------------------------|--------|-------|--------|-------|-------|------|-------|
|                        | 0,0686 | 11,91 | 168,15 | 6163  | 14,12 | 47,1 | 36,65 |
|                        | 0,0508 | 5,18  | 149,09 | 5684  | 28,78 | 95,9 | 38,13 |
|                        |        |       |        |       |       |      |       |
| <b>C5D<sup>b</sup></b> | 0,1016 | 48,80 | 59,19  | 1858  | 1,21  | 2,53 | 31,38 |
|                        | 0,0686 | 36,78 | 54,51  | 1722  | 1,48  | 3,09 | 31,59 |
|                        | 0,0508 | 35,23 | 59,70  | 1993  | 1,69  | 3,53 | 33,39 |
|                        |        |       |        |       |       |      |       |
| <b>C5J<sup>b</sup></b> | 0,1016 | 22,38 | 217,7  | 9033  | 9,73  | 20,3 | 41,49 |
|                        | 0,0686 | 11,20 | 173,3  | 7376  | 15,47 | 32,2 | 42,55 |
|                        | 0,0508 | 6,67  | 140,5  | 6024  | 21,07 | 43,9 | 42,89 |
|                        | 0,1016 | 19,59 | 236,1  | 10260 | 12,05 | 25,1 | 43,47 |
|                        | 0,0686 | 9,62  | 183,6  | 8294  | 19,07 | 39,7 | 45,19 |
|                        | 0,0508 | 4,73  | 151,9  | 7018  | 32,13 | 66,9 | 46,19 |

a. Bei der G-Fraktion/Schleifmittelvolumen-%-Fraktion handelt es sich um ein Maß der Schleifleistung der Körnung in dem Schleifrad. Die Kalkulierung normalisiert die Schleifleistung, um die erheblichen Unterschiede im Volumen-%-Anteil der Schleifkörnung in den experimentellen und vergleichbaren Schleifrädern zu berücksichtigen. Es ist deutlich sichtbar, dass die Schleifkörnung der experimentellen Schleifräder eine erheblich bessere Schleifeffizienz auf einer Volumenfraktionsbasis bereitstellt (d.h. es wird weniger Körnung benötigt, um denselben Grad an Schleifeffizienz zu liefern).

b. Die Schleifräder C5D und C5J wurden an einem späteren Zeitpunkt getestet, als die restlichen Proben, jedoch unter identischen Schleiftestkonditionen.

Die experimentellen Schleifräder wiesen eine etwas niedrigere Stromleistung, jedoch vergleichbare SVR, als die vergleichbaren Schleifräder auf. Dies war aufgrund des Härtegraddifferenzials (D verglichen mit L-T) überraschend.

Auch hier lieferten die experimentellen Schleifräder relativ zu den vergleichbaren Schleifrädern insgesamt eine erheblich bessere Schleifeffizienz auf einer Schleifkör-

nungs-Volumenfraktionsbasis (d.h. es wird weniger Körnung benötigt, um denselben Grad an Schleifeffizienz zu liefern). Die C5J Probe wurde mit höheren ME-Raten betrieben, sodass die Daten dieses Schleifrads mit den allgemeinen Trend übereinstimmen. Die Proben C2P und SR5D, die in einem separaten Schleiftest geprüft wurden, zeigten eine bessere Leistung, als die restlichen Schleifräder, die Unterschiede zwischen den experimentellen und vergleichbaren Schleifrädern stimmen jedoch mit dem allgemeinen Trend überein.

Dieses Ergebnis widersetzt sich der herkömmlichen Erkenntnis der gebundenen Schleiftechnologie, dass ein Schleifrad mit einem höheren Härtegrad, das mehr Körnung enthält, resistent gegen Verschleiß ist und eine bessere Schleifradstandzeit und Schleifeffizienz bereitstellt, als ein Schleifrad mit einem weicheren Härtegrad.

Deshalb konnten die experimentellen Schleifräder, die eine ausreichende, für gewerbliche Zwecke akzeptable mechanische Festigkeit hatten, jedoch vergleichbar niedrige, messbare Härtegrade aufwiesen, gemäß der Erfindung hergestellt werden und eine für gewerbliche Zwecke effektive Schleifleistung erbringen.

## **Beispiel 12**

### Schleifkörnungs-/gesinterte Bindemittelagglomerate

Ein gesintertes Bindemittel (A Bindemittel von Tabelle 1-2) wurde verwendet, um die agglomerierte Schleifkörnungsprobe AV1 herzustellen. Die Agglomerate wurden aus einer Mischung aus Schleifkörnung und gesintertem Bindematerial durch das in Beispiel 1 beschriebene Rotationskalzinierungsverfahren hergestellt, mit der Ausnahme, dass 2,6 Gew.-% von dem Bindemittel A verwendet wurde, um die AV1 Agglomerate herzustellen und die Körnung aus einer geschmolzenen 38A Schleifkörnung, 80er Korngröße, bestand, das von der Firma

Saint-Gobain Ceramics & Plastics, Inc., Worcester, MA, U.S.A. bezogen wurde. Die gesinterten Agglomerate wurden mit einer 2 Gew.-% wässrigen Lösung aus Gamma-Aminopropyl Triethoxysilan (Witco Corporation, Friendly, West Virginia, U.S.A.) (9,2 ml/lb auf 80er Korngröße Schleifagglomeraten) befeuchtet, um die Agglomerate mit Silan zu beschichten, dann bei 120 °C getrocknet und gefiltert, um eventuell vorhandene Klumpen zu entfernen, die sich während der Silanbehandlung gebildet hatten.

Der Ertrag der verwendbaren, frei-fließenden Agglomerate, definiert als Körnchen mit einer Größenverteilung einer Maschenweite von -20/+45 (U.S. Standard-Siebgröße), betrug 86 Gew.-% des Gesamtgewichts der Körnungsmischung vor der Agglomeration. Die gesinterten Schleifagglomerate wurden auf lose Packdichte (LPD = 1,04), relative Dichte (0,268) und Größenverteilung (-20/+45 Maschenweite) getestet und vor und nach der Verwendung zur Herstellung von Schleifwerkzeugen visuell gekennzeichnet.

Diese Agglomerate wiesen eine LPD, relative Dichte sowie Größenverteilungseigenschaften auf, die für die Anwendung in der gewerblichen Herstellung von Schleifrädern geeignet waren. Die fertigen, ausgehärteten Agglomerate hatten dreidimensionale Formen, die zwischen dreieckig, kugelförmig, würfelförmig, rechteckig, zylindrisch sowie anderen geometrischen Formen variierten. Die Agglomerate bestanden aus einer Vielzahl an individuellen Schleifkörnungen (z.B. 2 bis 40 Korn), die durch gesinterte Bindemittel von Körnungs- zu Körnungskontaktpunkten zusammen gebunden waren.

Die Strukturen der Agglomerate waren ausreichend resistent gegen eine Verdichtung zur Einbehaltung eines dreidimensionalen Charakters, nachdem diese dem Schleifradmischen und den Formgussverfahren ausgesetzt waren (d.h. ein unerheblicher Anteil (z.B. <20 Gew.-%) der Agglomerate war auf

individuelle Schleifkörnungsstrukturen während der Schleifradverarbeitung reduziert worden).

