

DIE MIKROSTRUKTUR DES ELEKTROKORUNDS UND SEIN VERSCHLEISS BEI DER ZERSPANUNG

Von

M. MOSER

Lehrstuhl für Chemische Technologie, Technische Universität Budapest

(Eingegangen am 18. April 1967)

Vorgelegt von Prof. Dr. L. VAJTA

Bekanntlich ändern sich die Schleifeigenschaften von Werkzeugen aus keramisch gebundenen Korundschleifkörnern häufig sehr erheblich und oft auf unkontrollierbare Weise. Mit der unterschiedlichen Zusammensetzung der Bindemittel, mit dem veränderlichen granulometrischen Aufbau der Korundkörner und mit der Verschiedenheit der Herstellungsbedingungen läßt sich diese Erscheinung nur zum Teil erklären. Unsere Untersuchungen über die Verschleißprozesse keramisch gebundenen Elektrokorund- (Edelkorund-) Körnern, führten zu der Feststellung, daß beim Spannungsvorgang die entscheidende Bedeutung dem mikrokristallinen Gefüge der Elektrokorundkörner zukommt [1]. Wie die Forschungen zeigen, trifft man bei Korunden auf eine große Mannigfaltigkeit im mikrokristallinen Aufbau. In diese Mannigfaltigkeit des Aufbaues tiefere Einsicht zu gewinnen, ist nicht nur deshalb wichtig, weil sie eine bessere Beurteilung der Schleifwerkzeuge ermöglicht, sondern auch deshalb, weil sie wichtige Kenntnisse vom Schleifvorgang erschließt. Vor der Besprechung von Einzelheiten sollen hier zunächst die Ergebnisse früherer Untersuchungen des Verfassers [1], soweit sie mit den obigen Feststellungen zusammenhängen und sich in den Themenkreis der vorliegenden Arbeit einfügen, kurz zusammengefaßt werden:

a) Aus dem Wesen des Schleifvorganges folgt, daß die keramisch gebundene Schleifwerkzeuge aus Schleifkörnern bestimmter, praktisch gleicher Beschaffenheit mit geordnetem Gefüge und aus den sog. Bindemittelbrücken zusammengesetzt sein müssen.

b) Nach den Ergebnissen der elektronenmikroskopischen Untersuchungen sind als Grundbauelemente der Schleifwerkzeuge — abweichend von der allgemein verbreiteten Auffassung — nicht die aus Schleifkorn und Bindemittelbrücke bestehenden Gerüstverbände, sondern die von den keramischen, sog. Bindemittelstützpfelern festgehaltenen Mikrokristalle anzusehen, aus denen die letzten einzelnen Korundkörner aufgebaut sind.

c) Als Nutzenanwendung sowohl für die Schleifwerkzeugfertigung als auch für die spanabhebende Bearbeitung läßt sich aus den licht- und elektronenmikroskopischen sowie aus den thermoanalytischen und röntgenographischen

Untersuchungen die Feststellung ableiten, daß sich zur Herstellung regelrecht und gleichmäßig spanender Schleifwerkzeuge mit geordneter Struktur nur solche Korundkörner eignen, die aus bestimmten kristallinen Verbindungen und annähernd isometrischer und homogener Mikrokristallstruktur zusammengesetzt sind.

d) Das regelmäßige Schleifen ist ein Vorgang, der mit dem fortschreitenden Verbrauch der Mikrokristalle der in das keramische Bindemittel gebetteten Elektrokorundkörner (im weiteren »elementare Schleifwerkzeuge«) zusammenhängt und der durch den gleichlaufenden Verschleiß der Korundmikrokristalle mit den Bindemittel-Mikrostützpfählern gekennzeichnet ist.

e) Die »elementaren Schleifwerkzeuge« müssen während des Schleifvorganges den Bedingungen des Selbstanschärfens entsprechend fixiert sein.

f) Die Arbeit des ganzen Werkzeuges wird durch die Eigenschaften der Bindemittelbrücken bestimmt, die die »elementaren Schleifwerkzeuge« festhalten.

g) Die Bindemittelbrücken, aus denen neuzeitliche Korundsleifwerkzeuge aufgebaut sind, haben praktisch die Gestalt von Hyperboloiden. Ihre Abmessungen und geometrischen Kennwerte, die Art ihrer Anordnung und ihre Eigenschaften lassen sich durch die Wahl des Bindemittels, durch die Verwendung von Korundkörnern mit geeigneten morphologischen und Kapillareigenschaften sowie durch die Lenkung der chemisch-technologischen Prozesse bei ihrer Herstellung beeinflussen.

h) Die Forschungen haben nachgewiesen, daß der Begriff Bindungshärte in seiner gegenwärtig üblichen Definition keinen reellen Inhalt hat, weshalb er durch Kennwerte ersetzt werden muß, die der reproduzierbaren Messung zugänglich und für die Beurteilung der bestimmungsgemäßen Verwendbarkeit der Schleifwerkzeuge tatsächlich maßgebend sind.

