

# MODERNISIERUNG DES EINMEISSELTHERMOVERFAHRENS ZUR TEMPERATURMESSUNG BEIM ZERSPANEN

Von  
F. ALPEK

Lehrstuhl für Fertigungstechnik, Technische Universität, Budapest

Eingegangen am 22. Juli, 1979  
Vorgelegt von Prof. Dr. M. HORVÁTH

## Einleitung

Für die Wirtschaftlichkeit des Zerspanungsvorganges ist das Standvermögen des Werkzeuges von besonderer Bedeutung. Die Gesetzmäßigkeiten des Werkzeugerliegens sind auch zur Zeit Gegenstand umfangreicher, vor allem empirischer Untersuchungen, bisher ist es jedoch nicht gelungen, die komplizierten grundsätzlichen Zusammenhänge des Vorganges völlig zu klären. Wie bekannt, wird das Standvermögen des Werkzeuges durch die unterschiedlichen Druck- und Temperaturverteilungen in der Kontaktzone Werkstück-Werkzeug erheblich beeinflusst. Die Reaktionsgeschwindigkeiten bzw. Gleichgewichtsbedingungen der meisten physikalischen und chemischen Vorgänge werden durch die Temperaturen bestimmt, bei denen sie stattfinden. Das gilt auch für den Werkzeugverschleiß, der das Standvermögen des Werkzeuges beeinträchtigt.

Die Ermittlung der Zerspanungstemperatur durch mathematische Methoden stellt eine sehr komplizierte und gegenwärtig noch ungelöste Aufgabe dar. Daher besteht als einzige Möglichkeit die Messung der auftretenden Temperaturen. Da die Energieumsetzung auf kleinstem Raume und bei hohen Drücken erfolgt, ist die Messung der Temperatur in der Spanantstehungszone eine komplizierte Aufgabe, die große Umsicht erfordert.

Zur Messung der Durchschnittstemperatur in der Kontaktzone lassen sich gegenwärtig am einfachsten die thermoelektrischen Meßverfahren anwenden. Für Betriebsmessungen wird am häufigsten das Einmeißelthermoverfahren angewandt [2, 5, 6, 7].

Die Anwendung dieser Methode ist jedoch keineswegs frei von Schwierigkeiten, wobei die Eichung des direkten Thermoelementes einen besonders kritischen Vorgang darstellt und die Ableitung der entstandenen Thermospannung vom umlaufenden Werkzeug oder Werkstück ebenfalls mit Schwierigkeiten verbunden ist. Die Verlässlichkeit der Methode kann weiterhin durch die im Stromkreis des direkten Thermoelementes entstehenden thermoelektrischen Inhomogenitäten beeinträchtigt werden.

In der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse einer Versuchsreihe zusammengefaßt, deren Zielsetzung war, das Einmeißelthermoverfahren auf einen zeitgemäßen Stand zu bringen.

### **Untersuchung und Modernisierung des Einmeißelthermoverfahrens zur Temperaturmessung**

Beim Zerspanen kommen zwei auch thermoelektrisch unterschiedliche Metalle miteinander in Berührung, ein Umstand, der die Erwärmung der Kontaktzone herbeiführt. Erwärmt sich die Berührungsstelle zweier ungleichartiger Metalle, so läßt sich zwischen den freien Enden eine Thermospannung messen, die dem Temperaturunterschied zwischen dem Berührungspunkt und den freien Enden proportional ist. Wie bekannt, bilden Werkzeug und Werkstück ein Thermopaar [2].

Aus der durch das direkte Einmeißel-Thermoelement abgegebene Thermospannung kann die Zerspanungstemperatur dann ermittelt werden, wenn die Funktion Thermospannung-Temperatur des direkten Thermoelementes, die sog. Eichfunktion bekannt ist.

Da die Eichfunktionen der direkten Thermoelemente von der Werkstoffzusammensetzung stark abhängig sind, weisen die Eichkurven auch bei Thermoelementen gleicher nomineller Zusammensetzung erhebliche Unterschiede auf.

Folglich muß ein jedes Thermoelement geeicht werden.

