

EINFLUSS DER PARAMETER DES ELEKTROCHEMISCHEN SCHLEIFPROZESSES AUF DIE RAUHIGKEIT DER GESCHLIFFENEN OBERFLÄCHE UND AUF DIE FEINHEIT DER SCHNEIDEKANTE

Von

E. KÁLDOS

Lehrstuhl für Fertigungstechnik, Technische Universität, Budapest

(Eingegangen am 11. Juli 1971)

Vorgelegt von Prof. Dr. I. KALÁSZI

I. Einleitung

Die elektrochemischen Bearbeitungsmethoden beruhen auf der elektrochemischen Wirkung des elektrischen Stromes. Zwischen dem als positiver Pol eines Gleichstromgenerators geschalteten Werkstück und dem als negativer Pol geschalteten Werkzeug entsteht eine Materialwanderung, wenn die Elektroden in Elektrolyt getaucht sind. Die elektrochemische Lösung des Materials folgt dem Faraday-Gesetz:

$$W = \frac{M \cdot I \cdot t}{n \cdot 96500}, \quad (1)$$

wobei: W = Masse des abgetrennten Materials (g),

M = Atomgewicht,

n = chemische Wertigkeit,

I = Stromstärke (A),

t = Zeit (s).

Die bei der elektrochemischen Lösung entstehenden Reaktionsprodukte passivieren die Anode. Die entstandene Schicht ist von der Anode und aus dem Arbeitsraum zu entfernen. Es sind mehrere elektrochemische Bearbeitungsverfahren bekannt, je nach der Art des verwendeten Werkzeugs und der Methode des Entfernens der Passivschicht. Die Passivschicht kann durch die Elektrolytströmung von großer Geschwindigkeit (ECM) und auch mechanisch (ECG) entfernt werden.

Das elektrochemische Schleifen wird für die Bearbeitung von Metallkarbiden und schwerbearbeitbaren Legierungen verwendet. Das gegenwärtig größte Anwendungsgebiet ist die Herstellung und Anschärfung von Hartmetallwerkzeugen. Das elektrochemische Schleifen gewährleistet gegenüber dem herkömmlichen Schleifen ein größeres Spanvolumen [1]. Zahlreiche Vorteile erklären seine verhältnismäßig schnelle Verbreitung in der Industrie.

Der Verschleiß — damit auch die Standzeit — von Zerspanungswerkzeugen wird von der Oberflächenrauigkeit der Werkzeugflächen und von der Feinheit der Schneidekanten wesentlich beeinflusst [2].

Im Laufe unserer Untersuchungen wurden die Oberflächenrauigkeit und die Schneidenfeinheit mit, durch elektrochemisches oder mechanisches Schleifen hergestellte Einkanten-Hartmetallwerkzeugen untersucht. Die Qualität der erzielten Oberfläche hängt sowohl bei der elektrochemischen als auch bei der mechanischen Anschärfung von zahlreichen Faktoren ab. Bei unseren Versuchen wurden — bei gleichbleibenden Bearbeitungsparametern — die Auswirkungen der Generatorspannung und des Oberflächendrucks geprüft.

2. Die Kennwerte des Versuches

Die statische Starrheit des Systems Schleifscheibe-Spindel (Abb. 1) betrug $1 \text{ kp}/\mu\text{m}$.

Anzahl der Doppelhübe des Tisches	63 Doppelhübe/min
Hublänge des Tisches	15 mm
Menge des geförderten Elektrolyts	2,2 l/min
Zusammensetzung des Elektrolyts	Natriumnitrit 2225 g
	Natriumnitrat 640 g
bezogen auf 100 l Elektrolyt	Borax 238 g
pH-Wert des Elektrolyts	9
Temperatur des Elektrolyts	23—28 °C
Fassungsvermögen des Elektrolytbehälters	50 l
Kennwerte der Schleifscheibe	