Experimenteller Teil

Als Modellmaterial dienten auch weiterhin Schleifscheiben, wie sie bei den Zahnradschleifautomaten System Maag verwendet werden [1]. Ihre in Ungarn gebräuchliche Qualitätsbezeichnung [2] lautet:

XIV 220 × 17 × 40 KA 32 K 6 Ke.

Die Untersuchungen wurden in folgender Reihenfolge durchgeführt:

1. Lichtmikroskopische Untersuchungen der Elektrokorundkörner.
2. Untersuchung der mit dem keramischen Bindemittel überzogenen und durch die sog. Bindemittelbrücken im Gerüst fixierten Elektrokorundschleifkörner mit Lichtmikroskop.

3. Lichtmikroskopische Untersuchung der beim Schleifen abgenützten Elektrokorundkörner.

4. Untersuchung des mikrokristallinen Aufbaues der Elektrokorundkörner mit Elektronenmikroskop.

5. Elektronenmikroskopische Untersuchungen der beim Schleifen sich abnützenden — mit keramischen Bindemitteln gebundenen — Elektrokorundschleifkörner (Untersuchung der sog. Arbeitsfläche der Schleifscheibe).

Versuchsergebnisse

Die lichtmikroskopischen Aufnahmen der *Abb. 1* sollen vor allen Dingen die Rolle der morphologischen Beschaffenheit der Elektrokorundkörner veranschaulichen. Die Arbeitsfläche des Schleifkörpers zeigt ein sehr vielgestaltiges Relief, was zur Hauptsache von der Größe und Gestalt der Korundkörner sowie von der Beschaffenheit der sog. Bindemittelhülle und ihres Haftens an den Schleifkörnern abhängt, wie es beim Brennen zustande kommt (*Abb. 1, II a-c*). (Hier sollen lediglich die Untersuchungen der einzelnen Schleifkörner behandelt werden, nachdem die Rolle und die Bedeutung der Bindemittelbrücken bereits in einer früheren Publikation [1] erörtert wurden.) Die Größe der Fläche des Elektrokorundkorns, das sich während des Schleifvorganges abnützt und dessen Querschnitt sich damit laufend ändert, wird durch seine ursprüngliche Gestalt und durch seine Lage im Bindemittelgerüst bestimmt (*Abb. 1, II a-d, III a-d*). (Die Aufnahmen der Schleifkörper-Arbeitsfläche stammen von den bei den späteren elektronenmikroskopischen Untersuchungen benützten Abdrücken.) An den lichtmikroskopischen Aufnahmen der Flächen der in Abnutzung begriffenen Schleifkörner sind die Hohlräume, aus denen beim Schleifen Korundkristalle ausgebrochen sind, gut erkennbar (*III c,d*) [3]. Die Untersuchungen über die Struktur dieser Mikrokristallgruppen und über die Art und Weise ihrer Abnutzung gehören bereits in das Gebiet der weiter unten zu behandelnden elektronenmikroskopischen Prüfungen.

Mikrostrukturell gesehen, besteht der untersuchte Elektrokorund in erster Näherung aus sogenannten Mikrogefügekörnern (*Abb. 2*).

