

GESETZMÄSSIGKEITEN IM AUFBAU VON SCHLEIFWERKZEUGEN

Von

M. MOSER

Lehrstuhl für Chemische Technologie, Technische Universität, Budapest

(Eingegangen am 16. März 1970)

Vorgelegt von Dr. I. SZEBÉNYI

I. Die Mikroanordnung der Schleifkörner-Bindemittel-Phase

Die Kennzeichnung des Gefügebauaufbaues keramisch gebundener Schleifkörper beschränkt sich in der Regel auf die Untersuchung von Größe, Form und Anordnungsweise der Schleifkörner, Bindemittelbrücken und Luftporen. Der Bindemittelhülle, die die einzelnen Schleifkörner umschließt, bzw. in die diese gebettet sind, wird — im Verhältnis zu ihrer Wichtigkeit — kaum die

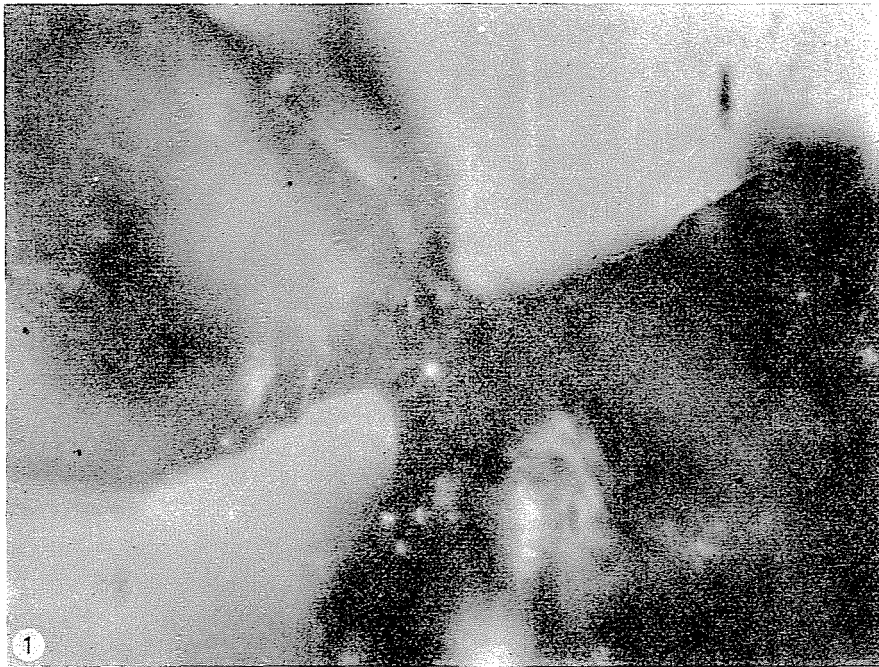


Abb. 1. Elektrokorund-Körnerpaar, in keramische Bindemittelhülle gebettet und durch Bindemittelbrücke verbunden (120fach)

gebührende Beachtung geschenkt, obwohl sie die Eigenschaften des Schleifwerkzeugs wesentlich beeinflusst. Die Ausgestaltung der Bindemittelhüllen und die Art ihrer Anlagerung an die einzelnen Schleifkörner lassen sich durch geeignete Wahl der Rohstoffe und durch die Fertigungsbedingungen mit hoher Empfindlichkeit regeln.

Bei der Betrachtung der Verbindung zwischen Bindemittelhülle und Schleifkörnern verdient deren Oberfläche besondere Beachtung. Lichtmikroskopische Untersuchungen lassen Oberfläche und Aufbau der Schleifkörner nur zum Teil erkennen, wogegen die elektronenmikroskopischen Verfahren eine genaue Beobachtung selbst des Mikrogefüges der Elektrokorkörner gestatten. Abb. 2 zeigt einige charakteristische Mikrogefügetypen von Elektrokorkorund. Größe, Anordnungsweise und Orientierung der Mikrokrystalle können äußerst mannigfaltig sein.