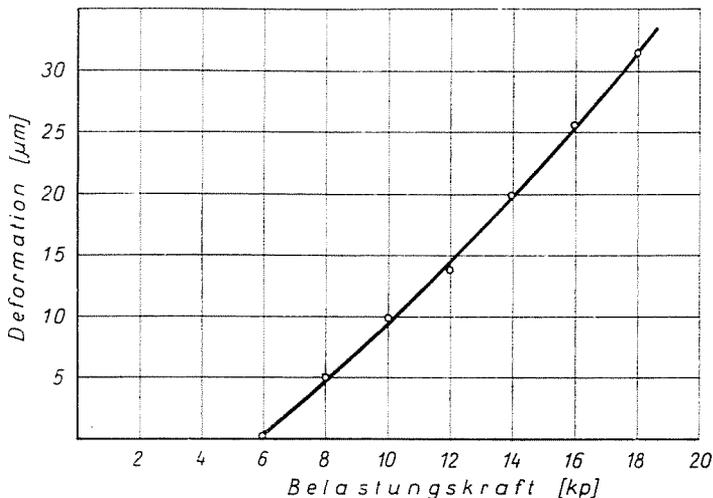


Abb. 1. Statische Deformation des Systems Schleifscheibe—Spindel

Erzeugnis	GRANIT
Abmessungen	\varnothing 150/15/1,5
Diamantkonzentration	3,3 Karat/cm ³
Kornfeinheit	100—120 μ m
maximaler Stirnschlag	0,02 mm
Drehzahl	3410/min
Umfangsgeschwindigkeit	26,8 m/sec
eingestellter Druck 2,5—5—7,5—10—12,5 kp/cm ²	
eingestellte Spannung 4—6—8—10 V	
untersuchtes Hartmetall DA 20 Co %	DR 20 Co 6%
	WC 79%
	WC 94%
	TiC 13%

3. Beschreibung der Versuche

Bei den Versuchen sollten die Oberflächendrücke und Generatorspannungen bestimmt werden, die die günstigsten Ergebnisse liefern. Die Druck- und Spannungswerte wurden gemäß Punkt 2.0 eingestellt. Zu den Versuchen wurden Hartmetall-Probestücke mit den Abmessungen $10 \times 10 \times 10$ mm verwendet (Abb. 2). Je zwei sich schneidende Flächen des Werkstücks wurden geschliffen und an der entstandenen Kante Rauheitsmessungen durchgeführt. Die Oberflächenrauigkeit wurde mit einem universalen Oberflächenprüfgerät Typ Perth-O-Meter und die Rauigkeit der Kante mit einem Talysurf-Gerät bestimmt. Zur Verminderung der Meßfehler wurde jede Oberfläche dreimal gemessen. Hinsichtlich der Oberflächenrauheitsmessung sind die Flächen des Probestückes als Oberflächen von einander unabhängiger Probestücke anzusehen; so wurde das arithmetische Mittel der sechs Versuchsergebnisse als maßgebend betrachtet. Die Oberflächenrauigkeit wurde zwecks besserer Vergleichbarkeit mit den Literaturangaben auch in R_a und