#### Schleifkörnungs-/organische Bindemittelagglomerate

Die Schleifkörnung (38A Körnung, 80er Korngröße, bezogen von der Firma Saint-Gobain Ceramics & Plastics, Inc., Worcester, MA, U.S.A.) und das Harzbindemittel (Bindemittel E von Tabelle 11-1) wurden in den Tiegel eines Hochscherkraft-Eirich Rührwerks (Modell Nr. RV07, hergestellt von der Firma Eirich Company, Gurnee, IL, U.S.A) gegeben. Das Mischen wurde bei einer Tiegelgeschwindigkeit eingeleitet, die auf 460 U/min, und einer Rührwerkgeschwindigkeit von 890 U/min (im Gegenuhrzeigersinn) eingestellt war. Während dem Mischen wurde eine ausreichende Menge an Lösung (Furfural) als feiner Dunst in einer kontrollierten Menge in die Mischung aus Körnung und Bindemittel gesprüht, um die Körnungen und das Bindemittel dazu zu bringen, zusammen zu agglomerieren. Das Sprühen der Lösung in die Mischung wurde nur so lange fortgeführt, bis die Körnungen und das Bindemittel Agglomerate gebildet hatten (z.B. Sprühen bei einer Rate von 380 - 390 cc/min insgesamt 2,5 Minuten lang auf eine Losgröße, inklusive 49,5 kg Körnung zusammen mit der Menge an Bindemittel, das in Tabelle 12-1 angezeigt ist).

Das Sprühen wurde mit einem Sprühsystemgerät (Modell Auto-Jet 38660 der Firma Spraying Systems, Wheaton, IL, U.S.A. durchgeführt. Das Verfahren der Agglomeration wurde unter atmosphärischen Konditionen bei Raumtemperatur durchgeführt.

Das Agglomerat A14 wurde zweimal durch einen 6-Fuß Schwingförderer (Firma Eriez Magnetics, Modell Nr. HS/115, Erie, PA, U.S.A.) bearbeitet, um die Lösung zu abdampfen. Das Agglomerate wurde dann mit einer losen Schleifkörnung (80er Korngröße, 38A) zu 1 Teil Agglomerat und 2 Teile losem Schleifmittel gebettet und dann in einen Ofen (Modell

Nummer VRD-1-90-1E von der Firma Despatch Industries, Minneapolis, MN, U.S.A.) unter atmosphärischen Konditionen gegeben. Die Temperatur wurde auf eine Maximaltemperatur von 160 °C erhöht und die Agglomerate wurden 30 Minuten lang bei dieser Maximaltemperatur gehalten, um das Harzbindemittel auszuhärten. Nach dem Aushärten wurde das lose Schleifmittel durch das endgültige Korngrößen-Trennverfahren von den Agglomeraten abgelöst.

**Tabelle 12-1 Charakteristiken der agglomerierten Körnchen**

| <u>Probe Nr.</u>                                                                               | Ge-<br>wicht               | Gew.-<br>% der                         | Binde-<br>mittel                                         | Volumen<br>-%                 | LPD<br>g/cc                                              | Durch-<br>schnitt-<br>liche                                           | % Ertrag                    | Durch-<br>schnitt-<br>licher%   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| <u>Mischung:</u><br>Körnung,<br>Lösung,<br>Binde-<br>mittel                                    | kg<br>der<br>Misch-<br>ung | Lö-<br>sung in<br>der<br>Misch-<br>ung | Gew.-<br>%<br>(Ge-<br>samt<br>Fest-<br>körper-<br>basis) | Binde-<br>mittel <sup>a</sup> | -20/<br>+45<br>Ma-<br>schen-<br>weiten-<br>frak-<br>tion | Größe<br>Mikron<br>(Masch-<br>enweite)<br>-25/+45<br>Filter-<br>größe | -25/+45<br>Filter-<br>größe | der<br>rela-<br>tiven<br>Dichte |
| <b><u>Beispiel 6</u></b><br><b>A14</b><br>80er Korn<br>38A,<br>Furfural,<br>Binde-<br>mittel E | 58,2 kg                    | 1,5%                                   | 15 %                                                     | 25,5                          | 1,05                                                     | 500<br>(36)                                                           | 85 %                        | 30,3                            |

a. Der Volumenprozentanteil des Bindemittels stellt einen Prozentsatz des Festmaterials innerhalb der Körnchen (z.B. Bindemittel und Körnung) nach dem Aushärten dar und enthält nicht den Volumenprozentanteil der Porosität. Der Volumenprozentanteil des Bindemittels der ausgehärteten Agglomerate wurde mit der Annahme errechnet, dass keine interne Porosität und keine Mischungsverluste vorhanden waren.

Schleifräder

Die Agglomeratproben AV1 und A14 wurden zur Herstellung der Schleifräder verwendet (fertige Größe: 12,7 x 5,08 x 1,59 - 3,81 cm Rand) (5,0 x 2,0 x 0,625 - 1,5 Zoll Rand). Die experimentellen Schleifräder wurden gemäß des im obigen Beispiel 7 beschriebenen Verfahrens hergestellt. Die fertigen Schleifräder wurden gemäß den gewerblich ausgeführten Geschwindigkeitstest auf Sicherheit geprüft um sicherzustellen, dass die Schleifräder eine ausreichende mechanische Festigkeit für die Rotationsbewegung, wenn an der Schleifmaschine befestigt, und ebenfalls eine ausreichende mechanische Festigkeit für das Schleifverfahren aufwiesen. Sämtliche experimentellen Schleifräder überstanden einen 6308 U/min Geschwindigkeitstest und hatten daher eine ausreichende mechanische Festigkeit für die Tiefschleifverfahren. Die Zusammensetzung der Schleifräder (einschließlich Volumen-% der Schleifmittel, Bindung und Porosität in den gefeuerten Schleifrädern) werden in Tabelle 12-2 beschrieben.

**Tabelle 12-2 Schleifradcharakteristiken**

| Schleifrad,<br>Härtegrad<br>(Agglomerat<br>Beisp. 6, Tabelle<br>12-1) | Agglo-<br>merat-<br>misch-<br>ungen<br>Vit. Binde-<br>mittel/<br>Harz-<br>binde-<br>mittel | <u>Schleifrad-zusammen-<br/>setzung</u><br><u>Volumen-%</u><br>Schleifm. <sup>a</sup> Bind. <sup>b</sup><br>Porosität |    |    | Gewicht-%<br>Agglom-erat | Ge-<br>wicht-%<br>Bind-<br>ung | Luft-<br>durch-<br>lässig-<br>keit <sup>d</sup> |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|--------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------|
|                                                                       |                                                                                            |                                                                                                                       |    |    |                          |                                |                                                 |
| <b>SR20 D</b><br><b>Harz</b>                                          | 0/100                                                                                      | 30                                                                                                                    | 24 | 46 | 88,9                     | 11,1                           | 6,3                                             |
| <b>SR21 D</b>                                                         | 25/75                                                                                      | 30                                                                                                                    | 24 | 46 | 86,9                     | 13,1                           | 5,8                                             |
| <b>SR22 D</b>                                                         | 50/50                                                                                      | 30                                                                                                                    | 24 | 46 | 84,9                     | 15,1                           | 5,7                                             |
| <b>SR23 D</b>                                                         | 75/25                                                                                      | 30                                                                                                                    | 24 | 46 | 82,8                     | 17,2                           | 5,2                                             |
| <b>SR24 D</b><br><b>Gesintert</b>                                     | 100/0                                                                                      | 30                                                                                                                    | 24 | 46 | 80,8                     | 19,2                           | 4,6                                             |