Bei der Untersuchung und Modernisierung des zur Temperaturmessung angewandten Einmeißelthermoverfahrens wurde versucht, die folgenden wichtigsten Fragen zu beantworten:

– Auf welche Weise soll der Meßkreis des direkten Thermoelementes aufgebaut werden?

a) Welches Meßgerät soll eingesetzt werden?

b) Auf welche Weise läßt sich die Konstanthaltung der Referenzpunkttemperatur erzielen?

c) Auf welche Weise kann die Thermospannung vom direkten Thermoelement so abgeleitet werden, daß in seinem Stromkreis keine Inhomogenitäten entstehen?

d) Auf welche Weise sollte die Thermospannung vom umlaufenden Werkstück oder Werkzeug abgeleitet werden ohne, daß dabei eine sekundäre Thermospannung entsteht? Sind dazu die verschiedenen Schleifringe geeignet?

– Wird die Eichkurve des direkten Thermoelementes durch die Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeiten beeinflusst?

– Weist die Eichkurve eine Hysterese auf, wenn sowohl bei der Aufheizung als auch bei der Abkühlung geeicht wird?

- Werden die thermoelektrischen Eigenschaften der Glieder des Thermopaares durch wiederholte Aufheizung und Abkühlung bzw. Wärmebehandlung beeinflusst?
- Sind die thermoelektrischen Eigenschaften der Metalle von den mechanischen Spannungen abhängig?
- Darf die Eichung des direkten Thermoelementes unter Bedingungen durchgeführt werden, die von den Zerspanungsverhältnissen abweichen?

### **Untersuchung und Modernisierung des Meßkreises des direkten Einmeißel-Thermoelementes**

Die gestellten Fragen werden in Anlehnung an die Schriftumsdaten und an die eigenen Versuche ihrer Reihenfolge entsprechend erörtert:

– Bei Anordnung des Meßkreises des direkten Thermoelementes sind die sich aus den physikalischen Gesetzmäßigkeiten des Betriebes der thermoelektrischen Wandler ergebenden Anforderungen restlos einzuhalten. In einem Großteil der aus der Literatur bekannten Meßanordnungen werden diese nicht beachtet.

Nachfolgend werden die Grundlagen der Meßkreisanordnung und die bei den Versuchen angewandten einzelnen Maßnahmen dargelegt:

a) In Anbetracht der Größenordnung der Thermospannungen sind für die Messung der Spannungen Voltmeter mit hohem Innenwiderstand einzusetzen oder Kompensationsmeßmethoden anzuwenden. Unter Berücksichtigung der großen Anzahl der zu messenden und zu verarbeitenden Daten empfiehlt es sich, ein Meßsystem zu gebrauchen, das eine möglichst automatische Messung und eine digitale Speicherung gestattet [1].

Diesen Anforderungen entsprechen teilweise die DC-Digitalvoltmeter. In unseren Versuchen wurden Digitalvoltmeter 4114/a des Werkes RFT, angeschlossen an eine digitale Registrieranlage Typ 3518.000, eingesetzt. Die Meßergebnisse wurden auf einem Lochstreifen registriert. Die Meßanordnung arbeitete in Off-line Betriebsart. Das Auflösungsvermögen des Meßsystems war vom Wert  $10 \mu\text{V}$ , die Arbeitsgeschwindigkeit der digitalen Registrieranlage lag bei 10 Angaben/sec.

b) Die Thermospannung ist vom Temperaturunterschied zwischen Heißlötstelle und Referenzpunkt abhängig. Mit der Temperaturänderung des Referenzpunktes ändert sich auch die Thermospannung, ein Umstand, der den Anschein erweckt, als wäre eine Änderung der zu messenden Temperatur eingetreten. Um Meßfehler zu vermeiden, ist die Temperatur des Referenzpunktes zu stabilisieren. Die stabilisierte Referenzpunkttemperatur soll zweckmäßig für  $0^\circ\text{C}$  gewählt werden, wobei diese durch ein Dewargefäß (Wärmeflasche) mit tauendem Eis einfach zu gewährleisten ist.

Die Anwendung von anderen Referenzpunkttemperaturen ist selbstverständlich ebenfalls zulässig, in diesem Fall ist aber eine Referenzpunkt-korrektur zu berechnen. Da die Thermospannung-Temperatur-Funktionen der Thermoelemente nicht linear sind, ist die Korrekturrechnung ein schwieriger und zeitaufwendiger Vorgang.

Ist die Temperatur des Referenzpunktes  $0^{\circ}\text{C}$ , so erübrigt sich die Korrekturrechnung.