Die Kristallpakete, aus denen sich die Gefügekörner aufbauen, sind durch wechselnde Größe, Verknüpfungsart und räumliche Anordnung gekennzeichnet (*Abb. 3-8*). Zwischen den einzelnen Kristallpaketen findet sich auch ein Zwischenstoff, dessen Beschaffenheit noch nicht bekannt ist (*Abb. 9*). In der vorausgegangenen Mitteilung [1] wurde die Rolle der Bindemittelhülle, die die Elektrokorundkörner bedeckt, bereits erörtert. Die elektronenmikroskopischen Aufnahmen veranschaulichen deutlich die Anordnung des Bindemittels (*Abb. 10-15*). Die ursprüngliche Struktur der Korundschleif-

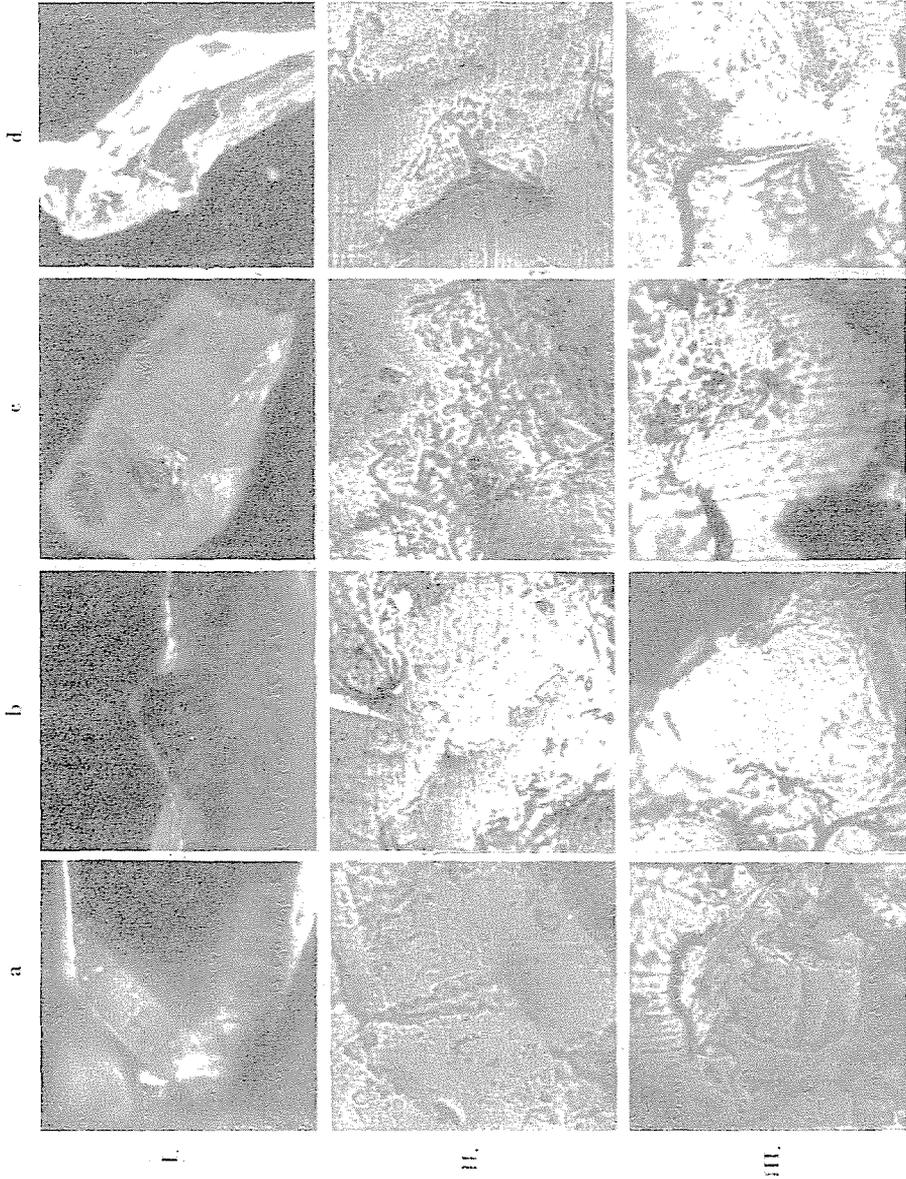


Abb. 1. I a—d. Einige charakteristisch geformte Elektrokorundkörner, — II a—d. Arbeitsfläche eines Elektrokorund-Schleifwerkzeuges (Schleifscheibe für den Zahnradschleifautomat System Maag) vor dem Gebrauch, — III a—d. Arbeitsfläche des Schleifwerkzeuges während des Schleifens, Vergrößerungen: I/a 100 \times , I/b 500 \times , I/c 85 \times , I/d 50 \times , II a—d 240 \times , III a—d 240 \times (Lichtmikroskop Type ROW)