|                                                                                      |       |                        |                        |                          |                                 |                                |                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>SR25 G</b><br><b>Harz</b>                                                         | 0/100 | 30                     | 30                     | 40                       | 84,7                            | 15,3                           | 3,8                                             |
| <b>SR26 G</b>                                                                        | 25/75 | 30                     | 30                     | 40                       | 83,6                            | 16,4                           | 3,7                                             |
| <b>SR27 G</b>                                                                        | 50/50 | 30                     | 30                     | 40                       | 80,8                            | 19,2                           | 3,6                                             |
| <b>SR28 G</b>                                                                        | 75/25 | 30                     | 30                     | 40                       | 78,9                            | 21,1                           | 3,3                                             |
| <b>SR29 G</b><br><b>Gesintert</b>                                                    | 100/0 | 30                     | 30                     | 40                       | 76,8                            | 23,2                           | 2,8                                             |
| <b>Vergleichbare</b><br><b>Probe Nr.</b><br>(gewerbliche<br>Bestimmung) <sup>c</sup> |       | Körn-<br>ung<br>Vol.-% | Bin-<br>dung<br>Vol.-% | Poro-<br>sität<br>Vol.-% | Gewicht-%<br>Schleif-<br>mittel | Ge-<br>wicht-%<br>Bin-<br>dung | Luft-<br>durch-<br>lässig-<br>keit <sup>d</sup> |
| <b>C6I</b><br>38A80-I9 B18                                                           | keine | 46,0                   | 21,2                   | 32,8                     | 86,6                            | 13,4                           | 1,1                                             |
| <b>C6L</b><br>38A80-L9 B18                                                           | "     | 46,0                   | 25,0                   | 29,0                     | 84,6                            | 15,4                           | 0,7                                             |
| <b>C6P</b><br>38A80-P9 B18                                                           | "     | 46,0                   | 31,0                   | 23,0                     | 81,6                            | 18,4                           | 0,3                                             |
| <b>C6T</b><br>38A80-T9 B18                                                           | "     | 46,0                   | 38,3                   | 15,7                     | 78,2                            | 21,8                           | 0,1                                             |

a) Bei einer 46 Vol.-% Schleifkörnung enthielten die vergleichbaren Schleifräder einen größeren Volumen-%-Anteil an Schleifkörnung (z.B. 16 Volumen-% mehr), als die experimentellen Schleifräder, die mit einer 30 Vol.-% Schleifkörnung hergestellt waren.

b) Die Werte für die Volumen-% Bindung der experimentellen Schleifräder enthalten den Volumen-%-Anteil des Harzbindemittels, das auf den Körnungen zur Herstellung der Agglomerate sowie den Volumen-%-Anteil des Bindemittels, das zur Herstellung der Schleifräder verwendet wird.

c) Bei den vergleichbaren Schleifradproben handelte es sich um Produktformulierungen, die von der Firma Saint-Gobain Abrasives, Inc., Worcester, MA, U.S.A., erhalten wurden und unter den für jedes Schleifrad in Tabelle 12-2 designierten alphanumerischen Schleifradbestimmungen verkauft werden.

Die Schleifräder enthalten eine Phenolharzbindung,  $\text{CaF}_2$ , hohle Mullitkugeln, 38A Aluminiumoxid-Schleifkörnung und haben einen Härtegrad (gewerbliche Härtegradskala der Firma Norton) wie angezeigt, von I, L, P oder T.

d) Die Flüssigkeits-(Luft-) Durchlässigkeit wird in Einheiten von cc/sec/Zoll an Wasser angegeben und wird mit einer 1,1 cm Düse durch das im U.S. Pat. Nr. 5,738,696 und 5,738,697 beschriebene Verfahren gemessen.

Eine visuelle Prüfung der ausgehärteten, experimentellen Schleifräder, wie bei dem vorherigen Beispiel 7, ergab eine Migration der Bindung in Intraagglomerat-Hohlräumen. Mikroaufnahmen (mit 46x Vergrößerung) wurden von den Schleifoberflächen des vergleichbaren Schleifrads C6L und des experimentellen Schleifrads SR20D (Tabelle 12-2) angefertigt. Diese Bilder erscheinen als Figur 4 und 5. Aus Figur 4 (das vergleichbare Schleifrad) und 5 (das experimentelle Schleifrad) kann entnommen werden, dass die Porosität (dunklere Bereiche) in den Schleifverbundstoffen gemäß der Erfindung als eine kontinuierliche Phase von verbundenen Kanälen existiert. Schleifkörnung und Bindung erscheinen als retikuläres Netzwerk, in welchem die Schleifkörnung in den organischen Bindemitteln verankert ist. Im Gegensatz dazu hat das vergleichbare Schleifrad eine im Wesentlichen einheitliche Struktur, während die Porosität kaum sichtbar ist und als diskontinuierliche Phase erscheint.

Diese experimentellen Schleifräder wurden in einem Tiefschleifverfahren getestet und für die gewerbliche Verwendung für geeignet befunden. Die experimentellen Schleifräder wurden gegenüber dem in Tabelle 12-2 beschriebenen, vergleichbaren Schleifrad, das gewerblich für Tiefschleifverfahren verwendet wird, verglichen. Ein Härtegradbereich von I bis T auf der Norton Härtegradskala wurde für die vergleichbaren Schleifräder ausgewählt, um eine beobachtete Härtegradverschiebung in den experimentellen Schleifrädern

zu bestätigen (d.h. ein niedrigerer Härtegrad in den experimentellen Schleifrädern konnte eine ebenso gute Leistung erbringen, die ein höherer Härtegrad eines herkömmlichen Schleifrads). Die vergleichbaren Schleifräder hatten dieselben Größendimensionen, denselben Schleifkörnungstypen und waren ansonsten zur Auswertung der experimentellen Schleifräder in einer Tiefschleifstudie geeignet, wurden jedoch ohne Agglomerate hergestellt. Die Schleiftestkonditionen und Ergebnisse werden nachstehend und in Tabelle 12-3 aufgeführt.

#### Schleifkonditionen:

Maschine: Schienenschleifer; maximale Leistung: 45 PS

Schleifmodus: Tiefschleifen (Schleifscheibensimulationstest)

Schleifradgeschwindigkeit: 4202 U/min; 27,9 m/sec (5500 sfpm)

Betriebsgeschwindigkeit: 3 U/min; (0,192 m/sec/37,7 sfpm)

Zuführungsrate: 0,0686 mm/rev (0,0027 Zoll/rev) und 0,1016 mm/rev (0,004 Zoll/rev)

Schleifzeit: 15 Minuten bei der jeweiligen Zuführungsrate

Ausfunkzeit: 10 Sek.