In unseren Versuchen wurde die Referenzpunkttemperatur in einem Dewargefäß auf dem Wert von  $0^{\circ}\text{C}$  gehalten.

c) Die Thermospannung ist von den Gliedern des direkten Thermoelementes so abzuleiten, daß sekundäre Thermospannungen im Meßkreis an keiner Stelle entstehen. Das ist nur möglich, wenn die Zeichen von der Heißlötstelle zu den Referenzpunkten mittels aus dem Stoff des Werkzeuges bzw. Werkstoffes angefertigter „Leiter“ übertragen werden. Konkrete Versuche wurden beim Drehen durchgeführt. Eine Veränderung des aus der Literatur bekannten Meßklemmhalters [2, 3] ermöglichte die Zuleitung der Thermospannung vom Werkzeug zur Referenzpunkt-Thermosflasche durch einen Hartmetallstab aus einem mit dem des Hartmetallplättchens identischen Werkstoff (Abb. 1). Die Thermospannung wurde vom Werkstück unter Dazwischenschaltung eines rotierenden Quecksilberkontaktes durch eine

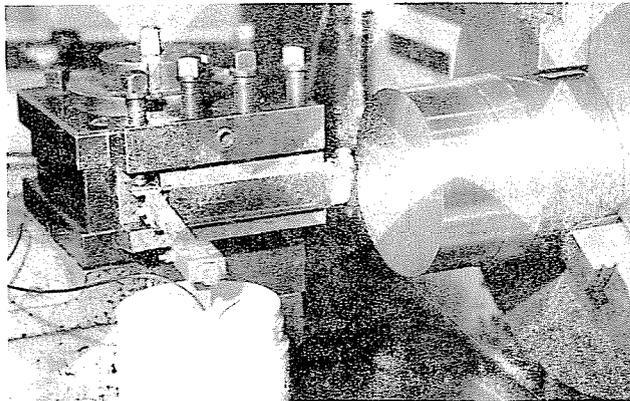


Abb. 1. Meßklemmhalter zum Drehen

Achse und einen Stab abgeleitet, die aus dem Stoff des Werkstückes angefertigt wurden. Sekundäre Thermospannungen traten in keinem Falle auf.

Sowohl das Werkzeug als auch das Werkstück sowie die Geräte zur Übertragung der elektrischen Zeichen sind voneinander und von der

Werkzeugmaschine elektrisch zu isolieren. Die Güte der Isolierung wirkt sich auf die Brauchbarkeit der Methode aus.

Für die Isolierstoffe wird in der Norm MSZ 1129/2 bei Raumtemperatur und bei einer relativen Luftfeuchte von 80% mindestens ein Isolierwiderstand von 10 M $\Omega$  vorgeschrieben.

In unseren Versuchen wurden eine Preßspanplatte und Danamid verwendet. Bei einer Temperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchte von 65% lag der Isolierwiderstand über 50 M $\Omega$ .

d) Die Thermospannung wird vom umlaufenden Werkstück oder Werkzeug in der Regel durch einen Schleifring, einen rotierenden Quecksilberkontakt oder eine rotierende Spitze mit Quecksilberkontakt abgeleitet [1, 2, 3, 4]. Bei Anwendung eines Schleifringes oder einer rotierenden Spitze mit Quecksilberkontakt tritt im Meßkreis Inhomogenität und somit eine sekundäre Thermospannung auf. Um den Übertragungsfehler des Schleifringes Bauart Hottinger SK 6 zu prüfen, wurden Versuche durchgeführt, wobei es sich feststellen ließ, daß der Fehler mit steigender Umdrehungszahl größer wird. Bei 1000 Umdrehung/min und Übertragung einer Gleichspannung von 10 mV, ergab sich bereits ein Fehler von 5%.

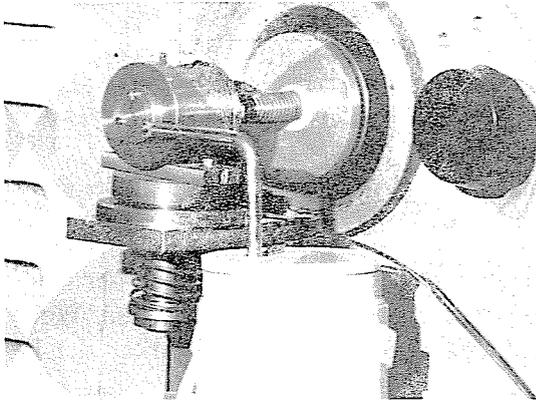


Abb. 2. Rotierender Quecksilberkontakt für eine Drehbank

Es wurde für eine Drehbank ein rotierender Quecksilberkontakt entwickelt (Abb. 2). Dabei wurde die Austauschbarkeit des Rotors und der in das Quecksilberbad tauchenden Elektroden, die jeweils aus dem Stoff des Versuchswerkstückes angefertigt wurden, gewährleistet. Da das Quecksilberbad thermoelektrisch einen thermischen Kurzschluß darstellt, wird durch die Ableitung des Zeichens keine sekundäre Thermospannung hervorgerufen.