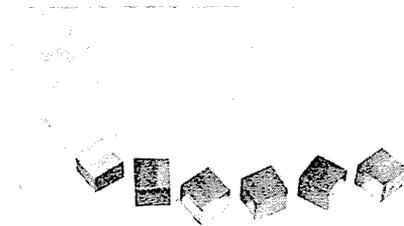


Abb. 2. Photoaufnahme der zum Versuch verwendeten Probestücke

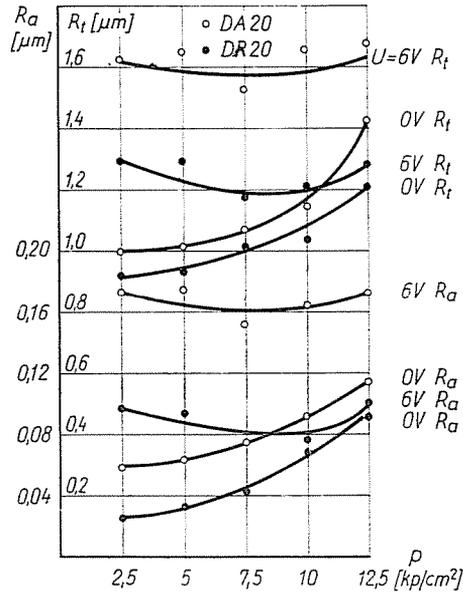


Abb. 3. Oberflächenrauigkeit als Funktion des Druckes

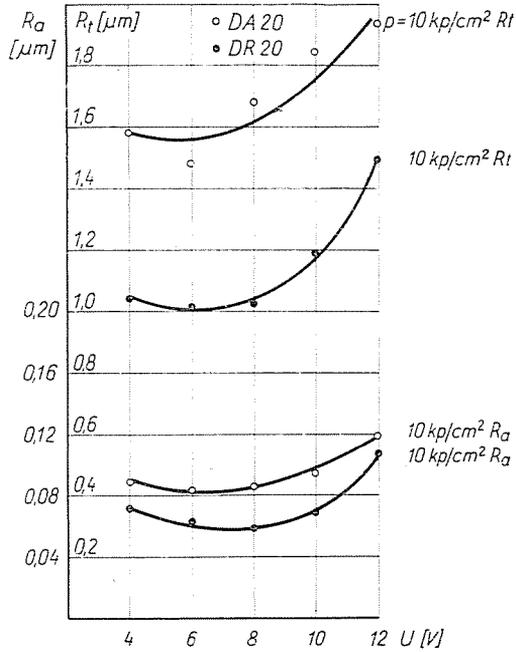


Abb. 4. Oberflächenrauigkeit als Funktion der Spannung

R_t gemessen. Bei der Messung der Schneidkantenfeinheit wurde das Gerät auf den R_a Wert geeicht. Die Abbildungen 3—6 wurden aufgrund der Messungen aufgezeichnet. Um die geschliffenen Oberflächen auch visuell bewerten zu können, wurden von diesen Photoaufnahmen gemacht (Abb. 7—8). Zur

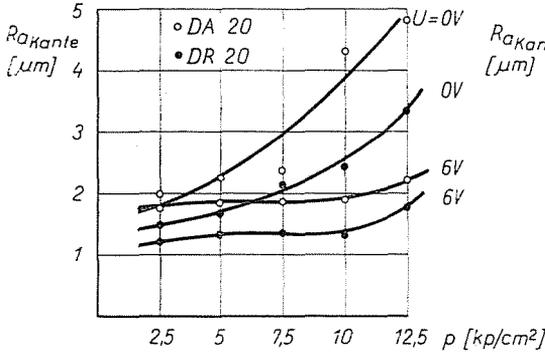


Abb. 5. Schneidkantenfeinheit als Funktion des Druckes

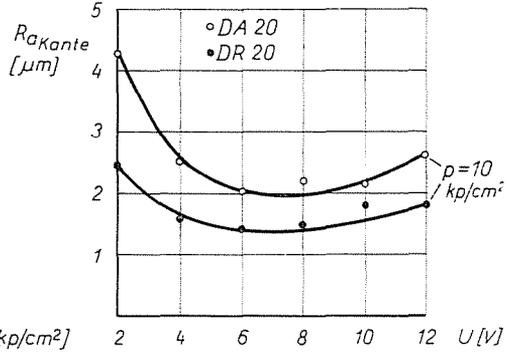


Abb. 6. Schneidkantenfeinheit als Funktion der Spannung

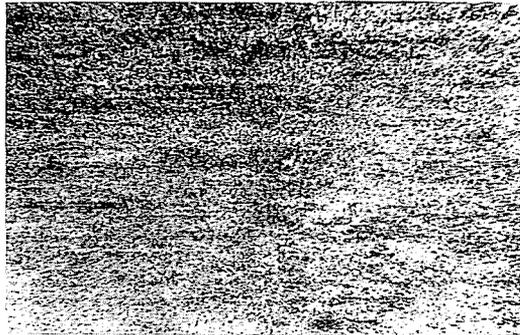


Abb. 7. Photoaufnahme von der elektrochemisch geschliffenen Oberfläche, DA 20, 100fache Vergrößerung

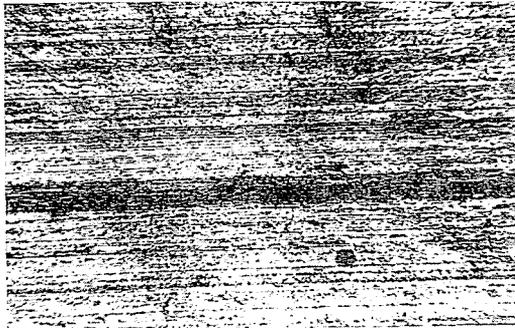


Abb. 8. Photoaufnahme von der mechanisch geschliffenen Oberfläche, DA20, 100fache Vergrößerung

besseren Bewertbarkeit der Schneidkantenfeinheit wurden außer den Profilogrammen (Abb. 9) auch Photoaufnahmen gemacht, die zur visuellen Bewertung dienen (Abb. 10).

