

ÜBER DIE HERSTELLUNGSBEDINGUNGEN VON SCHLEIFWERKZEUGEN

II. TEIL

Von

M. MOSER

Lehrstuhl für Chemische Technologie, Technische

Universität, Budapest

(Eingegangen am 20. Mai 1964)

Vorgelegt von Prof. Dr. L. VAJTA

Bevor wir einige wichtige Eigenschaften der Schleifwerkzeuge, die mit deren Zusammensetzung und Kristallstruktur in Verbindung stehen behandeln, möchten wir einige Probleme, die mit der Benennung und Wirkung der Schleifwerkzeuge eng verbunden sind, kurz zusammenfassen.

Die Güte der Schleifwerkzeuge wird im allgemeinen mit der Schleifkörperhärte charakterisiert, obwohl eine genaue Definition derselben und ein einheitliches Härteprüfverfahren zur Zeit noch nicht bekannt ist.

Die gemessene Härtewerte verändern sich nach dem angewandten Meßverfahren. Heute sind sehr viele Prüfverfahren im Umlauf, immer noch kommen neue Verfahren hinzu womit bewiesen wird, daß die Frage bis jetzt noch überhaupt nicht gelöst ist.

Wenn wir die Resultate, die während der Benützung der Schleifwerkzeuge erhalten wurden, mit den Ergebnissen der gewöhnlichen Härteprüfverfahren vergleichen, können wir feststellen, daß die Zusammenhänge oft nicht eindeutig sind. Obwohl die Definition der Bindungshärte allein die Festigkeit der Bindungsbrücken charakterisieren will, messen mehrere Prüfverfahren auch die Eigenschaften der Körner, die den größten Teil des Rauminhalts der Schleifwerkzeuge ausmachen, bzw. beschreiben diese Ergebnisse abweichend von der ursprünglichen Zielsetzungen, die beiden Phasen gemeinsam.

Wenn wir die Abnützung der Schleifwerkzeuge betrachten, ist es einzusehen, daß die Bindungshärte an sich allein die Eigenschaften der Schleifwerkzeuge nicht charakterisieren kann. Während der spanabhebenden Formung werden die Schleifkörner in folgender Weise abgenutzt:

Während der Benützung sind die Schleifkörner durch mechanische und termische Belastung in Anspruch genommen. Die mechanischen Belastungen sind stoßartig. Die momentanen Temperaturwerte sind während der Spanabhebung sehr groß (500 °C—2000 °C).

Nach PEKLENIK [1] ist die Hauptursache des Verschleißes der Schleifkörner die unter den termischen Wirkungen entstandene Druckerweichung.

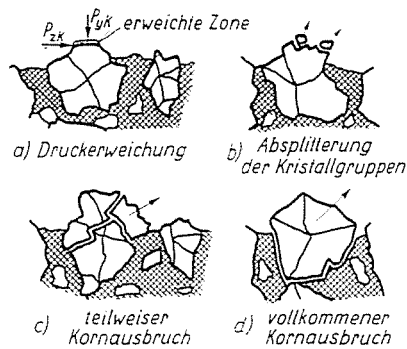


Abb. 1. Abnützungsarten der Schleifwerkzeuge

- a) Druckerweichung
- b) Absplitterung der Kristallgruppen
- c) Teilweises Absplittern der Körner
- d) Totales Absplittern der Körner

Die Untersuchungen Ryschkewitzsch zeigen, daß die Druckerweichung der Schleifkörner schon bei 1200 °C eintritt. Unter dem Einfluß der mechanischen Belastungen werden von den Verschleißoberflächen der Schleifkörner kleinere-größere Schichten abgetrennt. Die Stärke dieser Schichten ist von der Berührungszeit mit dem zu bearbeitenden Gegenstand und von der entstandenen Temperatur abhängig.