Kühlmittel: Trim Clear, 2% Verhältnis mit entionisiertem Grundwasser

Werkstückmaterial: AISI 1070 Stahl 1,22 m AD (48 Zoll) x 1,18 m ID (46,5 Zoll) x 1,91 cm Rand (0,75 Zoll), HB 302 Brinnell-Härte

Abrichtung: Keine

**Tabelle 12-3. Schleiftestergebnisse**

| Schleifrad-probe<br>(Tabelle 12-2) | Zuführung<br>(mm/rev) | SVR<br>(mm <sup>3</sup> /s) | MER<br>(mm <sup>3</sup> /s) | Leistung<br>(W) | G-Faktor | G-Faktor/<br>Schleifmittel<br>Vol.-Fraktion <sup>a</sup> | Spezifische<br>Schleif-<br>energie<br>(J/mm <sup>3</sup> ) |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|----------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| <b>C6I</b>                         | 0,1016                | 37,22                       | 117,17                      | 3861            | 3,15     | 6,84                                                     | 32,95                                                      |
|                                    | 0,0686                | 23,14                       | 92,44                       | 3118            | 3,99     | 8,68                                                     | 33,73                                                      |

|             |        |       |        |       |        |       |       |
|-------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|
| <b>C6L</b>  | 0,1016 | 35,98 | 125,89 | 4297  | 3,50   | 7,61  | 34,13 |
|             | 0,0686 | 21,96 | 100,34 | 3358  | 4,57   | 9,93  | 33,46 |
| <b>C6P</b>  | 0,1016 | 26,00 | 193,19 | 7951  | 7,43   | 16,15 | 41,16 |
|             | 0,1016 | 27,15 | 185,17 | 7443  | 6,82   | 14,82 | 40,20 |
|             | 0,0686 | 14,48 | 150,82 | 6172  | 10,42  | 22,6  | 40,93 |
| <b>C6T</b>  | 0,1016 | 18,08 | 254,91 | 11968 | 14,10  | 30,7  | 46,95 |
|             | 0,0686 | 17,69 | 249,12 | 11187 | 14,08  | 30,6  | 44,90 |
|             | 0,0686 | 8,96  | 188,01 | 8539  | 20,98  | 45,6  | 45,42 |
|             |        |       |        |       |        |       |       |
| <b>SR20</b> | 0,1016 | 26,49 | 190,95 | 6039  | 7,21   | 24,0  | 31,63 |
|             | 0,1016 | 29,08 | 172,10 | 5398  | 5,92   | 19,73 | 31,36 |
|             | 0,0686 | 14,94 | 147,67 | 4744  | 9,88   | 33,0  | 32,13 |
| <b>SR21</b> | 0,1016 | 10,63 | 298,19 | 11048 | 28,05  | 93,5  | 37,05 |
|             | 0,0686 | 2,43  | 232,22 | 9764  | 95,46  | 318   | 42,05 |
|             | 0,0686 | 1,97  | 235,55 | 10527 | 119,79 | 399   | 44,69 |
| <b>SR22</b> | 0,1016 | 18,99 | 241,13 | 8497  | 12,70  | 42,3  | 35,24 |
|             | 0,0686 | 6,16  | 208,19 | 7738  | 33,82  | 112,7 | 37,17 |
| <b>SR23</b> | 0,1016 | 18,92 | 240,82 | 8237  | 12,73  | 42,4  | 34,20 |
|             | 0,0686 | 7,82  | 196,63 | 7073  | 25,13  | 83,8  | 35,97 |
|             | 0,0686 | 6,35  | 206,66 | 7679  | 32,54  | 108,5 | 37,16 |
| <b>SR24</b> | 0,1016 | 7,24  | 319,57 | 12211 | 44,15  | 147,2 | 38,21 |
|             | 0,1016 | 7,37  | 318,56 | 12049 | 43,21  | 144,0 | 37,82 |
|             | 0,0686 | 1,25  | 240,11 | 11043 | 192,65 | 642   | 45,99 |
|             | 0,0686 | 1,64  | 238,89 | 11227 | 145,96 | 487   | 47,00 |
| <b>SR25</b> | 0,1016 | 22,32 | 217,60 | 7724  | 9,75   | 32,5  | 35,50 |
|             | 0,1016 | 22,36 | 218,31 | 7461  | 9,76   | 32,5  | 34,18 |
|             | 0,0686 | 10,71 | 178,27 | 6392  | 16,65  | 55,5  | 35,86 |
| <b>SR26</b> | 0,1016 | 8,96  | 308,62 | 11654 | 34,43  | 114,8 | 37,76 |
|             | 0,0686 | 1,68  | 237,18 | 11129 | 141,04 | 470   | 46,92 |
|             | 0,0686 | 4,34  | 220,13 | 9294  | 50,73  | 169,1 | 42,22 |
| <b>SR27</b> | 0,1016 | 12,42 | 284,50 | 10673 | 22,91  | 76,4  | 37,52 |
|             | 0,0686 | 3,38  | 226,21 | 9393  | 66,94  | 223   | 41,52 |
| <b>SR28</b> | 0,1016 | 15,44 | 264,23 | 9877  | 17,12  | 57,1  | 37,38 |
|             | 0,0686 | 5,53  | 211,32 | 8450  | 38,24  | 127,5 | 39,99 |
|             | 0,0686 | 5,01  | 214,76 | 8502  | 42,83  | 142,8 | 39,59 |

|             |        |      |        |       |        |       |       |
|-------------|--------|------|--------|-------|--------|-------|-------|
| <b>SR29</b> | 0,1016 | 7,54 | 318,56 | 13638 | 42,26  | 140,9 | 42,81 |
|             | 0,1016 | 8,27 | 312,97 | 12464 | 37,83  | 126,1 | 39,83 |
|             | 0,0686 | 0,93 | 242,35 | 11664 | 260,32 | 868   | 48,13 |

a. Bei der G-Fraktion/Schleifmittelvolumen-%-Fraktion handelt es sich um ein Maß der Schleifleistung der Körnung in dem Schleifrad. Die Kalkulierung normalisiert die Schleifleistung, um die erheblichen Unterschiede im Volumen-%-Anteil der Schleifkörnung in den experimentellen und vergleichbaren Schleifrädern zu berücksichtigen. Es ist deutlich sichtbar, dass die Schleifkörnung der experimentellen Schleifräder eine erheblich bessere Schleifeffizienz auf einer Volumenfraktionsbasis bereitstellt (d.h. es wird weniger Körnung benötigt, um denselben Grad an Schleifeffizienz zu liefern).

Die Testergebnisse demonstrieren, dass die experimentellen Schleifräder mit einem Härtegrad von D oder G auf der Norton Härtegradskala in einer gleichwertigen Weise gegenüber den vergleichbaren Schleifrädern mit einem Härtegrad von P oder T arbeiten. Die Leistung der experimentellen Schleifräder war besonders deswegen überraschend, weil diese Schleifräder nur 30 Volumen-% an Schleifkörnung gegenüber von 46 Volumen-% an Schleifkörnung der vergleichbaren Schleifräder enthielten. Deshalb bringen die Schleifräder gemäß der Erfindung die Schleifleistung der individuellen Körnungen auf ein Maximum, wodurch die Körnungsleistung um einen erheblichen Betrag verstärkt wird.