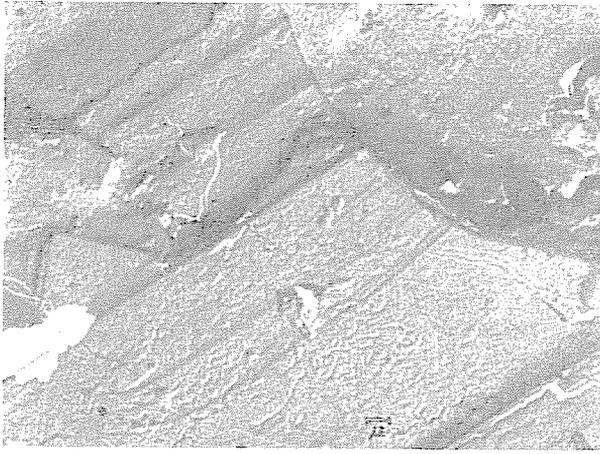
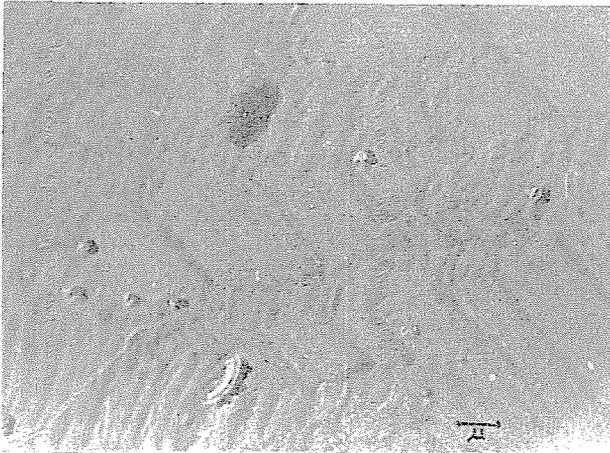
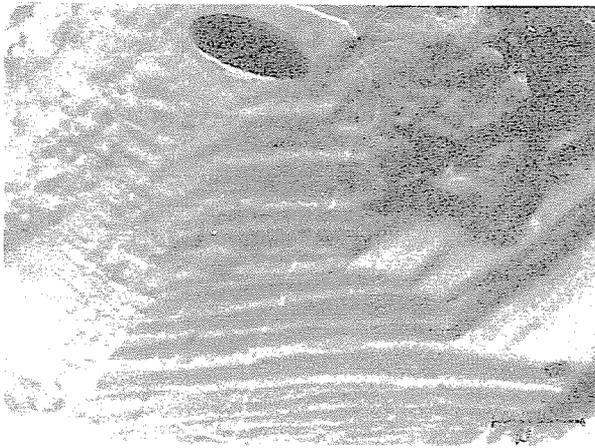


Abb. 2. Gefügekörner im Elektrokorund 42 400fach



a)



b)

Abb. 3 a, b. Elektrokorund mit Treppen- und Streifenstruktur a) 8300 fach, b) 18 100fach