An den Oberflächen und im Innen der Schleifkörner treten Tangentialspannungen von verschiedenen Werten auf die an den Verschleißoberflächen der Körner Risse verursachen. Infolge der Risse nimmt die Festigkeit der Körner stark ab und die Wirkung der wiederholten Belastungen an den Schneidkanten verursacht das Absplittern einzelner Kristallgruppen.

Mit dem Absplittern der einzelnen Kristallgruppen nimmt auch die Verschleißoberfläche ab. Diese Erscheinung können wir als die Selbstschärfung der Körner betrachten. Damit die günstige Eigenschaften der Schleifkörner zur Geltung kommen könne, ist eine entsprechende Bindung notwendig. Wenn wir das vollständige Absplittern der Körner, als die Selbstschärfung betrachten, so müssen wir unsere Aufmerksamkeit unmittelbar auf die Frage der Bindung lenken.

Die Bindungsbrücken, welche die Schleifkörner zusammenhalten, sind die wichtigsten Bauelemente der Schleifwerkzeuge. Ihre physikalisch-mechanischen Eigenschaften, ihre Dimension, die Güte und Anordnung der Körner sind bezüglich der Wirkung der Schleifwerkzeuge ausschlaggebend.

Beim Auslegen der Eigenschaften der Schleifwerkzeuge, welche auf ein Dreistoffsystem — Schleifkorn, Bindemittel, Luftporen — aufgebaut sind, sind wir heute noch auf viele Voraussetzungen angewiesen, die gar nicht unterstützt werden können. Der ein Grund der selben besteht darin, daß die Entwicklung der Schleiftechnologie und der Prüfverfahren der Schleifwerkzeuge

viel rascher war, als die Entwicklung der Forschungen hinsichtlich des Aufbaus der Schleifwerkzeuge.

Ist von Schleifwerkzeugen mit keramischer Bindung die Rede, so müssen wir betonen, daß deren Eigenschaften von jenen anderer keramischer Erzeugnisse grundsätzlich abweichen. In den meisten Fällen sind die Eigenschaften der letzteren als Eigenheiten der vollständigen Erzeugnisse zu betrachten. Bei Forschung der Schleifwerkzeuge müssen die praktisch kleinsten Bauelemente einheitlich gut definierbare Eigenschaften besitzen, was aus den vorerwähnten Wirkungs- und Abnutzungsumständen leicht ersichtlich ist. Eine andere Ursache der vorhandenen Unsicherheiten ist, daß vielerorts die Herstellung der Schleifwerkzeuge ohne prinzipielle Erwägungen stattfindet.

Die Eigenschaften der Werkzeuge, welche nach den verschiedensten Gesichtspunkten gemessen werden, zu erklären, zu definieren und nicht zuletzt auch zu entwickeln, ist kaum möglich ohne zu wissen, wie die Komponenten und ihre Eigenschaften mit dem Feingefüge verbunden sind.

Da die »Elementar-Schleifkörper« die Träger der definierten Eigenschaften der Schleifwerkzeuge sind, ist es klar, daß die Kenntnisse, welche aus der Zusammensetzung und aus dem Feingefüge stammen, mit der Verbindungsform der Elementar-Schleifkörper, d. h. mit dem strukturellen Aufbau ergänzt werden müssen.

Aufbau und Eigenschaften der Schleifwerkzeuge

Die mit dem Aufbau und den Eigenschaften der Schleifwerkzeuge zusammenhängenden Fragen werden wir nach von uns gewählten Gesichtspunkten behandeln und mit nach einem zeitgemäßen und einem veralteten Verfahren hergestellten Schleifwerkzeug vergleichen, die mit den gleichen Eigenschaften bezeichnet sind und zu demselben Zweck angewendet werden sollen.

Die unter gleichen Umständen gebrauchten beiden Typen zeigen einen achtfachen Leistungsunterschied. Mit dem zur Verfügung stehenden Zeiss—Mackensenschen Sandblaseverfahren war praktisch kein Unterschied wahrzunehmen. Aus diesem Grunde haben wir die erzielten Ergebnisse außer acht gelassen und nach anderen Zusammenhängen gesucht.

a) *Das Gefüge*

Das mit zeitgemäßem Verfahren hergestellte Schleifwerkzeug bezeichnen wir mit No 1., das mit veraltetem Verfahren hergestellte von minderer Qualität hingegen mit No 2.