Eine rotierende Spitze wurde umgestaltet und mit einem Quecksilberkontakt ausgestattet.

Um die Übertragungseigenschaften der beiden unterschiedlichen Quecksilberkontakte zu vergleichen, wurden Untersuchungen vorgenommen. Dabei wurde festgestellt, daß der Quecksilberkontakt eine verlässlichere Zeichenübertragung gewährleistet, als die rotierende Spitze mit Quecksilberkontakt.

Die Meßanordnung, die bei den aufgrund der vorhergehenden Ausführungen vorgenommenen Versuchen zur Messung der Temperaturen beim Drehen angewandt wurde, ist schematisch in Abb. 3 dargestellt. Dabei ist es uns gelungen, die Entstehung von thermoelektrischen Inhomogenitäten zu vermeiden, weiterhin die Ableitung der Thermospannung vom Werkstück und Werkzeug befriedigend zu bewältigen.

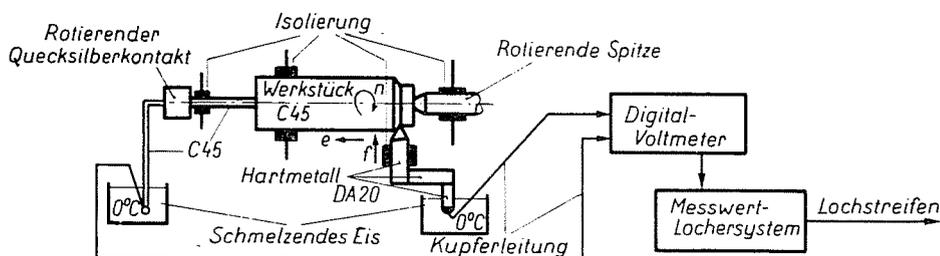


Abb. 3. Schematische Darstellung der bei mit Hilfe vom Einmeißelthermoverfahren durchgeführter Temperaturmessung angewandten Meßanordnung

### Untersuchung und Modernisierung der Eichung des direkten Einmeißel-Thermoelementes

Die Eichversuche waren auf die Beantwortung der Fragen ausgerichtet, die sich bei der Prüfung der Methode gestellt hatten. Weiterhin wurde die Erhöhung von Verlässlichkeit und Reproduzierbarkeit der Eichung zum Ziel gesetzt.

Es wurde nach drei verschiedenen Eichmethoden gearbeitet, von denen zwei, die aus der Literatur bekannt sind [1, 2, 3, 5], in umgewandelter Form angewandt wurden, während die dritte, die Eichmethode mit Gasbrenner, aufgrund eigener Überlegungen entwickelt wurde.

In den Eichversuchen wurde eine möglichst genaue Annäherung der Zerspannungsverhältnisse angestrebt. Das gelang uns am besten bei der Eichung mit Gasbrenner.

Bei der Eichvorrichtung mit Gasbrenner wurde die Heißblötstelle des direkten Thermoelementes durch einen Azetylgasbrenner aufgeheizt. Die Heißblötstelle war vom Gasbrenner umgeben, so daß gleichzeitig Werkzeug und

Werkstück aufgeheizt wurden. Um eine Verzunderung und deren Folgerscheinungen, die elektrischen Inhomogenitäten auszuschließen, wurde bei der Eichung Argonschutzgas verwendet. Abgesehen vom dem das Werkzeug ersetzenden Hartmetallstab, entsprach der Meßkreis des direkten Thermoelementes bei den Eichversuchen der bei der Messung der Zerspannungstemperatur angewandten Meßanordnung. Wurde vom Werkstück der zur Eichung verwendete Ansatz entfernt und der Hartmetallstab durch das Werkzeug ersetzt, so konnte mit der Zerspannung begonnen werden.