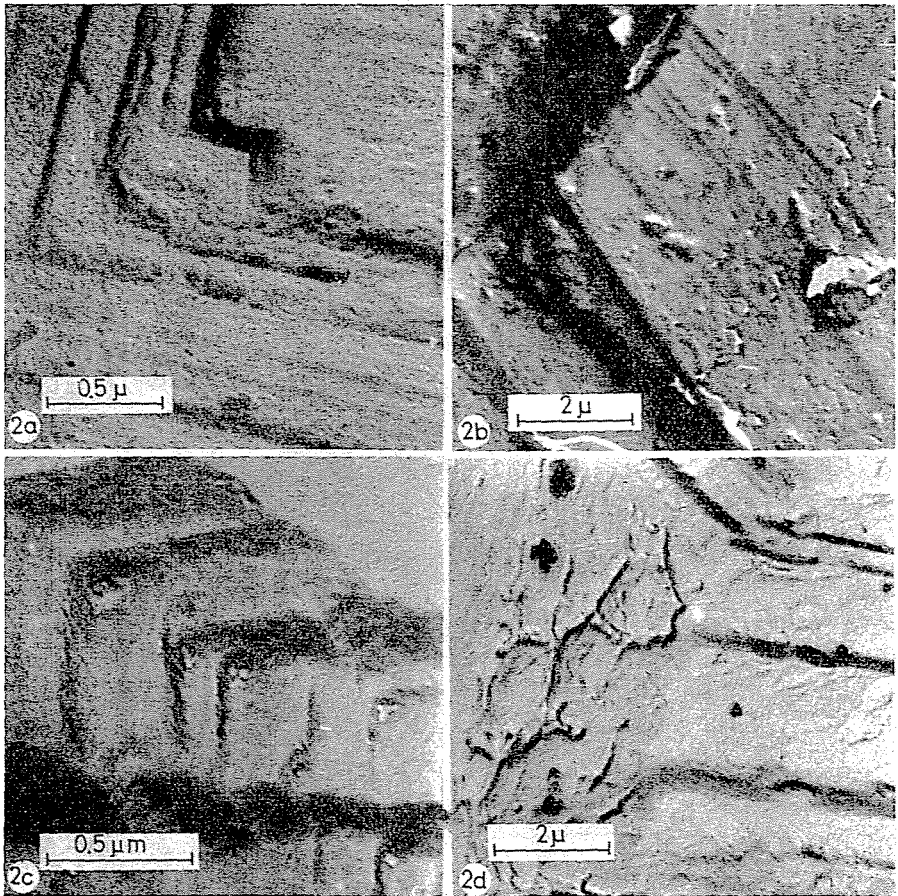


Abb. 2. Aufnahme des Mikrogefüges von Elektrokorkorundkorn. 1) 30 250fach; 2) 6050fach; 3) 30 250fach; 4) 18 150fach

Um den grundlegenden Prozeß von Wirkung und Verschleiß der Schleifkörper zu studieren, wurden nach vorangegangenen lichtmikroskopischen Untersuchungen die Verschleißflächen von Schleifkörpern auch mit dem Elektronenmikroskop geprüft. Schon aufgrund der lichtmikroskopischen Beobachtung konnte angenommen werden, daß Schleifkorn und Bindemittelhülle im Zuge des normalen Selbstanschärfens einen praktisch gleichraschen Verschleiß erleiden. Abb. 3 veranschaulicht die Oberfläche eines vor dem Gebrauch