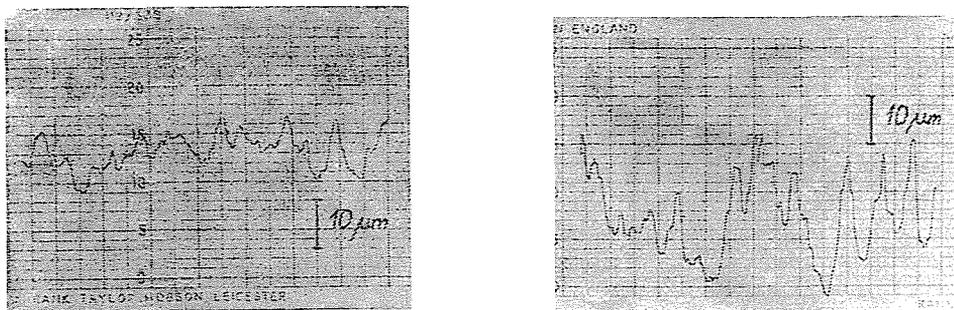


Abb. 9. Profilogramme zur Untersuchung der Schneidkantenfeinheit DA20, 1000fache vertikale Vergrößerung. a) Elektrochemische Anschärfung, b) mechanische Anschärfung



Abb. 10. Photoaufnahme zur Untersuchung der Schneidkantenfeinheit. DA20, 100fache Vergrößerung. a) Photoaufnahme von der mechanisch hergestellten Schneidkante, b) Photoaufnahme von der elektrochemisch hergestellten Schneidkante

4. Auswertung der Versuchsergebnisse

Beim elektrochemischen Schleifen stellt die Ausbildung der Oberfläche einen komplizierten Prozeß dar. Die Materialabtrennung und die Ausbildung der Oberfläche sind das Ergebnis elektrochemischer und mechanischer Prozesse. Gegenwärtig sind noch nicht alle Faktoren und ihre Wirkung auf die Oberflächengüte bekannt, die entscheidendste Wirkung haben aber die Oberflächenkräfte zwischen dem Werkstück und der Schleifscheibe bzw. die angewandte Spannung.

4.1. Untersuchung der Oberflächenrauigkeit und der Schneidkantenfeinheit in Abhängigkeit vom angewandten Druck

Im Mechanismus der Materialabtrennung hat die Stromstärke des im Arbeitsspalt strömenden Elektrolyts einen entscheidenden Einfluß. Durch den Arbeitsspalt fließt nach dem Ohmschen Gesetz ein Strom:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (2)$$

wobei U den Spannungsabfall im Arbeitsspalt,
 R den Widerstand des Arbeitsspalts bedeuten.
 Es gilt weiterhin

$$R = \frac{\rho \cdot a}{A}, \quad (3)$$

wobei ρ den spezifischen Widerstand des Elektrolyts,
 a die Breite des Arbeitsspalts,
 A die aktive Oberfläche bedeuten.
 Aus Gl. (2) und (3) folgt:

$$I = \frac{U \cdot A}{\rho \cdot a}. \quad (4)$$

Nimmt man an, daß der Spannungsabfall, die aktive Oberfläche und der spezifische Widerstand konstant sind, so hängt die Größe des durchfließenden Stromes von den Abmessungen des Arbeitsspalts ab. Die Größe des Arbeitsspalts ist — bei gleichbleibenden sonstigen Parametern — hauptsächlich die Funktion des angewandten Druckes.

$$a = f(p). \quad (5)$$

Die Größe des den Arbeitsspalt durchströmenden Stromes hängt somit über komplizierte funktionelle Zusammenhänge auch vom zwischen den Oberflächen auftretenden Druck ab. Die Aufgabe der aus der Scheibe herausragenden (wirksamen) Diamantkörnchen besteht beim elektrochemischen Prozeß darin, die Bedingungen des elektrochemischen Prozesses zu gewährleisten, d. h. die erforderliche Größe des Arbeitsspalts zu sichern, die auf der Anode anstehenden Reaktionsprodukte abzutragen. Bei den Versuchen wurde festgestellt, daß ein optimaler Druckwert existiert, bei dem — bei vorgegebenen sonstigen Bedingungen — die Stromstärke und Reaktionsproduktentfernung optimal sind. Überschreitet der Druck dieses Maximum, so wird der Arbeitsspalt kleiner, sein Widerstand vermindert sich, wodurch bei gleichbleibender Spannung eine größere Stromstärke durchfließen kann. Mit der Erhöhung der Stromstärke nimmt die elektrochemische Materialabtrennung zu, wobei auch die Gasblasenentwicklung intensiver wird [3]. Durch die im Spalt entstandenen Gasblasen wird die Leitfähigkeit des Elektrolyts lokal verschlechtert. Dies wirkt sich natürlich auch auf die Materialabtragung und auf die Qualität der entstandenen Oberfläche aus. Die derart zustandekommende Oberfläche ist größer.