Abb. 4. Kristallpakete unterschiedlicher Orientierung 60 000fach



Abb. 5. Elektrokorund mit gestreifter Oberfläche 28 000fach

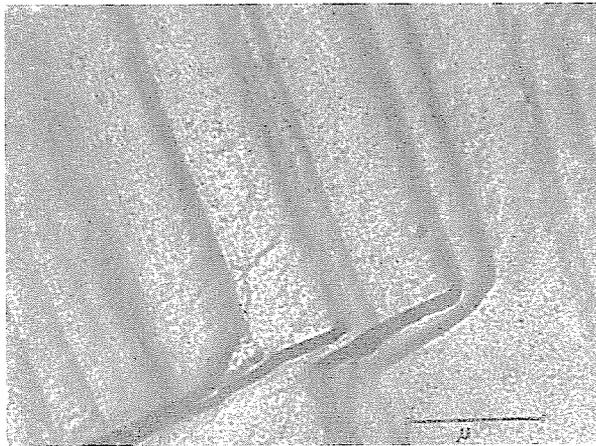


Abb. 6. Senkrecht angeordnete prismatische Struktur 28 000fach



Abb. 7. Waagrecht angeordnete Treppen- und Streifenstruktur 18 000fach

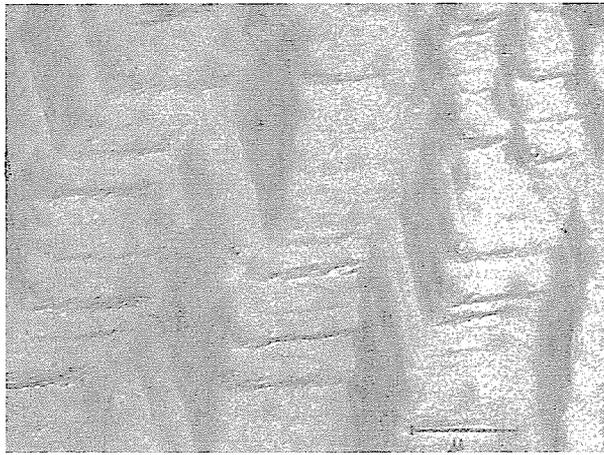


Abb. 8. Kristallpakete unterschiedlicher Größe und Orientierung 21 000fach

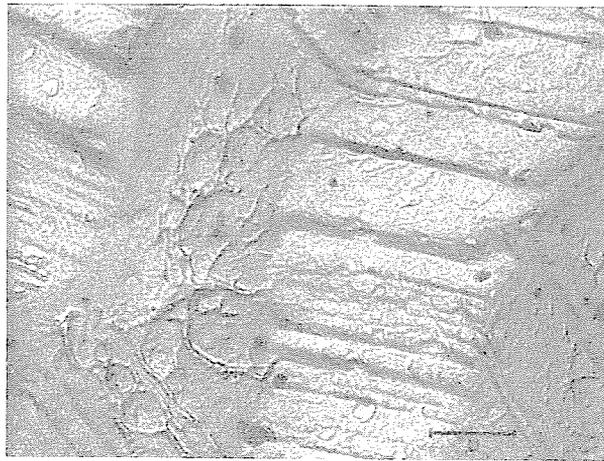


Abb. 9. Restschmelze zwischen flach-splittrigen Kristallpaketen 17 000fach

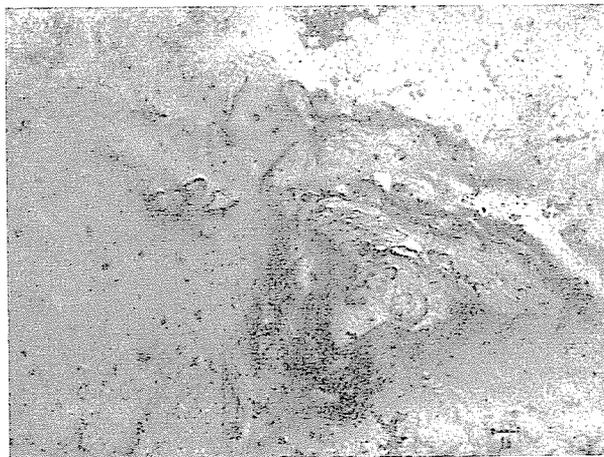


Abb. 10. Mit keramischem Bindemittel überzogene Oberfläche eines Elektrokorundkornes
5500fach



Abb. 11. Mit Bindemittel überzogene Korundkristalle unterschiedlicher Größe und Orientierung 5500fach