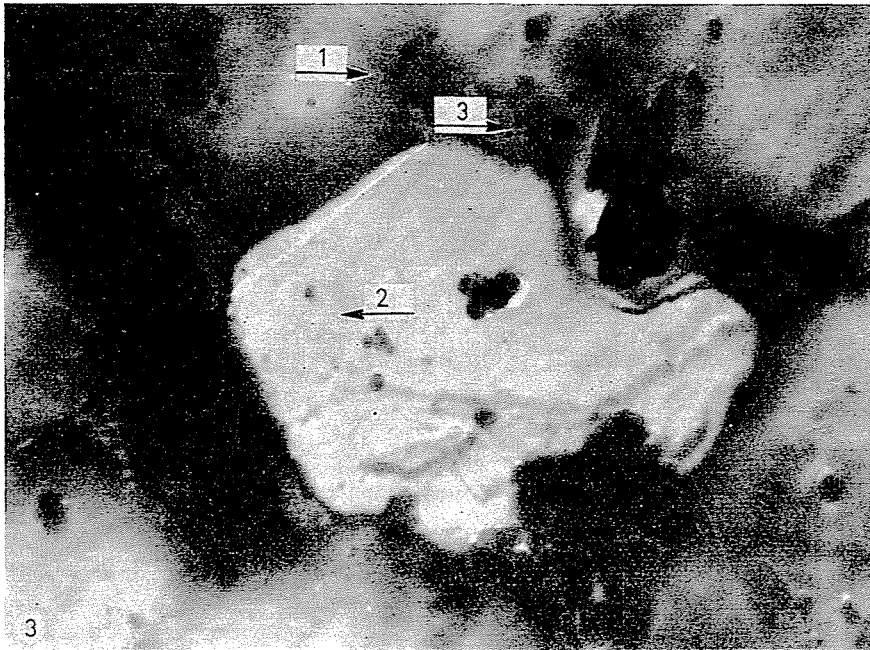


Abb. 3. Verschleißfläche eines Elektrokorund-Mikrokristalls mit »Bindemittel-Stützpfeiler« (23 100fach). (1) Bindemittelhülle, (2) Edelkorund, (3) Bindemittel-Stützpfeiler

noch hervorstehenden, während des Schleifens jedoch praktisch glattgeschleuerten, etwas deformierten hexagonalen Mikrokristallprismas. An der Spitze der hexagonalen Korund-Mikrokristall-Pfeiler sitzen die aus der Bindemittelhülle entstandenen Mikrobindemittelbrücken, die den Korundmikrokristall in diesem Falle in Sechser-Koordination »stützpfeilerartig« umgeben.

Abb. 4 läßt außer der Verschleißfläche auch die Spuren der Risse erkennen, deren Entstehung dem Herausbrechen der Mikrokristalle vorangeht. Um die druckerweichte Zone sind die Korund-Mikrokristalle unter dynamischer und thermischer Beanspruchung bereits gespalten. Die Risse zwischen den Mikrokristallplatten verbreitern sich nach den Verschleißflächen hin.

Das Erweichungsverhalten glasartiger keramischer Bindemittel wurde mit dem Heizmikroskop verfolgt (Abb. 5), wobei bei verhältnismäßig geringen

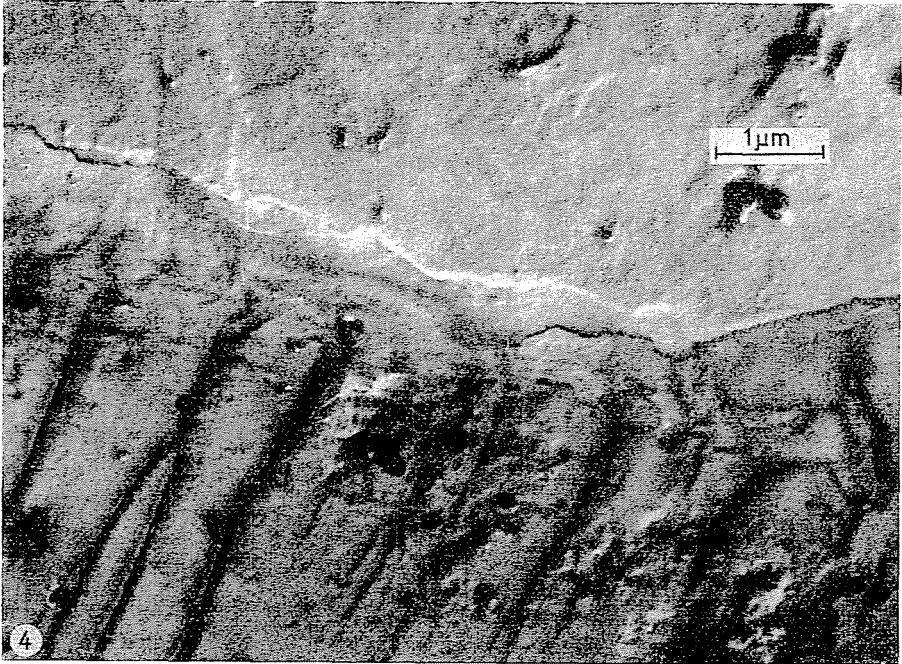


Abb. 4. Verschleißfläche eines Elektrokorund-Mikrokristalls (12 100fach)