PATENTANSPRÜCHE

1. Gebundenes Schleifwerkzeug, umfassend einen dreidimensionalen Verbundstoff aus (a) einer ersten Phase umfassend 24 - 28 % Schleifkörnungen, die mit 10 - 38 Vol.-% organischem Bindemittel und höchstens 10 Vol.-% Porosität gebunden sind; und (b) einer zweiten Phase bestehend aus 38 - 54 Vol.-% Porosität; wobei es sich bei der zweiten Phase um eine kontinuierliche Phase innerhalb des Verbundstoffes handelt und das gebundene Schleifwerkzeug eine Mindeststoßgeschwindigkeit von 20,32 m/s (4000 sfpm) aufweist.
2. Gebundenes Schleifwerkzeug nach Anspruch 1, wobei die erste Phase des Verbundstoffes 26 - 40 Vol.-% an Schleifkörnungen umfasst, die mit 10 - 22 Vol.-% organischem Bindemittel und höchstens 10 Vol.-% Porosität gebunden sind, und die zweite Phase aus 38 - 50 Vol.-% Porosität besteht.
3. Gebundenes Schleifwerkzeug nach Anspruch 1, wobei die erste Phase des Verbundstoffes 24 - 42 Vol.-% an Schleifkörnungen umfasst, die mit 18 - 38 Vol.-% organischem Bindemittel gebunden sind, und die zweite Phase aus 38 - 54 Vol.-% Porosität besteht.
4. Gebundenes Schleifwerkzeug nach Anspruch 1, wobei 10 - 100 Vol.-% der Schleifkörnungen in der ersten Phase des Verbundstoffes in der Form einer Vielzahl an Körnungen existiert, die mit einem organischen Bindemittel zusammen agglomeriert sind.
5. Gebundenes Schleifwerkzeug nach Anspruch 1, wobei 10 bis 100 Vol.-% der Schleifkörnungen in der ersten Phase des Verbundstoffes in der Form einer Vielzahl an Körnungen existiert, die mit einem anorganischen Bindemittel zusammen agglomeriert sind.

6. Gebundenes Schleifwerkzeug nach Anspruch 5, wobei der Verbundstoff einen Mindestbetrag von 1 Vol.-% anorganischer Bindemittel umfasst.
7. Gebundenes Schleifwerkzeug nach Anspruch 5, wobei der Verbundstoff 2 bis 12 Vol.-% an anorganischem Bindemittel umfasst.
8. Gebundenes Schleifwerkzeug nach Anspruch 5, wobei das gebundene Schleifwerkzeug einen maximalen elastischen Modulwert von 10 GPa und eine Mindeststoßgeschwindigkeit von 30,48 m/s (6000 sfpm) aufweist.
9. Gebundenes Schleifwerkzeug nach Anspruch 5, wobei das gebundene Schleifwerkzeug einen Härtegrad von zwischen A und H auf der Härtegradskala der Firma Norton aufweist und der Härtegrad des gebundenen Schleifwerkzeugs mindestens einen Härtegrad weicher ist, als der eines ansonsten identischen, herkömmlichen Schleifwerkzeugs, das mit Schleifkörnungen hergestellt wurde, die nicht mit einem anorganischen Bindemittel zusammen agglomeriert worden sind.
10. Gebundenes Schleifwerkzeug nach Anspruch 5, wobei das anorganische Bindemittel ausgewählt wird aus der Gruppe, bestehend aus gesinterten Bindemitteln, keramischen Bindemitteln, Glaskermik-Bindemitteln, anorganischen Salzmaterialien und metallischen Bindemitteln sowie deren Kombinationen.
11. Gebundenes Schleifwerkzeug nach Anspruch 1, wobei 10 bis 100 Vol.-% der Schleifkörnungen in der ersten Phase der Verbundstoffe in der Form einer Mischung aus einer Vielzahl an Körnungen besteht, die mit einem anorganischen Bindemittel zusammen agglomeriert worden sind und einer Vielzahl an Körnungen, die mit einem

organischen Bindemittel zusammen agglomeriert worden sind.

12. Gebundenes Schleifwerkzeug nach Anspruch 1, wobei die erste Phase des Verbundstoffes ein retikuläres Netzwerk an Schleifkörnung ist, die innerhalb des organischen Bindemittels verankert ist.
13. Gebundenes Schleifwerkzeug nach Anspruch 1, wobei das organische Bindemittel ausgewählt wird aus der Gruppe, bestehend aus Epoxidharzmaterial, Polyimidharzmaterial, Phenolformaldehydharzmaterial, Harnstoffformaldehydharzmaterial, Melaminformaldehydharzmaterial, Akrylharzmaterial sowie deren Kombinationen.
14. Gebundenes Schleifwerkzeug nach Anspruch 1, wobei mindestens 50 Vol.-% der Schleifkörnungen in der ersten Phase des Verbundstoffes in der Form einer Vielzahl an Körnungen besteht, die mit einem organischen Bindemittel zusammen agglomeriert worden sind.
15. Gebundenes Schleifwerkzeug, umfassend einen dreidimensionalen Verbundstoff aus
  - (a) 22 - 46 Vol.-% an Schleifkörnungen, die mit 4 - 20 Vol.-% anorganischem Bindemittel gebunden sind; und
  - (b) 40 - 68 Vol.-% an verbundener Porosität;wobei eine Mehrzahl der Schleifkörnungen als unregelmäßige Hohlraumanhäufungen innerhalb des dreidimensionalen Verbundstoffes vorhanden sind; das gebundene Schleifwerkzeug einen elastischen Modulwert aufweist, der mindestens 10 % niedriger liegt, als der elastische Modulwert eines ansonsten identischen, herkömmlichen Schleifwerkzeugs mit regelmäßig verteilten Schleifkörnungen innerhalb eines dreidimensionalen Verbundstoffes; und das gebundene Schleifwerkzeug eine

Mindeststoßgeschwindigkeit von 20,32 m/s (4000 sfpm) aufweist.

16. Gebundenes Schleifwerkzeug nach Anspruch 15, wobei der dreidimensionale Verbundstoff 22 - 40 Vol.-% an Schleifkörnungen umfasst, die mit 8 - 14 Vol.-% an anorganischem Bindemittel und 40 - 64 Vol.-% an verbundener Porosität gebunden sind.
17. Gebundenes Schleifwerkzeug nach Anspruch 15, wobei der dreidimensionale Verbundstoff 34 - 42 Vol.-% an Schleifkörnungen umfasst, die mit 6 - 12 Vol.-% an anorganischem Bindemittel und 46 - 58 Vol.-% an verbundener Porosität gebunden sind.
18. Gebundenes Schleifwerkzeug nach Anspruch 15, wobei die verbundene Porosität ohne den Zusatz von Porosität induzierenden Materialien während dem Herstellungsverfahren gebildet worden ist und der Verbundstoff im Wesentlichen frei von Schleifkörnungs- und Füllstoff-Partikeln mit hohen Längenverhältnissen ist.
19. Gebundenes Schleifwerkzeug nach Anspruch 15, wobei 10 bis 100 Vol.-% der Schleifkörnungen in dem Verbundstoff in der Form einer Vielzahl an Körnungen existiert, die mit einem anorganischen Bindemittel zusammen agglomeriert worden sind.
20. Gebundenes Schleifwerkzeug nach Anspruch 15, wobei mindestens 50 Vol.-% der Schleifkörnungen in dem Verbundstoff in der Form einer Vielzahl an Körnungen existiert, die mit einem anorganischen Bindemittel zusammen agglomeriert worden sind.
21. Gebundenes Schleifwerkzeug nach Anspruch 15, wobei das anorganische Bindemittel ausgewählt wird aus der Gruppe, bestehend aus gesinterten Bindemitteln, kera-

mischen Bindemitteln, Glaskermik-Bindemitteln, anorganischen Salzmaterialien und metallischen Bindemitteln sowie deren Kombinationen.