Der Eichversuch erfolgte auf einer Drehbank, wobei das Werkstück in ein Futter, der Hartmetallstab in einen Meißelhalter eingespannt wurde. Die Versuchsanordnung ist schematisch in Abb. 4 dargestellt.

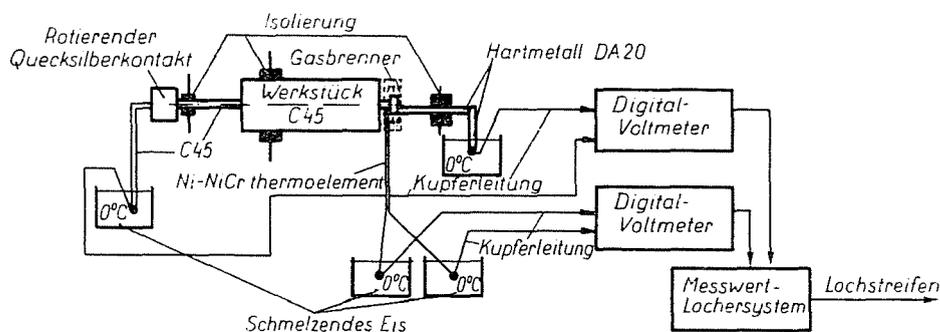


Abb. 4. Schematische Darstellung der Meßanordnung bei Eichung unter Anwendung eines Gasbrenners

Werkstück und Hartmetallstab konnten in der Heißlötstelle mit Hilfe einer Belastungsvorrichtung durch Kräfte von unterschiedlicher Größe zusammengedrückt werden. Die Größe der Auflagefläche und somit die Druckspannungen in der Berührungzone waren jeweils bekannt. Die Aufheizgeschwindigkeit der Heißlötstelle wurde durch Zufuhr von Azetylen-gas, die Abkühlgeschwindigkeit durch Anwendung von Druckluft geregelt.

Bei der *Eichmethode unter Anwendung von Widerstandheizung* wurde die Aufheizung der Heißlötstelle des direkten Thermoelementes geändert, weiterhin das Zusammendrücken der Thermopaare durch verschiedene Druckkräfte ermöglicht.

Auf die im vorhergehenden bereits dargelegte Weise wurde die Stabilisation der Referenzpunkttemperatur bzw. die Ableitung der Thermospannung gewährleistet, so daß keine sekundären Thermospannungen entstanden.

Bei *Eichung in einem elektrischen Tiegelofen* wurden die Stabilisation des Referenzpunktes und die Ableitung der Thermospannung im Vergleich zu den aus der Literatur bekannten Maßnahmen auf eine veränderte Weise vorgenommen.

Bei allen drei Eichmethoden wurde die Temperatur der Heißlötstelle mit einem NiCr—Ni-Referenzthermoelement gemessen und die durch die Thermolemente erzeugte Thermospannung wurde unter Einsatz des in Abb. 4 dargestellten Meßsystems auf einem Lochstreifen registriert. Die rechen-technisch verarbeiteten Meßangaben lieferten in tabellarischer Form die Eichfunktionen der direkten Thermolemente.

Mit Hilfe des an das Meßsystem angeschlossenen X—Y-Schreibers konnten die Eichkurven gezeichnet werden.

Die Ergebnisse der Eichversuche lassen sich im folgenden zusammenfassen:

— Die Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeiten wurden auf die bereits dargelegte Weise geändert, u. zw. die durchschnittliche Aufheizgeschwindigkeiten zwischen 25 °C/sec und 245 °C/sec, die durchschnittlichen Abkühlgeschwindigkeiten zwischen 1,4 °C/sec und 5 °C/sec.

Es wurde festgestellt, daß in diesen Bereichen die Eichkurven durch die Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeiten nicht beeinflußt werden. In den Versuchen ist es uns nicht gelungen, die beim Zerspanen auftretende maximale Aufheizgeschwindigkeit zu erreichen [9].

— Anhand mehrmaliger Wiederholung der Eichung wurde festgestellt, daß die Eichkurven innerhalb der angegebenen Geschwindigkeitsgrenzen unter Einwirkung der wiederholten Aufheizungen und Abkühlungen lediglich eine der Größenordnung der Meßunsicherheit entsprechende Streuung aufwiesen.

— Wird sowohl in der Aufheiz- als auch in der Abkühlphase geeicht, so weisen die Eichkurven im allgemeinen eine beträchtliche Hysterese auf. In unseren Versuchen setzte sie bei einem direkten Thermopaar von der Zusammensetzung C 45 und DA 20 und bei verschiedenen Drücken bei 300 °C ein und nahm bei 793 °C bis 797 °C ein Ende (Abb. 5).