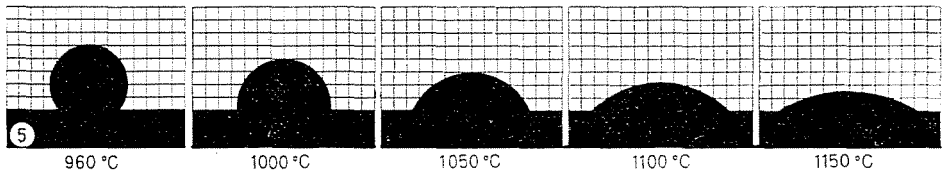


Abb. 5. Heizmikroskopische Aufnahme von keramischem Bindemittel (5fach)

Temperaturunterschieden große Abweichungen festgestellt werden konnten. Bei den verschiedenen gleichzeitig auftretenden gesteigerten Beanspruchungen während des Schleifens nimmt die Zähflüssigkeit des Bindemittels dermaßen ab, daß es in die Risse zwischen den Mikrokristallen eindringt und deren Verschleiß bzw. Herausbrechen auch auf diese Weise beeinflusst.

Besondere Beachtung verdient die kristalline Verbindung $\text{Na}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$, die im Korundkorn vorkommt und dessen Eigenschaften nachteilig beeinflusst. Diese Verbindung galt früher als eine Modifikation des Korunds und wurde — ungenau — Beta-Korund genannt. Die röntgenographische Verfolgung des Brennvorgangs bei der Herstellung von Schleifkörpern und die anschließende Festigkeitsprüfung ergaben, daß die erwähnte chemische Verbindung beim Brennen der Werkzeuge zersetzt werden kann, wodurch sich

ihr nachteiliger Einfluß ausschalten läßt. Auf den röntgenographischen Aufnahmen des $\text{Na}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$ geht aus dem allmählichen Verschwinden nur einiger der gezeigten charakteristischen Linien eindeutig hervor, daß unter gegebenen Brennbedingungen bei 1250°C im Schleifkorn praktisch nur mehr $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ anwesend ist. Zugleich mit dieser Zersetzung nimmt auch die Festigkeit der Bindung bzw. des Schleifwerkzeugs ab. Sie läßt sich durch weitere Wärmebehandlung »wiederherstellen« bzw. nötigenfalls sogar steigern.

II. Schleifkorn-Bindemittel-Phasengrenze

Zur Untersuchung der Schleifkorn-Bindemittel-Phasengrenze sind gut vorbereitete Schiffe erforderlich.

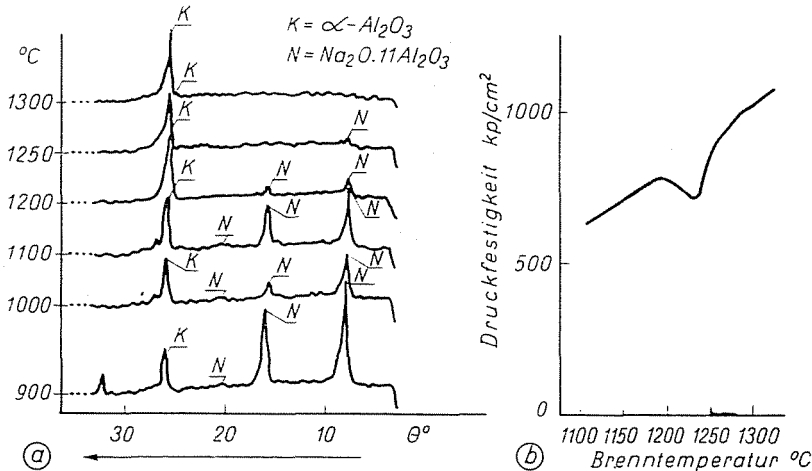


Abb. 6. a) Abbau des $\text{Na}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$ in den Elektrokorundkörnern bzw. das allmähliche Verschwinden einiger charakteristischer Linien beim Brennen von Schleifkörpern (röntgendiffraktometerische Aufnahme). b) Änderung der Druckfestigkeit von $\text{Na}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$ -haltigen Elektrokorund-Schleifscheiben während des Brennvorgangs

Das unerläßliche Instrument jeder präzisen und zeitgemäßen Phasengrenzenuntersuchung ist heute die Mikrosonde. Dieses Verfahren wird durch eine Mikrohärteprüfung und durch elektronenmikroskopische Untersuchungen nützlich ergänzt. Die Resultate der Phasengrenzenuntersuchungen sind in den Abbildungen 8 – 12 zusammenfassend dargestellt.