Die Aufnahmen zeigen zwei Erzeugnisse von grundsätzlich verschiedenem Herstellungsverfahren, und unterschiedlicher Qualität.

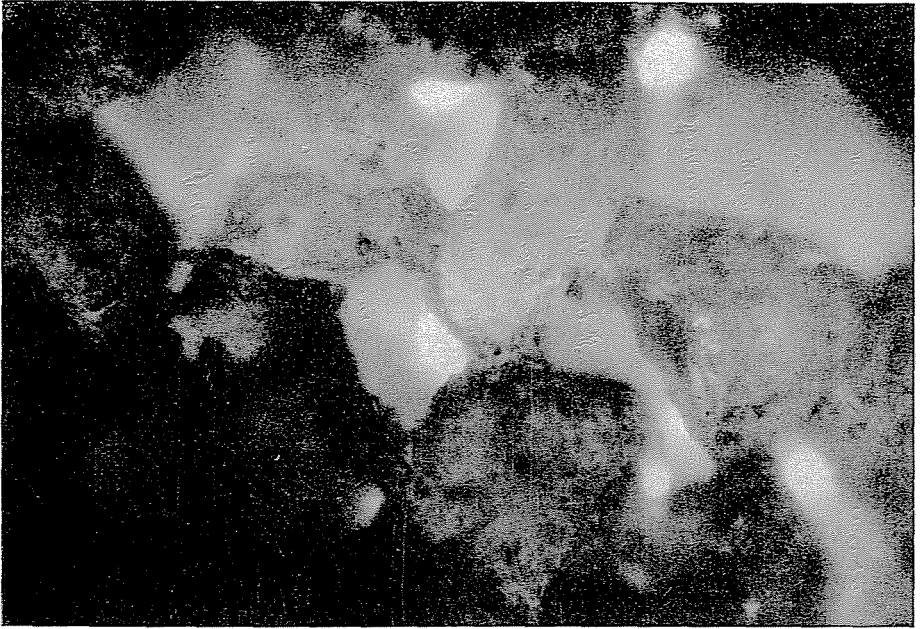


Abb. 2. Gefüge der Maag-Schleifscheibe No 1

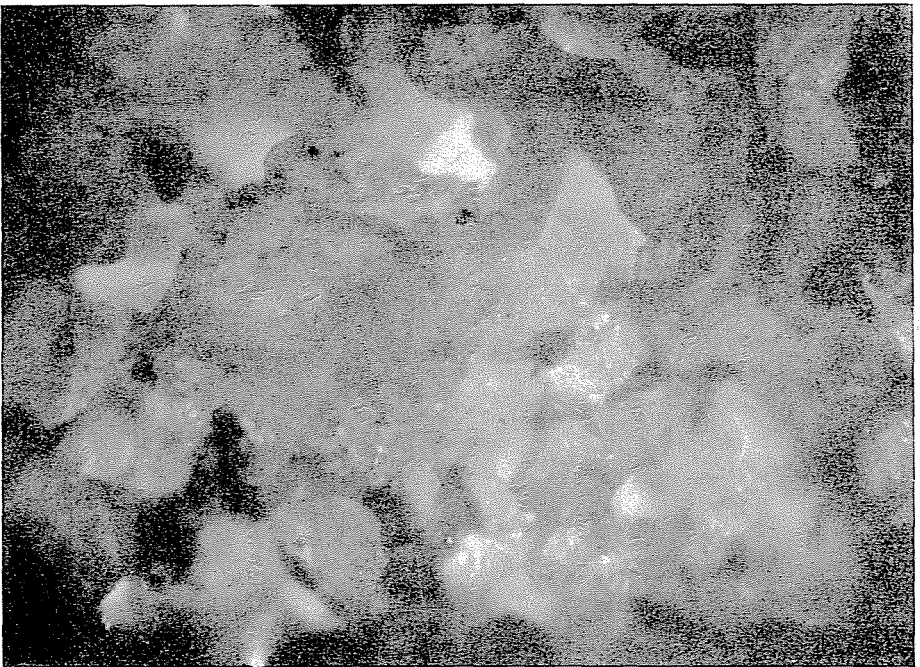


Abb. 3. Gefüge der Maag-Schleifscheibe No 2

Bei Muster No 2 können wir von einem gesetzmäßigen Aufbau überhaupt nicht sprechen, dagegen ist bei No 1 nicht nur der Aufbau der Kornstruktur homogen, sondern wir können auch die geregelte Bindung sehr gut beobachten. Die Schleifkörner sind mit einer glasartigen Hülle gleichmäßig umgeben, und mit schwach gebogenen Brücken miteinander verbunden. Das Verhältnis Elektrokorund-Bindemittel können wir mit indirekter Methode feststellen. Die Bindemittelmenge ergab sich bei Muster No 2 um 2% höher. (Bindemittelmenge des Musters No 1 beträgt 9%.)

Nach einer Theorie, die sich mit der Forschung der exakten Gesetzmäßigkeiten des Gefügebau der Schleifwerkzeuge befaßt, werden der strukturelle Aufbau und die mechanisch-physikalischen Eigenschaften der Schleifwerkzeuge durch den Bindemittelrauminhalt und durch den Kornanteil bestimmt[1].

Mit Einführung der neuen Härtebezeichnung (statt Buchstaben bezeichnet man die Härte mit Zahlen) nehmen die Härtestufen mit der Vermehrung des Bindemittelanteiles zu (von $E = 1$ bis $W = 19$).

Den Härtestufensprung können wir als solchen Parameter betrachten, dessen Zunahme zu jedem mit einer Stufe größeren Härtegrad auch die Vermehrung des Bindemittelanteils bestimmt. Mit der Vermehrung des Bindemittelanteils wird der Luftporenanteil immer geringer.