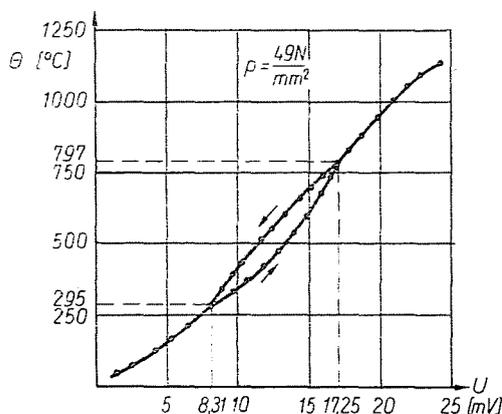


Abb. 5. Eichkurve mit Hysterese

Der Höchstwert der Hysterese lag bei 6,2 bis 9,8%. Bei höheren Drücken war ihr Wert geringer. Den Schriftumsdaten entsprechend kann die Hysterese sogar bei Raumtemperatur beginnen, endet jedoch fast immer bei der zur  $\alpha - \gamma$ -Umwandlung gehörigen  $AC_3$ -Temperatur [3]. Die  $AC_3$ -Temperatur des in unseren Versuchen verwendeten Kohlenstoffstahles C 45 lag bei 790 bis 800 °C. Aufgrund der Versuchsergebnisse kann ausgesagt werden, daß zur Ermittlung der Hysterese zunächst sowohl in der Aufheiz- als auch in der Abkühlphase geeicht werden muß. Erreicht die Hysterese nicht 2 bis 3%, so ist es hinreichend und einfacher die Eichung in der Abkühlphase vorzunehmen.

Überschreitet die Hysterese diesen Wert, so ist bei der Messung der Zerspanungstemperatur eine Hysterese Korrektur zu berechnen.

Die Vorstellungen in der Literatur, nach denen die Eichung entweder nur bei der Aufheizung oder aber nur bei der Abkühlung durchzuführen ist [2, 5], sind als falsch zu bezeichnen, da doch die Temperatur beim Zerspanen — wie das auch durch unsere Versuche bewiesen wurde — aperiodisch schwankt, wobei wiederholte Aufheiz- und Abkühlphasen abwechselnd nacheinander folgen.

— In unseren Versuchen wurde untersucht, ob von den verschiedenen Wärmebehandlungen, die Härtung die thermoelektrischen Eigenschaften der Metalle beeinflußt. Versuche wurden mit weichem und gehärtetem Schnellstahl durchgeführt. Es wurde festgestellt, daß die Eichung dieser beiden Stähle verschiedenen Zustandes eine beträchtliche Abweichung aufweist. Das aus gehärtetem Schnellstahl und dem Werkstoff C 60 bestehende Thermopaar