Zur Kennzeichnung der »Bindung«, wie sie zwischen Elektrokorund-Schleifkorn und dem keramischen Bindemittel beim Brennen zustande kommt, ist hier aufgrund von Mikrosondenuntersuchungen als Beispiel die Änderung der Aluminiumkonzentration in den genannten beiden Phasen und an deren

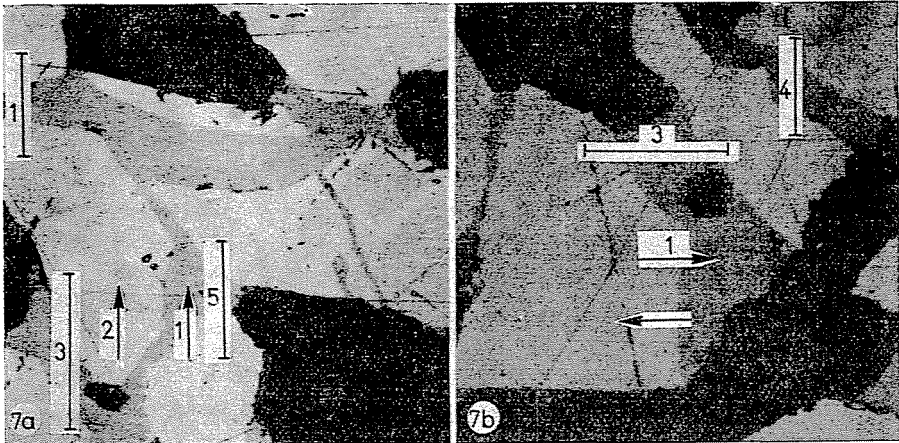


Abb. 7. Schleifkörper-Schliffe zur Untersuchung der Phasengrenze (64fach). 1) keramisches Bindemittel, 2) Elektrokorundkorn, 3–5) Mikrosonden-Meßstellen

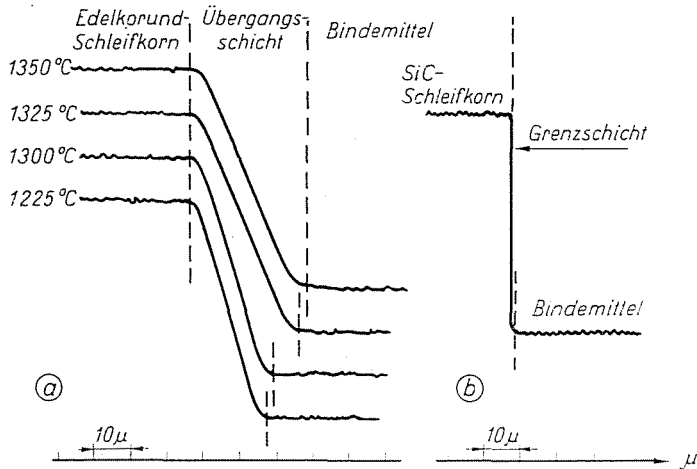


Abb. 8. a) Mikrosondenaufnahme eines keramisch gebundenen Elektrokorund Schleifkörpers
b) Mikrosondenaufnahme eines keramisch gebundenen Siliziumkarbid-Schleifkörpers

Grenze für Elektrokorund-Schleifkörper bzw. die entsprechende Änderung der Siliziumverteilung für Siliziumkarbid-Schleifkörper veranschaulicht. Beim Brennen der Schleifkörper geht die Oberfläche der Korundkörner im Bindemittel in Lösung. Als Ergebnis des Aufschlusses entsteht an der Phasengrenze eine Grenzschicht meßbarer Breite mit einer Übergangszusammensetzung. Ihre Breite läßt sich z. B. auch durch die Brennbedingungen regeln. Beim Siliziumkarbid-Korn ist die Bindung von anderem Charakter als beim Elektrokorund, weil sich das Siliziumkarbid-Korn im Bindemittel nicht auflöst und dieses eine Verbindung nur mit der relativ dünnen SiO_2 -Schicht eingeht, die sich an der Oberfläche des Siliziumkarbids unter dem Einfluß der Oxydation