22. Gebundenes Schleifwerkzeug nach Anspruch 15, wobei das gebundene Schleifwerkzeug einen Härtegrad von zwischen A und M auf der Härtegradskala der Firma Norton aufweist und der Härtegrad des gebundenen Schleifwerkzeugs mindestens einen Härtegrad weicher ist, als der eines ansonsten identischen, herkömmlichen Schleifwerkzeugs, das mit regelmäßig verteilten Schleifkörnungen innerhalb eines dreidimensionalen Verbundstoffes hergestellt wurde.
23. Gebundenes Schleifwerkzeug nach Anspruch 15, wobei das gebundene Schleifwerkzeug einen elastischen Modulwert aufweist, der mindestens 25 % niedriger liegt, als der elastische Modulwert eines ansonsten identischen, herkömmlichen Werkzeugs, das regelmäßig verteilte Schleifkörnungen innerhalb eines dreidimensionalen Verbundstoffes aufweist und das gebundene Schleifwerkzeug eine Mindeststoßgeschwindigkeit von 30,48 m/s (6000 sfpm) aufweist.
24. Gebundenes Schleifwerkzeug nach Anspruch 15, wobei das gebundene Schleifwerkzeug einen elastischen Modulwert aufweist, der mindestens 40 % niedriger liegt, als der elastische Modulwert eines ansonsten identischen, herkömmlichen Werkzeugs, das regelmäßig verteilte Schleifkörnungen innerhalb eines dreidimensionalen Verbundstoffes aufweist und das gebundene Schleifwerkzeug eine Mindeststoßgeschwindigkeit von 30,48 m/s (6000 sfpm) aufweist.
25. Gebundenes Schleifwerkzeug nach Anspruch 15, wobei das gebundene Schleifwerkzeug aus einem Schleifrad mit einem Innendurchmesser besteht und das Schleifrad 40 bis

52 Vol.-% einer Schleifkörnung enthält und einen elastischen Modulwert von 25 bis 50 GPa aufweist.

26. Gebundenes Schleifwerkzeug nach Anspruch 15, wobei das gebundene Schleifwerkzeug aus einem Werkzeugbauschleifrad besteht und das Schleifrad 39 bis 52 Vol.-% an Schleifkörnung enthält und einen elastischen Modulwert von 15 bis 36 GPa aufweist.

27. Gebundenes Schleifwerkzeug nach Anspruch 15, wobei das gebundene Schleifwerkzeug aus einem Tiefschleifrad besteht und das Schleifrad 30 bis 40 Vol.-% an Schleifkörnung enthält und einen elastischen Modulwert von 8 bis 25 GPa aufweist.

28. Verfahren zum Trennschleifen, umfassend die Schritte:  
(a) Bereitstellen eines gebundenen Schleifrads, umfassend einen dreidimensionalen Verbundstoff aus

(i) einer ersten Phase, umfassend 24 - 48 Vol.-% an Schleifkörnung, die mit 10 - 38 Vol.-% organischem Bindemittel und höchstens 10 Vol.-% Porosität gebunden ist; und

(ii) einer zweiten Phase, bestehend aus 38 - 54 Vol.-% Porosität;

wobei es sich bei der zweiten Phase um eine kontinuierliche Phase innerhalb des Verbundstoffes handelt und das gebundene Schleifwerkzeug eine Mindeststoßgeschwindigkeit von 20,32 m/s (4000 sfpm) aufweist;

(b) Befestigen des gebundenen Schleifrads an einer Planschleifmaschine;

- (c) Rotieren des Schleifrads; und
- (d) Das in Kontaktbringen der Schleifoberfläche des Schleifrad mit einem Werkstück für einen ausreichend langen Zeitraum zum Schleifen des Werkstückes;

wobei das Schleifrad Werkstückmaterial bei einer effektiven Materialentfernungsrate entfernt, die Schleifoberfläche des Schleifrades im Wesentlichen frei von Schleifabfall bleibt und nach dem Fertigstellen des Schleifvorgangs das Werkstück im Wesentlichen frei von thermischen Schädigungen ist.

- 29. Verfahren zum Trennschleifen nach Anspruch 28, wobei das gebundene Schleifrad eine Mindeststoßgeschwindigkeit von 30,48 m/s (6000 sfpm) aufweist.
- 30. Verfahren zum Trennschleifen nach Anspruch 28, wobei das gebundene Schleifrad bei einer Geschwindigkeit von 20,32 bis 33,02 m/s (4000 bis 6500 sfpm) rotiert wird.
- 31. Verfahren zum Trennschleifen nach Anspruch 28, wobei das gebundene Schleifrad aus einer flachen Scheibe mit mindestens einer kreisförmigen Fläche und einem radialen Umfang besteht und die Schleifoberfläche des Schleifrades die kreisförmige Fläche der Scheibe ist.
- 32. Verfahren zum Tiefschleifen, umfassend die Schritte:
  - (a) Bereitstellen eines gebundenen Schleifrades, umfassend einen dreidimensionalen Verbundstoff aus
    - (i) 22 - 46 Vol.-% an Schleifkörnungen, die mit 4 - 20 Vol.-% anorganischem Bindemittel gebunden sind; und
    - (ii) 40 - 68 Vol.-% verbundener Porosität;

wobei eine Mehrzahl der Schleifkörnungen als unregelmäßig verteilte Hohlraumanhäufungen innerhalb des dreidimensionalen Verbundstoffes vorhanden ist; das gebundene Schleifwerkzeug einen elastischen Modulwert aufweist, der mindestens 10 % niedriger liegt, als der elastische Modulwert eines ansonsten identischen, herkömmlichen Werkzeugs mit regelmäßig verteilten Schleifkörnungen innerhalb eines dreidimensionalen Verbundstoffes; und das gebundene Schleifwerkzeug eine Mindeststoßgeschwindigkeit von 20,32 m/s (4000 sfpm) aufweist;

(b) Befestigen des gebundenen Schleifrads an einer Tiefschleifmaschine;

(c) Rotieren des Schleifrads; und

(d) Das in Kontaktbringen der Schleifoberfläche des Schleifrad mit einem Werkstück für einen ausreichend langen Zeitraum zum Schleifen des Werkstückes;

wobei das Schleifrad Werkstückmaterial bei einer effektiven Materialentfernungsrate entfernt, die Schleifoberfläche des Schleifrades im Wesentlichen frei von Schleifabfall bleibt und nach dem Fertigstellen des Schleifvorgangs das Werkstück im Wesentlichen frei von thermischen Schädigungen ist.