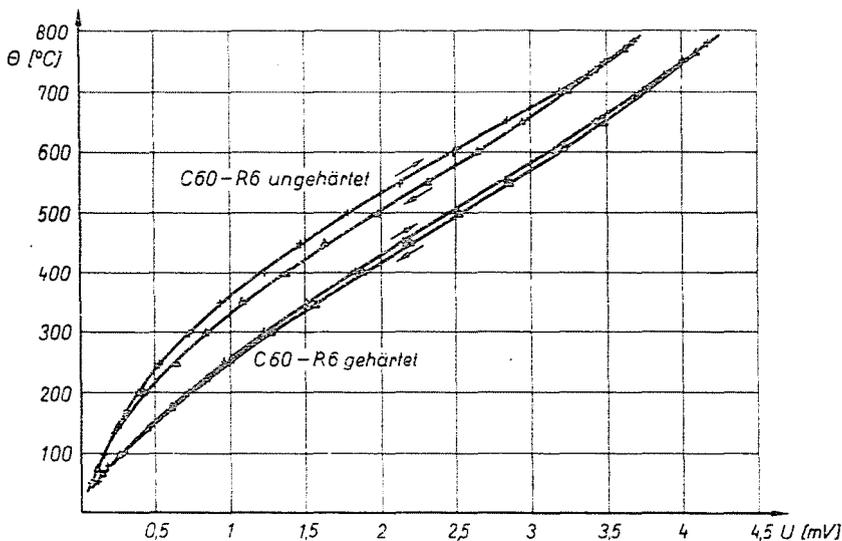


Abb. 6. Einfluß der Härtung auf die Eichkurve und die Hysterese

lieferte eine niedrigere Thermospannung als das andere Thermoelement. Der Höchstwert der Abweichung überschritt 20%, wobei auch die Hysterese einen anderen Wert aufwies (Abb. 6). Anhand der vorhergehenden Ausführungen kann ausgesagt werden, daß es nicht genügt, die Elektroden des Thermopaars zur Eichung aus einem mit dem des Werkzeuges und des Werkstückes identischen Stoff anzufertigen, sondern gleiches Gefüge und gleiche mechanische Eigenschaften ebenfalls gewährleistet werden müssen.

– In den Versuchen wurde weiterhin der Einfluß der Druckspannungen auf die thermoelektrischen Eigenschaften geprüft. Für die Untersuchungen wurde eine Eichvorrichtung mit Gasbrenner eingesetzt, die in der Heißblötstelle des direkten Thermoelementes eine Erhöhung der Druckspannungen bis zu  $736 \text{ N/mm}^2$  gestattete. Die verschiedenen Eichkurven sind in Abb. 7 dargestellt, während die Änderung der Thermospannungen in Abhängigkeit von den Drücken aus Abb. 8 ersichtlich ist. Bloß LOWACK [8] wies auf die Druckabhängigkeit der Thermospannung hin, führte jedoch keine Eichungen bei unterschiedlichen Drücken durch.

Es wurde festgestellt, daß die Druckabhängigkeit des direkten Thermoelementes C 45 – DA 20 bei einer Temperaturmessung keineswegs außer acht gelassen werden darf, da sich sonst in der Temperaturmessung Fehler bis zu 10% ergeben können.

Mit Thermoelementen anderer Zusammensetzung wurden keine auf die Druckabhängigkeit ausgerichteten Versuche durchgeführt. Dessenungeachtet

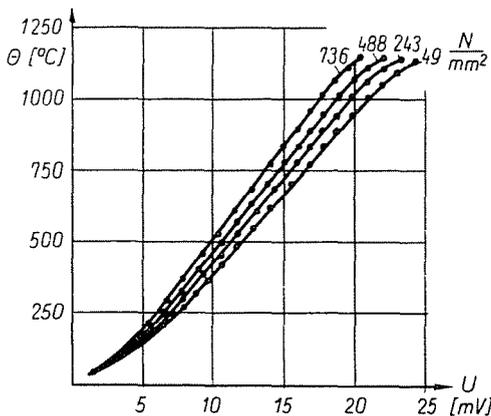


Abb. 7. Eichkurven eines direkten EinmeiBel-Thermoelementes

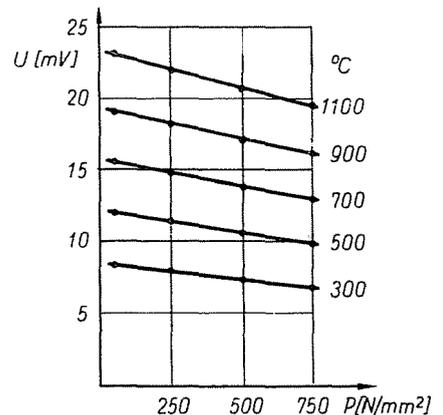


Abb. 8. Thermospannung des direkten EinmeiBel-Thermoelementes in Abhängigkeit von den Drücken

kann ausgesagt werden, daß die Möglichkeit zur Änderung der Druckspannungen bei den Eichungen jeweils gewährleistet werden muß.

Bei Temperaturmessungen ist die Eichkurve anzuwenden, die der in der Kontaktzone auftretenden durchschnittlichen Druckspannung entspricht.

– Anhand der durchgeführten Eichversuche kann ausgesagt werden, daß die Eichung unter Bedingungen, die von den Zerspanungsverhältnissen wesentlich abweichen, keineswegs vorgenommen werden darf, da sonst die sich bei der Temperaturmessung ergebenden Werte von den tatsächlichen Temperaturen ebenfalls wesentlich abweichen.

### Messung der Zerspanungstemperatur beim Längsdrehen

Zur Temperaturmessung wurden die in Abb. 3 dargestellte Meßanordnung und die aus Abb. 7 ersichtlichen Eichkurven angewandt. Die Zerspanung erfolgte auf einer Drehbank Typ EU 700. Das Probestück wurde aus dem Werkstoff C 45, das Werkzeug aus Hartmetall DA 20 angefertigt.