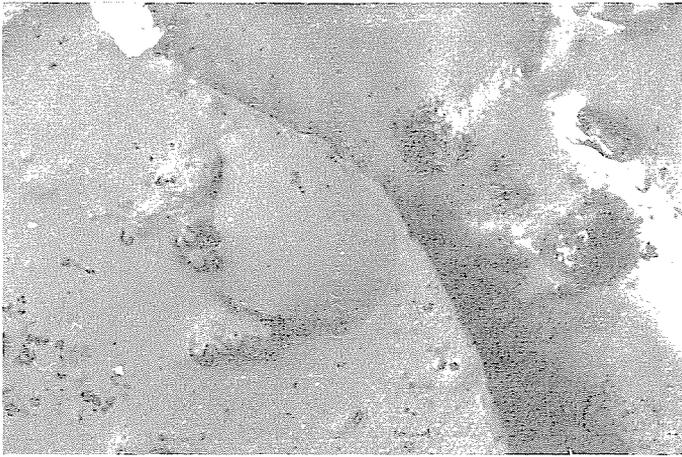


Abb. 12. Grenzfläche eines mit Bindemittel überzogenen Gefügekornes

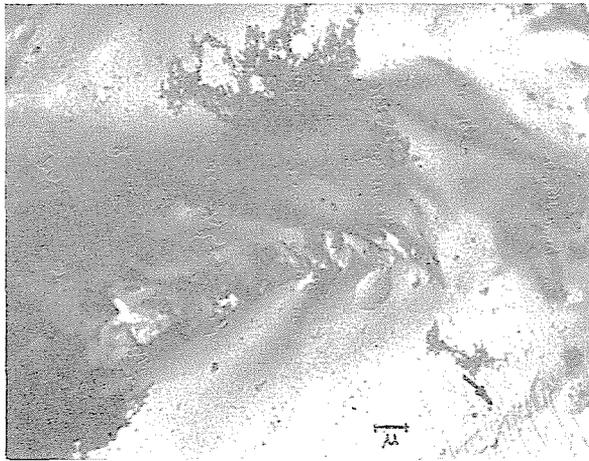


Abb. 13. Kornoberfläche mit unterschiedlich starker Bindemittelhülle; am rechten unteren Teil zeichnet sich die Treppen- und Streifenstruktur noch gut erkennbar ab 5500fach

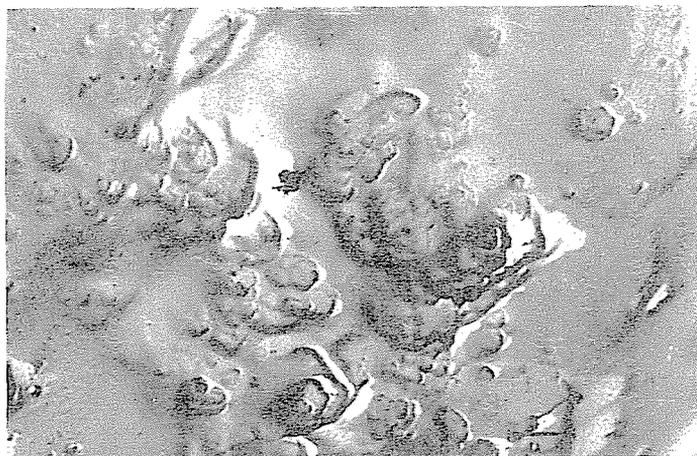


Abb. 14. Kornoberfläche mit dünner, der Oberflächengliederung gut folgender Bindemittelhülle
13 200fach

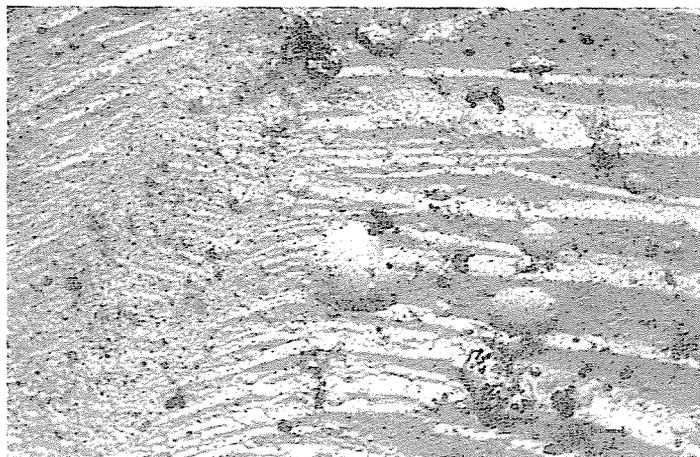


Abb. 15. Mit membranartiger Bindemittelhülle überzogene verschieden große und unterschiedlich orientierte treppig-gestreifte Korundkristallpakete 6600fach

körner läßt sich nur unter sehr dünnen Bindemittelhüllen erkennen (Abb. 15).

Die Konturen sind selbst unter relativ »dicken« (einige Mikron starken) Bindemittelschichten deutlich sichtbar (Abb. 12). Die elektronenmikroskopischen Aufnahmen der mit Bindemittel überzogenen Kornoberflächen beweisen, daß es auch bei Verwendung eines sonst qualitativ einwandfreien Bindemittels unbedingt erforderlich ist, die einzelnen Elektrokorundkörner noch vor dem Brennen mit spezifisch gleichen Bindemittelmengen zu überziehen.