Im allgemeinen nimmt der Härtestufensprung (φ_h) im Sinne einer mathematischen Reihe zu. Wenn wir den Rauminhalt des Schleifwerkzeuges mit 100% bezeichnen, ist die folgende Gleichung gültig:

$$V_k + V_b + V_p = 100 \%$$

wo

V_k den Kornanteil in v. H.,

V_b den Bindemittelanteil in v. H. und

V_p den Luftporenanteil in v. H.

bedeutet.

Die Gleichung auf den nächsten, höheren Härtegrad beziehend ist, folgende:

$$V_k + (V_b + \varphi_h) + (V_p - \varphi_h) = 100.$$

Der Härtestufensprung ändert sich fast bei jeder Herstellungsfirma. Nach literarischen Angaben liegt er zwischen 0,4—1,5.

Die Kenntnis der Härtestufensprünge besitzt selbstverständlich nur mit den entsprechenden Eigenschaften Bedeutung.

b) *Elastische Formveränderungen*

Die Formveränderungen der Schleifkörper, die infolge der Spannungen auftreten, sind von außerordentlicher Bedeutung.

Der Grundsatz der Festigkeitslehre, daß Hooksche Gesetz, obzwar es sehr einfach ist, charakterisiert das Verhalten des Materials. Der Elastizitätsmodul E , welcher die Proportionalität zum Ausdruck bringt, ist die wichtigste Charakteristik des Materials. Der Poissonsche Koeffizient, welcher das Verhältnis des spezifischen Wertes der Längenveränderung in Kraftrichtung und der gleichzeitigen Querrichtungsmaßveränderung ausdrückt, hängt allein vom Material ab und ist auch eine Charakteristik desselben. RIEKE und