In den Versuchen wurde der Einfluß der technologischen und wichtigsten werkzeugeometrischen Daten auf die Zerspanungstemperatur geprüft. Die Meßergebnisse wurden auf einem Lochstreifen registriert und rechen-technisch verarbeitet. Mittels Regressionsanalyse wurden die Exponenten der Temperaturgleichung

$$\Theta = \frac{106,3 \cdot v^{0,458} \cdot s^{0,196} \cdot a^{0,023} \cdot \kappa^{0,170}}{\alpha^{0,223} \cdot \gamma^{0,430}} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

ermittelt.

Der Gültigkeitsbereich der Temperaturgleichung läßt sich, wie folgt, angeben:

- |                          |   |
|--------------------------|---|
| – Schnittgeschwindigkeit | $v = 86$ bis $334$ m/min,                 |
| – Vorschub               | $s = 0,1$ bis $0,5$ mm/U,                 |
| – Spantiefe              | $a = 1$ bis $5$ mm,                       |
| – Freiwinkel             | $\alpha = 1^{\circ}$ bis $10^{\circ}$ ,   |
| – Spanwinkel             | $\gamma = +3^{\circ}$ bis $+13^{\circ}$ , |
| – Einstellwinkel         | $\kappa = 30^{\circ}$ bis $90^{\circ}$ .  |

### Zusammenfassung

Die Versuchsergebnisse zusammengefaßt, kann festgestellt werden, daß die zeitgemäße Variante des Einmeißelthermoverfahrens eine verlässliche Methode zur Temperaturmessung beim Zerspanen darstellt.

In den Eichversuchen wurde nachgewiesen, daß sich die thermoelektrischen Eigenschaften der Metalle und somit auch die Eichkurven unter Einwirkung von Druckspannungen verändern. Es wurde festgestellt, daß wegen der Hysterese die Eichung sowohl in der Aufheiz- als auch in der Abkühlphase vorzunehmen ist. Bei der Eichung von direkten Thermoelementen müssen die Zerspanungsverhältnisse bestmöglich angenähert werden, da sonst die Verlässlichkeit der bei der Temperaturmessung erhaltenen Daten beeinträchtigt wird.

## Literatur

1. ALPEK, F.—FILEMON, J.: Erhöhung der Verlässlichkeit von Standzeitprüfungen durch Werkzeugverschleiß- und Temperaturmessung. *Periodica Polytechnica*, 1978. Vol. 22. No. 2. p. 115—122.
2. ALVELID, B.: Cutting Temperature Thermo-electrical Measurements. *Annals of the CIRP*. 1970. Vol. XVIII. p. 547—554.
3. BARROW, B.: A Review of Experimental and Theoretical Techniques for Assessing Cutting Temperatures. *Annals of the CIRP*. 1973. Vol. XXII/2. p. 203—211.
4. BEYER, I. H.: Zerspanungstemperaturen und Verfahren zu ihrer Messung. *Industrie-Anzeiger*. 1973. 95. Jg. Nr. 51. p. 1102—1103.
5. KALÁSZI, I.: A forgácsolási hőmérsékletmérés egykéses módszerének tökéletesítése és üzemi alkalmazásának lehetőségei. (Verbesserung und Möglichkeiten der Betriebsanwendung des Einmeißelthermoverfahrens zur Messung der Zerspanungstemperatur). *Gép*. 1964. XVI. p. 373—378.
6. LENZ, E., und VILENSZKI, D.: Ein Korrelationsversuch zwischen den Einmeißelthermoverfahren und einer Strahlungsmethode. *Annals of the CIRP*. 1968. Vol. XVI. p. 229—234.
7. LENZ, E.: Die Temperaturmessung beim Zerspanen. *Werkstattstechnik*. 1964. Jg. 54. p. 422—426.
8. LOWACK, H.: Temperaturen an Hartmetaldrehwerkzeugen bei der Stahlzerspanung. *Industrie-Anzeiger*. 1968. Jg. 90. p. 41—44.
9. MEYER, K. F.: Die Ermittlung der Temperaturen an den Schneiden spanender Werkzeuge. *VDI. Berichte*. 1966. Nr. 112. p. 115—121.

Dr. Ferenc ALPEK, H-1521 Budapest