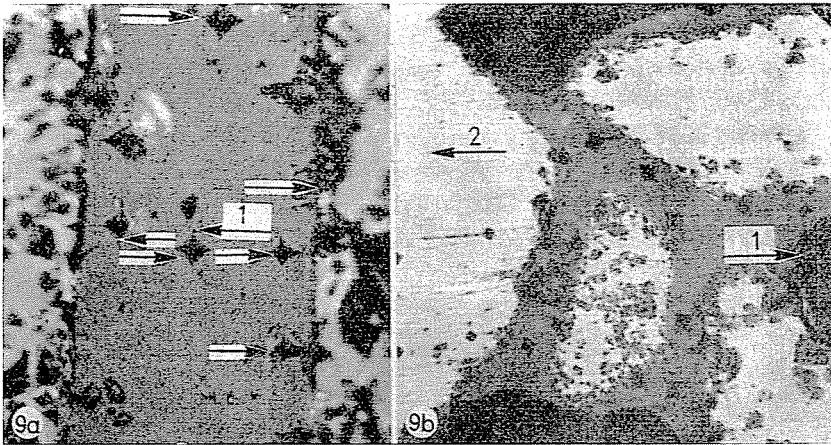


Abb. 9. a) Dünnschliff eines keramisch gebundenen Elektrokorund-Schleifkörpers mit Angabe der Mikrohärt-Prüfstellen. 1) Bindemittel, 2) Elektrokorundkorn (320fach), b) Dünnschliff eines keramisch gebundenen Siliziumkarbid-Schleifkörpers mit Angabe der Mikrohärt-Prüfstellen. 1) Bindemittel, 2) SiC-Korn (320fach)

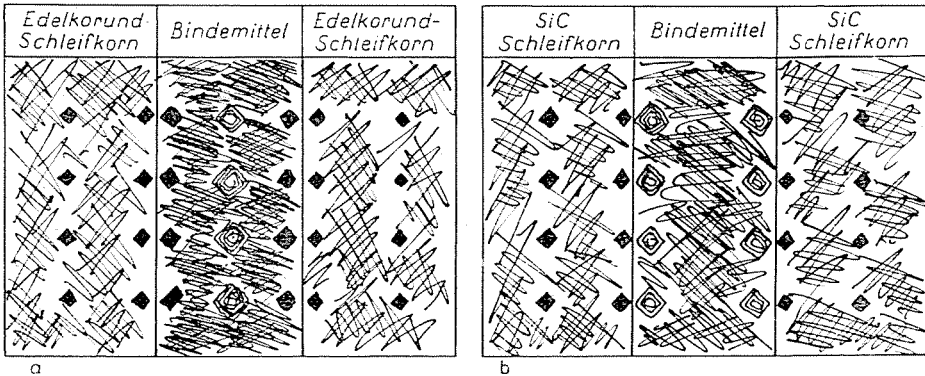


Abb. 10. Schema der Mikrohärtprüfungen (vgl. Abb. 9)

herausbildet. Diese Tatsache ermöglicht, die Grenzschicht zwischen diesen beiden Phasen auch elektronenmikroskopisch zu erschließen.

Sowohl bei den Elektrokorund- wie auch bei den Siliziumkarbid-Schleifkörpers besteht eine auffallende Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der Mikrohärt- und der Mikrosondenmessungen.

Aufgrund der geschilderten Messungen bietet sich eine Möglichkeit, den bisher nicht genau umrissenen Begriff der Bindung präziser zu definieren. Bisher verstand man unter Bindung entweder die Gesamtheit des Bindemittels oder die einzelnen Bindemittelbrücken. Nach Ansicht des Verfassers kommt die Bindung im eigentlichen Sinne in der Übergangsschicht zwischen Schleifkorn und Bindemittel zustande, die Bezeichnung »Bindung« müßte also dieser Schicht vorbehalten bleiben.