33. Verfahren nach Anspruch 32 zum Tiefschleifen, wobei das gebundene Schleifrad eine Mindeststoßgeschwindigkeit von 30,48 m/s (6000 sfpm) aufweist.

34. Verfahren nach Anspruch 32 zum Tiefschleifen, wobei das gebundene Schleifrad bei einer Geschwindigkeit von 27,94 bis 43,18 m/s (5500 bis 8500 sfpm) rotiert wird.

35. Verfahren nach Anspruch 32 zum Tiefschleifen, wobei das gebundene Schleifrad aus zwei kreisförmigen Flächen und einem radialen Umfang besteht und die Schleifoberfläche des Schleifrades der radiale Umfang ist.

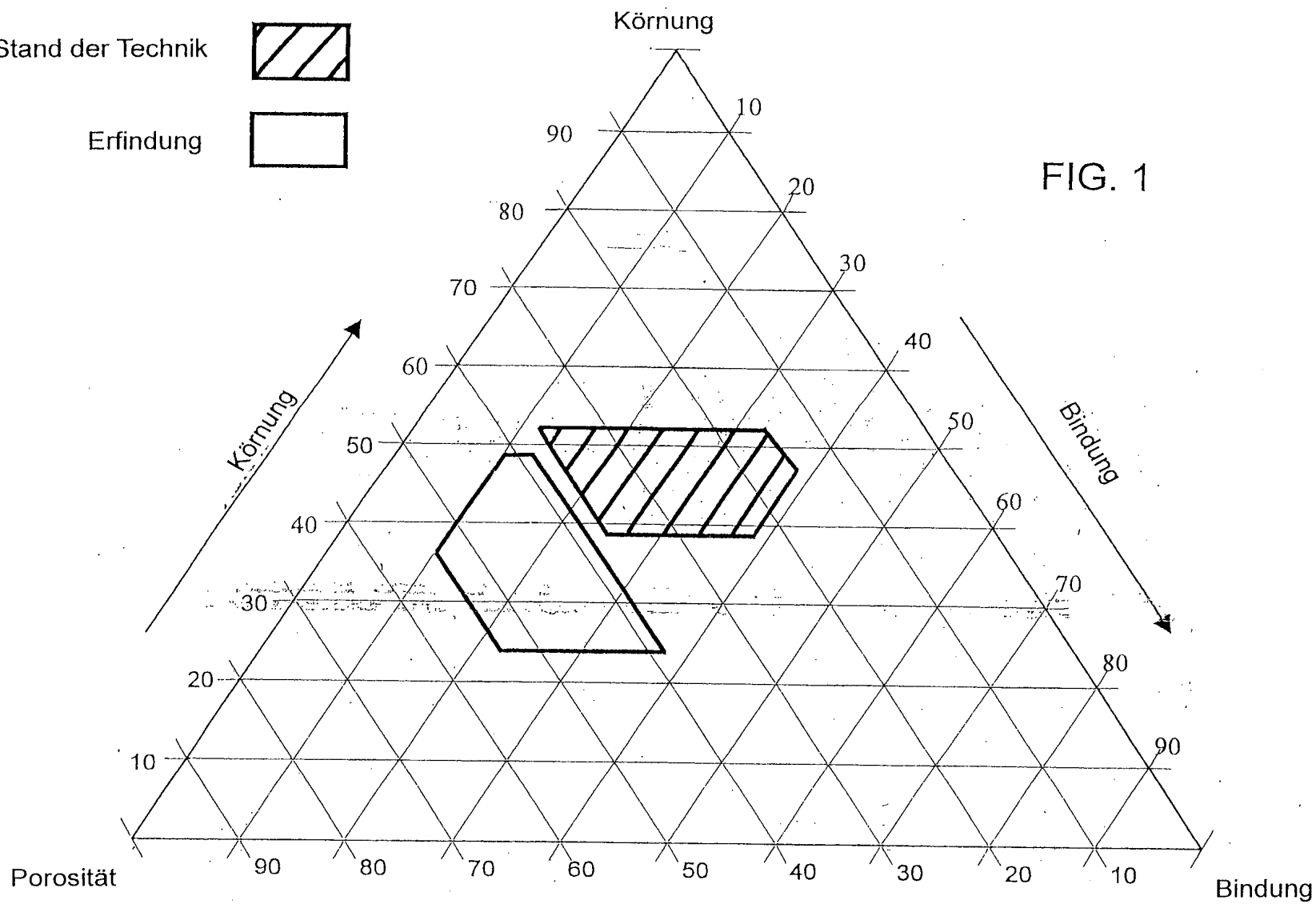
Stand der Technik



Erfindung



FIG. 1



5  
3  
8  
8

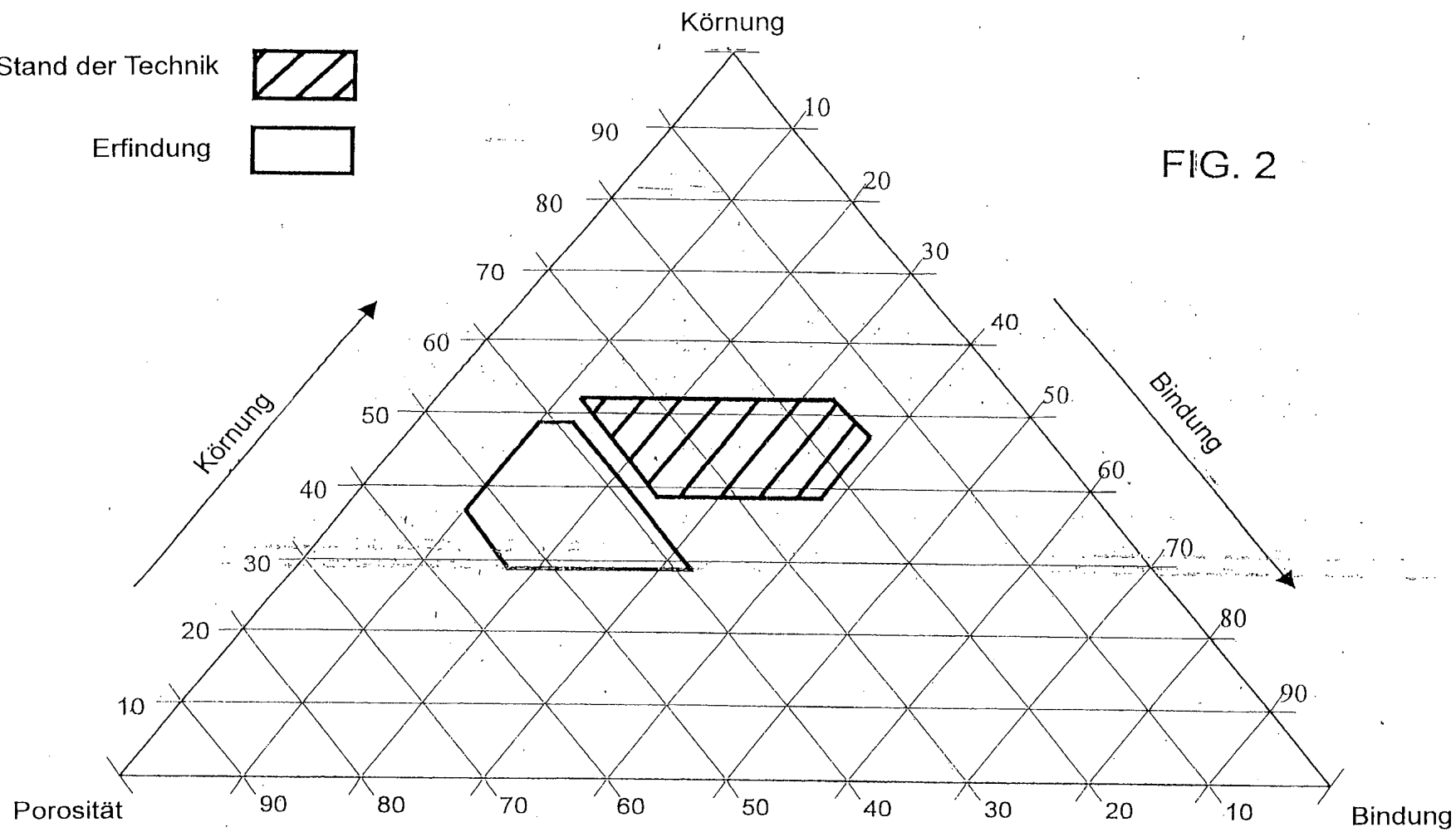
Stand der Technik



Erfindung

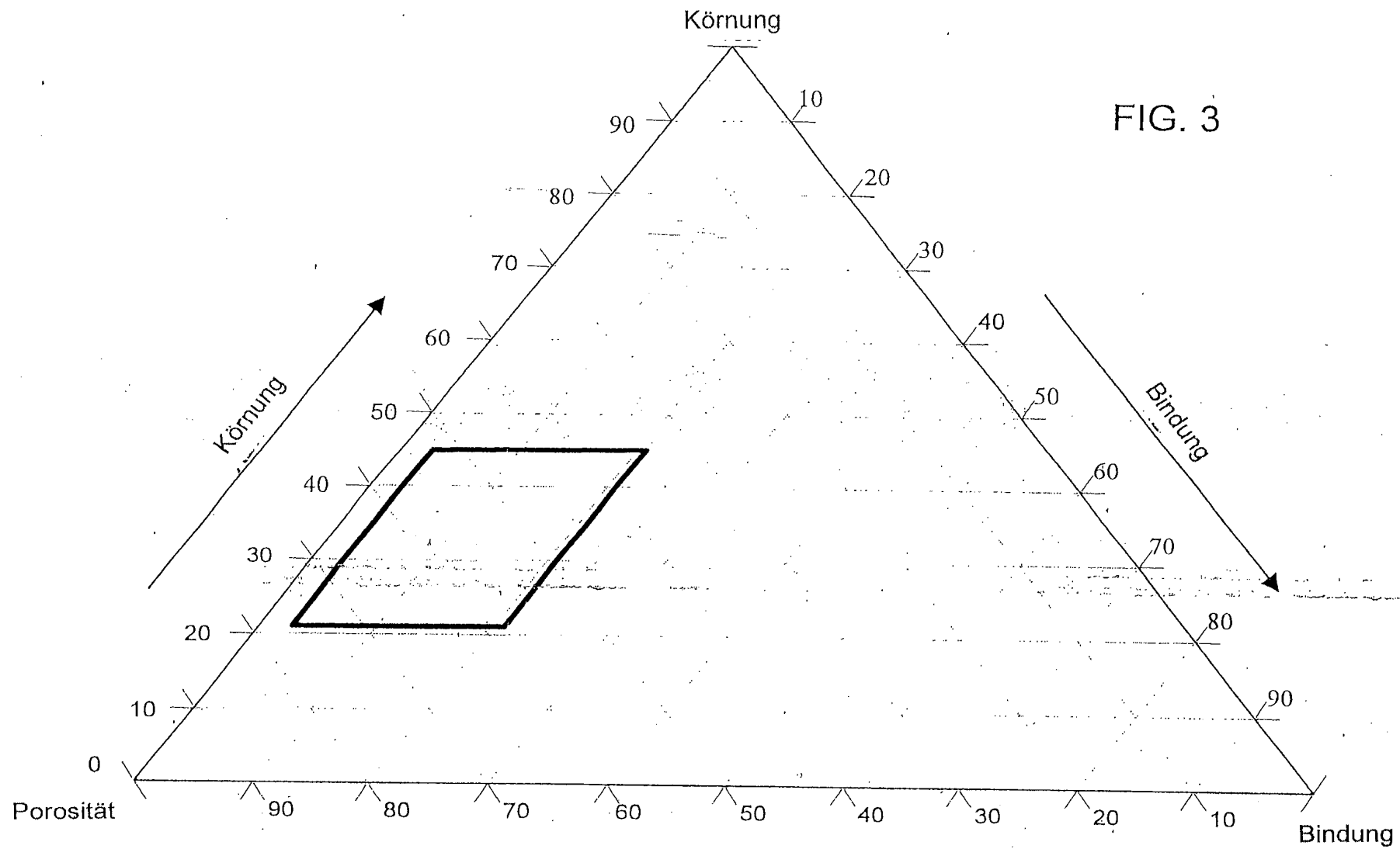


FIG. 2



5  
5  
5  
5  
5

FIG. 3



338

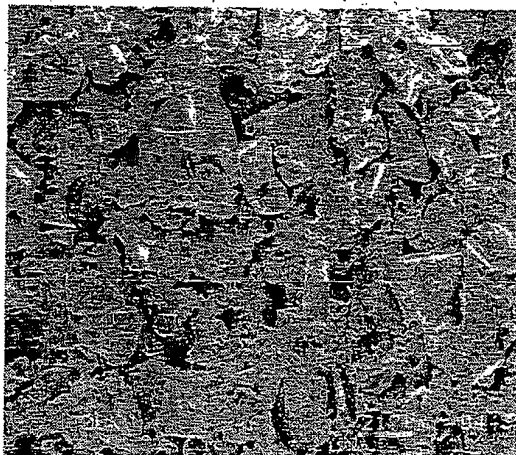


Figure 4

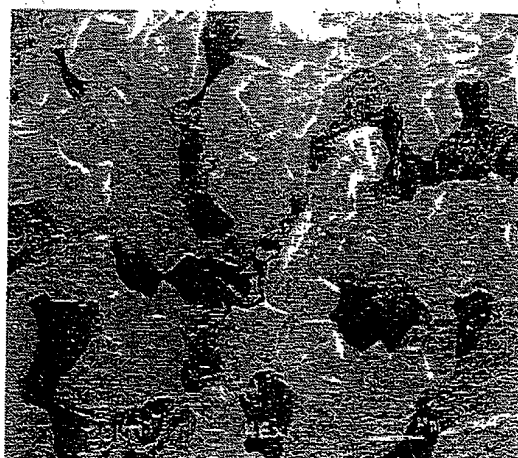


Figure 5