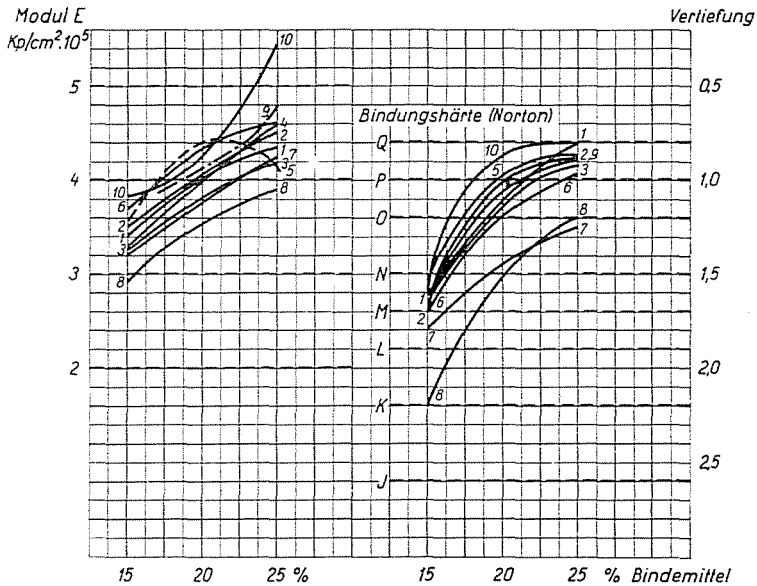


Abb. 4. Zusammenhang zwischen der Nortonhärte (gemessen mit ZeissMac—kensen Gerät) und dem Elastizitätsmodul der Schleifwerkzeuge mit 15, 20 und 25% Bindemittel

HAEBERLE [2], die den Zusammenhang zwischen Schleifkörperhärte und Elastizitätsmodul untersuchten, haben festgestellt, daß der Elastizitätsmodul in großem Maße von der Menge des Bindemittels abhängig ist. Die Analogie ist so auffallend, daß die Messung des Elastizitätsmoduls bei gleichem Bindemittel viel verwendbarere Werte liefert, als die Messung der Härte und auch die Streuung ist wesentlich geringer.

Abbildung 4 zeigt, daß der Wert des Elastizitätsmoduls nur das Bindemittel charakterisiert und der Korund, mit einem Elastizitätsmodul von etwa $25 \cdot 10^5$ kp/cm², in der Formveränderung nicht teilnimmt.

Diese Tatsache ist für uns deshalb wichtig, weil sie eine Gelegenheit zur Untersuchung der Bindung der Schleifwerkzeuge bietet, ohne daß die Korundphase die Bewertung stören würde.

Die Messungen vollbrachten wir mit einer Einrichtung, die zum Messen der dynamischen Formveränderungen geeignet ist. Die Einrichtung arbeitet mit der Bestimmung des elektrischen Widerstandes.

Während der Untersuchungen haben wir die Zug- und Druckfestigkeit zahlreicher Proben überprüft. In Tabelle I sind die auf Muster No 1 und No 2 bezogenen gemessenen und berechneten Werte eingetragen.

Tabelle I

Bezeichnung des Musters	Norton'sche Härte (mit Zeiss-Mackensens Gerät)	Zugfestigkeit σ_B (kp/cm ²)	Druckfestigkeit σ_{ny} (kp/cm ²)	Elastizitätsmodul E (kp/cm ²)	Poisson'scher Koeffizient m
1.	K	144	720	$1,2 \cdot 10^5$	4,6
2.	K	52	216	$0,78 \cdot 10^5$	3,5

Die Ergebnisse zeigen getreu die Unterschiede, die sich aus dem Gefügebau ergeben und die auch nach solchen Voraussetzungen augenfällig sind.

Wir haben schon erwähnt, daß der Bindemittelinhalt des Musters No 2 um 2% höher ist, als beim Muster No 1. Trotzdem ist der Elastizitätsmodul im Gegensatz zu den dargelegten Zusammenhängen niedriger.