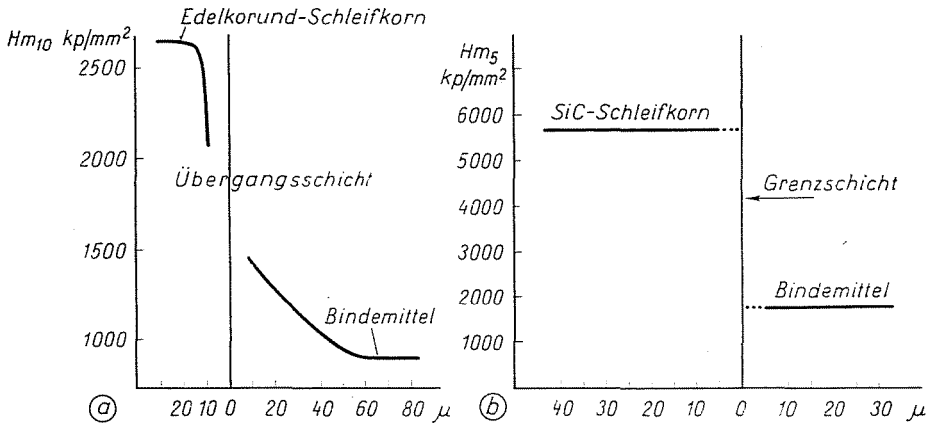


Abb. 11. Zusammenhang zwischen Mikrohärtewert und Abstand von der Korn-Bindemittel-Grenzschicht. a) Elektrokorund-Schleifkörper. b) Siliziumkarbid-Schleifkörper

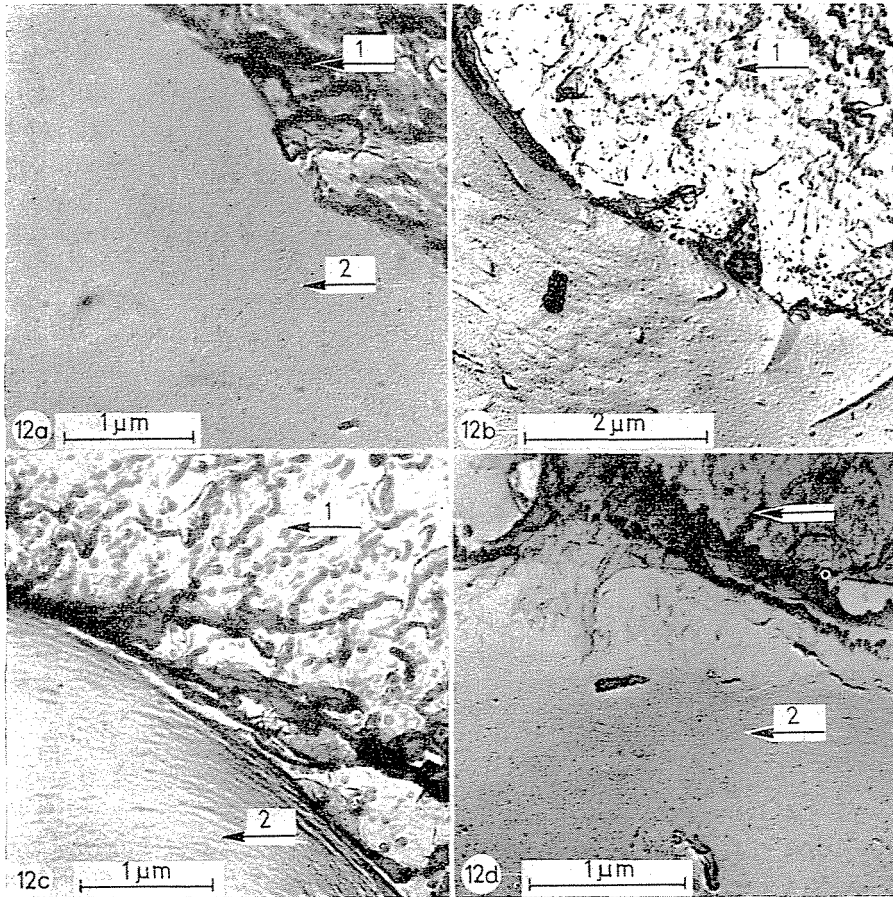


Abb. 12. Korn-Bindemittel-Phasengrenze in einem Siliziumkarbid-Schleifkörper. 1) Bindemittel, 2) SiC-Korn. Vergr.: (1) 18 000 \times , (2) 12 000 \times , (3) 18 000 \times , (4) 20 000 \times