Mit erhöhtem Druck trennen die arbeitenden Diamantkörnchen nicht nur die durch den elektrochemischen Prozeß zerstörten Materialteile ab, sondern dringen auch in die nicht zerstörte Materialschicht ein. Dadurch

erhöht sich der mechanisch abgetrennte Materialanteil auf Kosten des elektrochemisch abgetrennten Anteils. Die Oberflächengüte wird zufolge der durch die Diamantkörnchen verursachten Risse beeinträchtigt.

Infolge der durch den erhöhten Druck verursachten Verminderung des Arbeitsspalts treten zwischen der Scheibe und dem Werkstück lokale Durchschläge bzw. Funkenerscheinungen auf. An diesen Stellen entstehen sowohl an der Schleifscheibe als auch am Werkstück Krater bzw. Einbrennungen, die die Oberflächengüte wesentlich beeinträchtigen. Diese Erscheinungen wurden bei unseren Versuchen beobachtet. Anhand der Abbildungen und Photoaufnahmen können folgende Feststellungen gemacht werden:

1. Obwohl das mechanische Schleifen eine etwas bessere Oberflächenrauigkeit liefert als die elektrochemische, sind beide noch von derselben Größenordnung. Die Ursache dafür ist im Charakter des elektrochemischen Prozesses zu suchen. Im Laufe des letzteren lösen sich die Körnchen entlang der Körnchengrenzen heraus. Durch die Korngrößen wird also die erreichbare Oberflächenrauigkeit eingeschränkt. Dagegen werden beim mechanischen Schleifen die Hartmetallkörnchen von den Diamantkörnchen durchgeschnitten, wodurch eine bessere Oberflächenqualität erzielt wird.

2. Bei den Hartmetallen DA20 und DR20 wurden die günstigen Oberflächenrauigkeitswerte im Druckbereich $p=7,5-10 \text{ kp/cm}^2$ erhalten (Abb. 3).

3. Die elektrochemisch geschliffene Oberfläche ist vollkommen richtungsfrei und ritzenlos, wogegen beim mechanischen Schleifprozeß die gerichteten Ritze gut zu erkennen sind (Abb. 7—8).

4. Die Oberfläche des Werkstoffes DR20 war auch beim elektrochemischen Schleifen etwas ritzig, die Ursache dafür ist in der Materialzusammensetzung zu suchen.

Oberhalb des Druckwertes von 10 kp/cm^2 entstehen auch auf der elektrochemisch geschliffenen Oberfläche Ritze, die durch die abrasive Wirkung der Diamantkörnchen verursacht werden.

5. Die Oberflächenrauigkeit beim elektrochemischen Schleifen betrug $R_a = 0,08-0,12 \text{ } \mu\text{m}$, bzw. $R_t = 0,8-1,1 \text{ } \mu\text{m}$.

6. Obwohl sich mit dem mechanischen Schleifen bessere Oberflächen herstellen ließen, war die Feinheit der Schneidkanten beim elektrochemischen Schleifen besser (Abb. 5). Dies war besonders im Bereich der größeren Drücke auffallend.

Der Grund dafür ist in der gerichteten Oberfläche beim mechanischen Schleifen bzw. darin zu suchen, daß die elektrochemisch geschliffenen Oberflächen ungerichtet sind [6]. An den Schnittlinien der gerichteten Flächen haben die Ritze auch bei sonst befriedigender Oberflächengüte grobe Kanten zur Folge und die Kanten sind infolge der Drücke abgesprungen (Abb. 10). Beim elektrochemischen Schleifen kommt dies nicht vor, vielmehr sind die Ecken zufolge des an den Rändern entstandenen elektrischen Feldes abgerundet

(Abb. 10). Unserer Meinung nach trägt auch dieser Umstand dazu bei, daß die elektrochemisch geschliffenen Hartmetallwerkzeuge eine bessere Standzeit aufweisen als die mechanisch geschliffenen [5].

7. Mit der Druckerhöhung verschlechtert sich die Kantenfeinheit des mechanisch geschliffenen Werkzeugs eindeutig. Dagegen erreicht die Kantenfeinheit des elektrochemisch geschliffenen Werkzeugs bei einem Druck von 7,5—10 kp/cm² den Optimalwert (Abb. 5).