Im Laufe der weiteren Untersuchungen haben wir neben den Festigkeits- und Elastizitätsunterschieden, die mit dem anomalen Gefüge zusammenhängen, auch grundsätzliche Unterschiede im Bindemittel gefunden.

Die spektrographischen Prüfungen, die wir zur vorherigen Informierung durchgeführt haben, (Zeiss q-24 Quarzprismen-Gerät mit mittlerer Brechung) zeigten folgende chemische Elemente (Tabelle II).

(Die Komponenten Fe, Cr, Ni und Cu stammen größtenteils aus dem bearbeiteten Werkstück.) Nach eingehender Prüfung ist das Bindemittel des Musters No 1 ein solches mit B₂O₃ Basis, daß andere besteht aus einer Mischung von Illit und Feldpat.

Die zur Bindung der Korundkörner dienenden keramischen Bindemittel sind nach übereinstimmender Ansicht, hinsichtlich des Zustandes und der Eigenschaften zähe Gläser. Es wird in dieser Beziehung relativ wenig von den mit dem Oxidgehalt zusammenhängenden Eigenschaften der Gläser gesprochen, mit besonderer Rücksicht auf die Anwendungsmöglichkeiten.

c) *Einige Eigenschaften der glasartigen Silikate* [3]

Infolge Einwirkung von Außenbelastungen können die Glassilikate elastische Formveränderungen erleiden, zu fließen beginnen, oder gar zerreißen. Den Mechanismus und die mit dem Gefüge zusammenhängende Auslegung dieser Erscheinungen zeigt Abb. 5.

Tabelle II
Chemische Elemente im Muster No 1 und No 2

Elemente	Muster No 1	Muster No 2
Fe	+++	+++
Cr	+	++
K	(+)	++
Al	++++	++++
Ca	++	++
Ni	+	+
Co	(+)	(+)
Na	++	++
Cu	+	+
Ti	(+)	(+)
Mn	+	+
Si	+++	+++
Mg	++	+++
Sn	(+)	(+)
Pb	(+)	+
B	+++	(+)

Bezeichnungen: +++ (+) Grund (Hauptkomponente)
 ++ 1
 + 10^{-1}
 (+) 10^{-2}

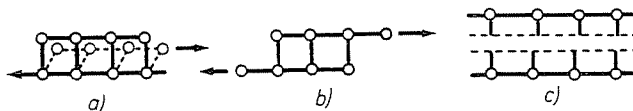


Abb. 5. Skizze der Formveränderungen in Retikularsystemen (Netzsystemen)

- a) elastische Formveränderung
 b) bleibende Formveränderung
 c) Riß

Ist die Belastung auf die Oberflächeneinheit geringer, als die Streckgrenze ($\sigma < \sigma_a$), so ist die Formveränderung reversibel und das Gefüge gewinnt nach Aufheben der Belastung die Originalform zurück.

Die bleibende Formveränderung spielt sich nach Skizze b) ab. Die Gitterebenen verschieben sich aufeinander und es entstehen neue Ionenbindungen. Diese Erscheinung nennt man »langames« Fließen, sie verläuft jenseits der Streckgrenze, deshalb ist sie irreversibel.

Das Zerreißen der Netzgefüge charakterisiert Skizze c). Die »zähflüssig-elastische« Formveränderung, die bei den glasartigen Gefügen auftritt, können

wir auch bei einigen Metallen beobachten, bei welchen die Belastung mit Temperaturanstieg verbunden ist. In den glasartigen Strukturen sind Bindungen von verschiedener Stärke vorhanden. Die Ionenbindungen sind die stärksten, damit ist die elastische Formveränderung erklärbar. Die bleibenden Formveränderungen ermöglichen weniger starke Bindungen. Die sehr schwachen Bindungen erklären den dickfließenden Zustand.

Die genaue Klärung der Zusammenhänge zwischen den Eigenschaften der Gläser und derer Oxydzusammensetzung ist noch eine Aufgabe der Zukunft.