Die Untersuchung der beim Schleifvorgang sich abnützenden Schleifkörner hat sich als äußerst nützlich erwiesen (Abb. 16–22). Die Aufnahmen

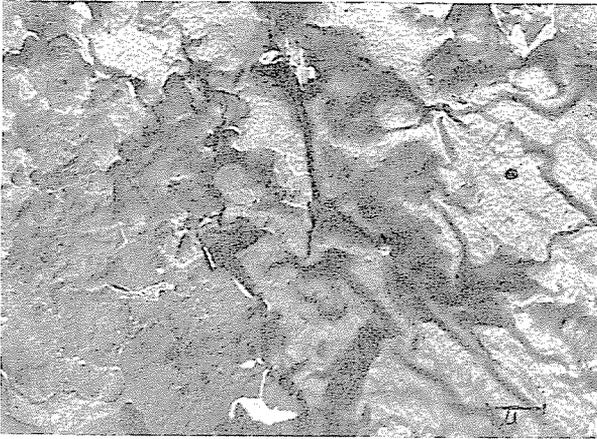


Abb. 16. Struktur eines Elektrokorund-Schleifkorns nach Gebrauch 12 100fach

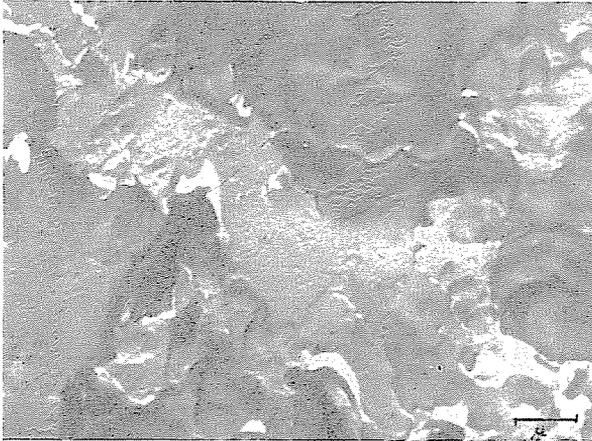


Abb. 17. Oberflächen von Korundkristallen nach dem Erweichen beim Schleifen 12 100fach

bestätigen eindeutig die Richtigkeit der früheren Feststellung, daß der mikrokristalline Aufbau für den Schleifvorgang von grundlegender Bedeutung ist [1].

Die *Abbildungen 16, 17, 18* und *19* stellen die Oberflächen der Elektrokorundkörner nach der Abnützung beim Schleifen dar. Die Spuren der Druckerweichung, wie sie unter der Einwirkung der beim Schleifen kurzfristig herrschenden hohen Temperaturen und der dynamischen Beanspruchungen auftreten, zeichnen sich an diesen Bildern deutlich ab. Die Mikrokristallstruktur läßt sich kaum noch unterscheiden, dagegen zeigen sich bereits die Spuren der dem Herausbrechen der Gefügekörner vorangehenden Reißbildungen.

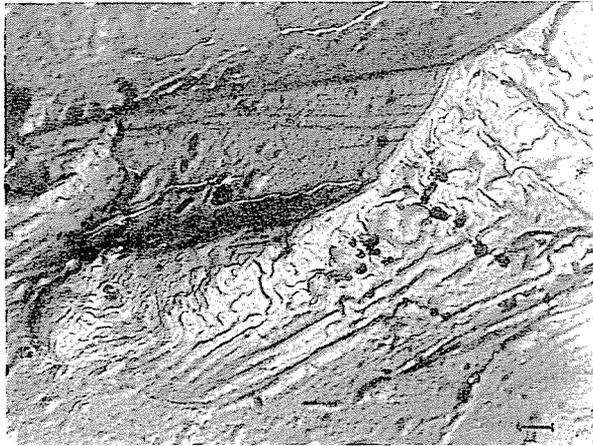


Abb. 18. Gefügekörner nach dem Gebrauch 6600fach



Abb. 19. Während des Schleifens gelockertes Gefügekorn 13 200fach

Die Kornoberflächen vor und nach dem »Gebrauch« sind in den *Abb. 21, 22* und *23* einander gegenübergestellt.

An der Grenze der nach dem Schleifen aufgenommenen Kornoberfläche lassen sich die zum Herausbrechen führenden Risse gleichfalls erkennen. Die gleichen Risse finden sich auch an den Grenzflächen der benachbarten Kristallpakete (*Abb. 21*).