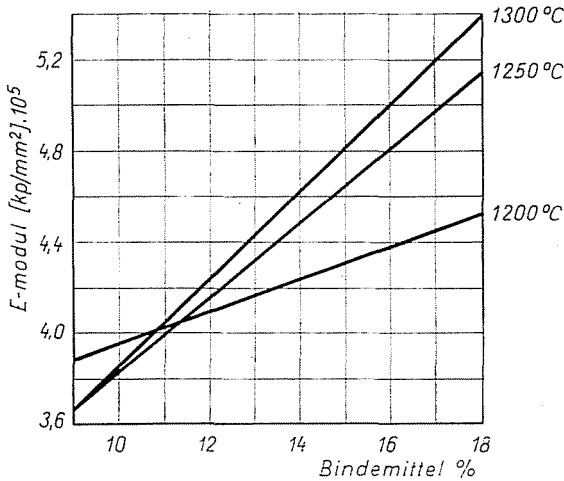


Abb. 13. Einfluß der Brenntemperatur auf den Elastizitätsmodul

Naturgemäß erfordert die Fortentwicklung dieses Gedankenganges noch zahlreiche weitere Messungen.

Von diesem Gesichtspunkt aus kommt der Bestimmung des Elastizitätsmoduls der Schleifkörper nach dem Tonfrequenzverfahren Bedeutung zu. Schleifkörper sonst gleicher Zusammensetzung haben je nach der Brenntemperatur unterschiedliche Elastizitätsmoduln. Mutmaßlich spielt hierbei die veränderliche Grenzzone eine Rolle.

Möglichkeit zur Fortentwicklung der Mikrosondenmessungen erhielt Verfasser an der Universität zu Leuven (Belgium). Ein zusammenfassendes Referat hierüber wird den Gegenstand einer anderen Abhandlung bilden. Verfasser benützt jedoch schon jetzt die Gelegenheit, den Herren Professoren Ir. J. Péters und De Béthun sowie Herrn Martin seinen verbindlichen Dank für die Unterstützung bei der Arbeit auszusprechen.

Zusammenfassung

Werden keramisch gebundene Schleifwerkzeuge aus Bindemittel und Schleifkorn unterschiedlicher Beschaffenheit unter verschiedenen technologischen Bedingungen hergestellt und nach verschiedenen Prüfverfahren untersucht, gelangt man zu Beobachtungen von großem Interesse. So können sich beispielsweise nach Zugfestigkeitsprüfungen unter dem Einfluß der erwähnten Variablen Oberflächen unterschiedlicher Art ergeben. Der Bruch kann an den Bindemittelbrücken, innerhalb der Schleifkörner und an der Grenze zwischen den beiden Phasen eintreten.

Ähnliche Beobachtungen über den Reibungsverschleiß und über das Ausbröckeln der Schleifkörner sowie über Bruch der keramischen Bindemittelbrücken bei dem Verschleiß bzw. bei der Abnutzung von Schleifkörpern wurden auch von anderen Verfassern gemacht.

Diese beiden Tatsachen und das Bedürfnis nach einer zeitgemäßen Qualifikation der Schleifwerkzeuge machen eingehendere Untersuchungen von Schleifkorn und keramischer Bindung erforderlich. Wichtig ist hierbei außer der Gewinnung neuerer Erkenntnisse über diese beiden Komponenten die Untersuchung der Wechselwirkung zwischen den beiden Phasen während der Herstellung und der Abnutzung der Werkzeuge. Die Ergebnisse letzterer Messungen lenken die Aufmerksamkeit auf bisher nicht beachtete, wichtige Tatsachen, so z. B. darauf, daß

a) die keramische Bindemittelhülle, in die die Elektrokorundkörner eingebettet sind, die Wirkung und den Verschleiß der Schleifkörner zufolge der Ausbildung von »Mikrobindemittelfeilern« beeinflußt, und daß

b) die Ergebnisse der Untersuchung der Schleifkorn-Bindemittel-Phasengrenze nach dem Mikrosonden- und dem Mikrohärte- sowie nach dem elektronenmikroskopischen und nach anderen Verfahren eine neue und präzisere Deutung des bisher nicht genügend genau definierten Begriffs der sog. Bindung ermöglichen.

Literatur

1. MOSER, M.: Grundsätzliche und technische Fragen der Erzeugung von Schleifwerkzeugen aus keramisch-gebundenen Korundkörnern, *Periodica Polytechn. Chem. Eng.* **9**, 285–343 (1965).
2. PÉTERS, J.—SNOEYS, R.: The E-modulus a suitable characteristic of grinding wheel, *Rapport CRIF*, 1965.

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