Die Eigenschaften der Kalknatrongläser können annähernd mit folgender Formel ausgedrückt werden:

$$P = a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + \dots + a_n x_n$$

wo

$x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ die Menge der Oxide von v. H.

$a_1, a_2, a_3 \dots a_n$ die Proportionalitätsfaktoren der einzelnen Oxiden bedeuten.

Die Werte der Proportionalitätsfaktoren sind in Tabelle III enthalten.

Tabelle III

Additive a/n Proportionalitätskoeffizienten bezüglich der Eigenschaften der Gläser

Komponente	Zugfestigkeit	Druckfestigkeit	Elastizitätsmodul	Härte	Spezifische Wärme	Wärmeausdehnungskoeffizient
SiO ₂	0,09	1,23	70	3,32	0,1913	0,8 · 10 ⁻⁷
Al ₂ O ₃	0,05	1,0	180—150	—0,1	0,2074	5,0
CaO	0,20	0,2	70	—6,3	0,1903	5,0
BaO	0,05	0,62	70—30	1,95	0,0673	3,0
ZnO	0,15	0,6	52—100	7,1	0,1248	1,8
MgO	0,01	1,1	40	—	0,2439	0,1
PbO	0,025	0,48	46—55	1,45	0,0512	3,0
K ₂ O	0,01	0,05	40—70	3,9	0,186	8,5
Na ₂ O	0,02	0,6	61—100	—2,65	0,2674	10,0
B ₂ O ₃	0,065	0,09	60—25	0,75	0,2272	0,1
P ₂ O ₅	0,075	0,76	70	1,32	0,1902	2,0
As ₂ O ₅	0,03	—	40	—	0,1276	2,0

Die zur Berechnung der Eigenschaften benützten Formeln sind nicht präzise und von beschränkter Gültigkeit. Einige Eigenschaften verändern sich nicht linear mit der Veränderung des Oxidinhalt. Die zugängliche Literatur befaßt sich nicht mit ähnlichen Zusammenhängen hinsichtlich der glasartigen keramischen Bindemittel, obwohl jede Eigenschaft, die durch die einzelnen

Oxidkomponenten beeinflusst wird, die Anwendungseigenschaften der Schleifkörper bestimmen kann.

Auf Grund der bisherigen Erörterungen ist es leicht verständlich, daß die zwischen engen Grenzen definierten Eigenschaften der keramischen Bindungen und derer reproduzierbare Herstellung eine der kompliziertesten Aufgaben der keramischen Industrie bildet. Die Lösung dieser Probleme benötigt noch lange, gründliche, weitumfassende Forschungsarbeit.

Die eingehende und umfassende Illustration der in den Teilen I und II angeschnittenen und erörterten Probleme anhand eigener Messungen bleibt einer abschließenden Publikation vorbehalten, die zugleich das Rückgrat der Arbeit bilden wird.

Zusammenfassung

Die Prüfung und Ausgestaltung der Eigenschaften der Schleifwerkzeuge mit keramischer Bindung erfordert die Lösung vielfältiger, weitverzweigter und letzten Endes miteinander eng verbundener Probleme. Das Verhalten gegen die bei Anwendung der Schleifwerkzeuge auftretenden speziellen mechanischen und thermischen Belastungen ist nicht mit den gewöhnlichen Härteprüfungsmethoden erklärbar. Zur Auslegung und Beurteilung der Eigenschaften der Schleifwerkzeuge ist es nötig, die Eigenschaften der einzelnen Komponenten, derer Proportionalität und die Ineinanderpassung im Raum bis zu einer entsprechenden Tiefe kennenzulernen.

Schrifttum

1. PEKLENIK, J.: Industrie Anzeiger Nr. 46. **82** (1960).
2. RIEKE, R., HAEBERLE, CH.: Berichte DKG **24**, 131 (1943).
3. SOLACOLU, S.: Physikalische Chemie der technischen Silikate, Technischer Verlag 1962. 111, 112, 565.

Miklós MOSER, Budapest, XI. Budafoki út 8. Ungarn