4.2. Die Oberflächenrauigkeit und die Schneidkantenfeinheit in Abhängigkeit von der Spannung

Die Auswirkung der Generatorspannung auf den elektrochemischen Prozeß ist vielseitig. Durch größere Spannungen wird bei gleichbleibendem Arbeitswiderstand mehr Strom durch den Stromkreis getrieben. Nach dem Faraday-Gesetz erhöht sich auch die Materialabtragung mit erhöhter Stromstärke. Mit der Spannung wächst aber auch die Funkengefahr zwischen der Schleifscheibe und dem Werkstück. Dies führt neben raschem Verschleiß auch zur Verschlechterung der geschliffenen Oberfläche.

Wird die Spannung auf einem niedrigen Wert gehalten, verlangsamt sich auch die Materialabtragung. Unter 2,5—3 V ist die Lösung einiger Hartmetall-Bestandteile (TiC) theoretisch unmöglich [4]. Neben den während des elektrochemischen Prozesses entstandenen Oxyden sind im Material auch TiC-Teile vorhanden, die sich nur mechanisch abtrennen lassen. Damit vermindert sich die Materialabtrennung, und es entsteht bei schnellerem Verschleiß der Scheibe eine grobe Oberfläche. Bei den Versuchen wurde festgestellt, daß unter sonst konstanten Bedingungen eine optimale Spannung existiert, bei der die günstigste Oberflächenqualität erzielt wird. Diese optimale Spannung lag bei 6—6,5 V (Abb. 4). Aufgrund der Versuche können folgende Aussagen gemacht werden:

1. Die nicht einwandfreie Montage der Schleifscheibe führt unzulässige Rundlauffehler herbei. Nach unseren Erfahrungen verursacht ein Stirnschlag von 0,03 mm schon bei Spannungen von 5 V Funkenerscheinungen.

2. Die Oberflächenrauigkeit war bei konstanten Druck- und Spannungswerten bei der Metallsorte DR20 besser als bei der Sorte DA20. Dies läßt sich auch mit der unterschiedlichen Zusammensetzung der Hartmetalle erklären.

3. In Übereinstimmung mit den bei der Untersuchung der Oberflächenrauigkeit erhaltenen Ergebnissen lag der für die Kantenfeinheit günstigste Spannungswert bei 6—6,5 V (Abb. 6).

Zusammenfassung

Die Rauhmigkeit der Werkzeugflächen und die Feinheit der herausgebildeten Schneiden sind beim Elysieren vor allem vom angewandten Druck und der Generatorspannung abhängig. Die Versuche des Verfassers an den Hartmetallsorten DA20 und DR20 beweisen, daß die Rauhmigkeit der Flächen und die Feinheit der Schneide in Abhängigkeit von den genannten Parametern ein Optimum haben. Deshalb ist es zweckmäßig, unter betrieblichen Verhältnissen diese Spannungs- und Druckwerte einzustellen. Es läßt sich feststellen, daß im optimalen Druckbereich des Elysierens die erreichbare Rauhmigkeit gleich der durch mechanisches Schleifen erreichten ist, beim Elysieren ist aber die Feinheit der Schneide wesentlich günstiger. Deshalb ist dieses Verfahren für die Zuschärfung von hartmetallbestückten Werkzeugen — auch wegen seiner sonstigen Vorteile — zweckmäßig anzuwenden.

Literatur

1. F. HUGHES, A. NOTTER: Evaluation of the electrolytic grinding process. I. Regrinding of tungsten carbide tipped tools. *Industrial Diamond Review*, Vol. 25. November 1965, p. 476—480.
2. GYÓDI, I.: A forgácsolószerszámok kihasználását előmozdító technológiák. *Gépgyártás-technológia* VII. évf. 6. sz. 1967. június, p. 268—274.
3. A. E. DE BARR, D. A. OLIVER: *Electrochemical Machining*, Macdonald, London 1968.
4. GRÜNWARD, R.: Zum elektrolytischen Abtrag von Hartmetall mit Diamantschleifscheiben. *Werkstatt und Betrieb*, 95. Jg. 1962. Heft 4, p. 212—218.
5. PÁLKA, J.—BÉKÉS, J.: Quality and life of P20 grade sintered carbide tool edges after electrolytic and mechanical diamond grinding. *Industrial Diamond Review* 1969, p. 361—366.
6. G. PAHLITZSCH, A. VISSER: Elektrochemisches Schleifen von Hartmetall. *Annals of the CIRP* 1967, XV, p. 229—238.

Endre KÁLDOS, Budapest XI., Stoczek u. 6—10, Ungarn.