Die Untersuchungen wurden gemeinsam mit dem Elektronenmikroskop-Laboratorium der Zentralabteilung für Werkstoffprüfung der Eisen- und Stahlwerke CSEPEL durchgeführt. Für die wertvolle und wirksame Unter-

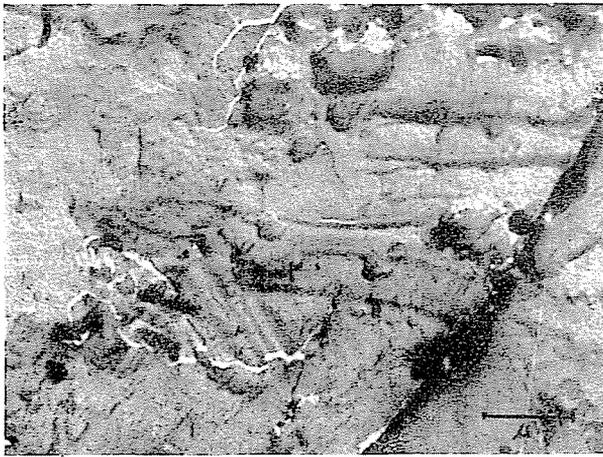


Abb. 20. Gelockertes Gefügekorn mit Treppenstruktur 18 200fach

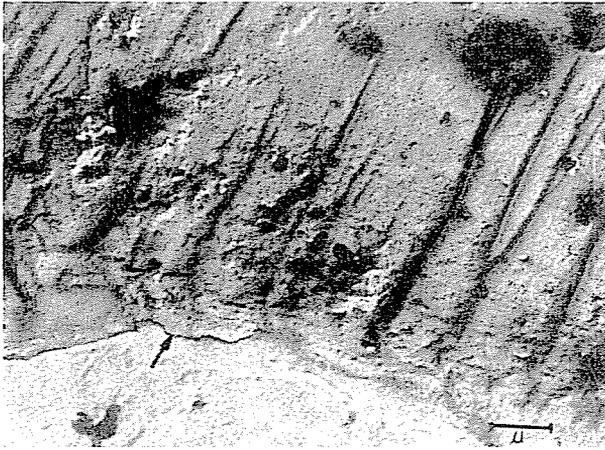


Abb. 21. Grenzfläche der während des Schleifvorganges erweichten, „abgehobelten“ Oberflächenschicht und den noch vor dem „Einsatz“ stehenden Kristallpaketen mit den Spuren der dem Herausbrechen vorangehenden Risse 12 100fach

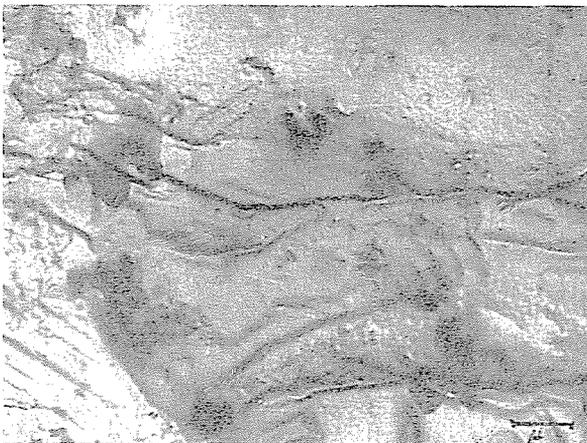


Abb. 22. Senkrecht angeordnetes Prismenpaket nach der Benützung 12 100fach

stützung der Arbeiten sage ich hiermit der Leiterin des Laboratoriums, Frau Dr. Mária Holló, und ihren Mitarbeitern, den Herren K. Harmath und E. Vataj, verbindlichen Dank.

Ebenso gilt mein aufrichtiger Dank Herrn Prof. Dr. B. Lányi für die freundliche Durchsicht des Manuskripts.

Zusammenfassung

Auf Grund licht- und elektronenmikroskopischer Untersuchungen der Abnützungserscheinungen an Elektrokorund- (sog. Edelkorund-) Schleifwerkzeugen mit keramischer Bindung stellte Verfasser fest, daß zwischen der Mikrokristallstruktur des Elektrokorunds und der Art der Abnutzung während des Schleifens ein enger Zusammenhang besteht.

Die elektronenmikroskopischen Aufnahmen wurden mit einem Elektronenmikroskop der Type KEM I durchgeführt.

Schrifttum

1. MOSER, M.: *Periodica Polytechnica Chem. Eng.* **9**, 285—343 (1965).
2. MSZ (Ungarische Norm) 4506.
3. MOSER, M.: *Gép* **19**, 70—75 (1967).

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