

ERHÖHUNG DER VERLÄSSLICHKEIT VON STANDZEITPRÜFUNGEN DURCH WERKZEUGVERSCHLEISS- UND TEMPERATURMESSUNG

Von

F. ALPEK und J. FILEMON

Lehrstuhl für Fertigungstechnik, Technische Universität, Budapest

Eingegangen am 23. März 1978
Vorgelegt von Prof. Dr. M. HORVÁTH

Einleitung

Wie bekannt, ist es wegen der großen Anzahl der Einflußgrößen bisher nicht gelungen, eine auf physikalischen Gesetzmäßigkeiten aufbauende Gleichung zu entwickeln, die den Einfluß der Standzeit bei allen in der Praxis vorkommenden Werkstück-Werkzeugpaarungen erfaßt. Die bekannten Standzeitgleichungen beschreiben durch mathematische Näherung einen in Versuchen ermittelten Standzeitverlauf. Demnach ist die Verlässlichkeit der Gleichungen umso höher, je mehr empirisch ermittelte Standzeitverläufe der Modellvorstellung entsprechen.

Die Standzeitprüfung ist, wie bekannt, zeitraubend, arbeits- und kostenaufwendig und führt lediglich bei Datenaufnahmen in entsprechender Anzahl zu befriedigendem Ergebnis [1].

Vorliegende Arbeit faßt die Ergebnisse einer Versuchsreihe zusammen, wobei gleichzeitig mit den Verschleißprüfungen zur Ermittlung der Standzeit auch Temperaturmessungen vorgenommen wurden. Die Verschleißkurven, bei deren Auftragung sich für das Werkzeug in der gegebenen Versuchsphase zu große Wärmebeanspruchungen ergaben, wurden bei der Auswertung der Versuchsergebnisse nicht berücksichtigt.

Versuchsbedingungen

In den Prüfungen wurde die Standzeitermittlung eines Schnellstahlwerkzeuges R6 durch Modellierung der unterbrochenen Zerspanung vorgenommen. (Die Zusammensetzung des Schnellstahls R6 ist nach der ungarischen Norm: C 0,8—0,9%, Si_{max} 0,4%, Mn_{max} 0,4%, Cr 3,8—4,6%, W 6,0—7,0%, Mo 4,8—5,3%, V 1,7—2,1%, P_{max} 0,03%, S_{max} 0,03%). Das bearbeitete Werkstück war Stahl C 60. Die Freiflächenverschleißwerte wurden während der Standzeit in 15 bis 20 Fällen photographisch registriert und die Analyse bzw.

Messung der Verschleißerscheinungen wurde mittels eines Profilprojektors durch Projektion Filmes vorgenommen. Bei den Versuchen wurde zunächst Kühlung eingesetzt, anschließend wurden sie ohne Kühlung wiederholt.

Die Messung der Zerspannungstemperatur wurde unter Anwendung des Einmeißelthermoverfahrens durchgeführt. Unter Einwirkung der bei der Zerspannung in der Kontaktzone Werkstück-Werkzeug auftretenden Temperatur läßt sich die der Zerspannungstemperatur proportionale Thermospannung zwischen den Referenzpunkten des direkten Thermoelements messen [2]. Zur Messung der Thermospannung wurde ein Digitalvoltmeter mit einem Auflösungsvermögen von 0,01 mV angewendet, wobei sowohl das Werkstück als auch das Werkzeug von der Werkzeugmaschine isoliert wurden. Bei einer Temperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 65% lag der Isolierwiderstand über 50 M Ω . Da die Güte der Isolierung die Verwendbarkeit der Methode beeinflußt, wurde sie im Laufe der Versuche zeitweise unter Anwendung eines geeigneten Instrumentes überprüft.

Die Thermospannung wurde vom rotierenden Werkzeug durch einen rotierenden Quecksilberkontakt abgeleitet. Die Temperatur der Referenzpunkte der Thermoelemente wurde durch Wasserkühlung auf konstantem Wert gehalten.

Die Zerspannungstemperatur schwankte während jeder Umdrehung des Werkzeuges in Abhängigkeit von der Bearbeitungsweise zwischen einem Mindest- und einem Höchstwert. Der Schwankungsgrad erreichte fallweise 80 bis 90% (Abb. 1).

Mit Rücksicht auf die großen Temperaturschwankungen und auf die große Anzahl der zu messenden Temperaturwerte wurde eine automatische digitale Meßwertregistrieranlage eingesetzt, die die Meßergebnisse auf einem

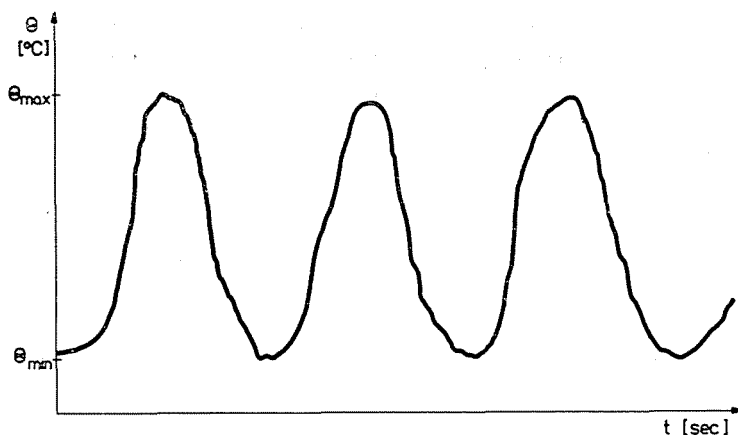


Abb. 1

Lochstreifen registrierte. Die Höchstgeschwindigkeit der Registriervorganges lag bei 10 Zeichen/sec. Abb. 2 stellt die zur Temperaturmessung verwendete Meßanordnung dar. Um gelegentlich auch einen visuellen Einblick zu ermöglichen, wurde dem Meßkreis auch ein Registriergerät angeschlossen. Den Aufzeichnungen konnten die etwaigen elektrischen Störungen, Isolationsfehler sowie die Unregelmäßigkeiten im Zerspannungsvorgang — die plötzliche Temperaturänderungen herbeiführten —, während des Versuches fortlaufend entnommen werden. Die Registrierung lieferte also kontinuierliche Information über die Notwendigkeit der Wiederholung einzelner Prüfungen.

Zur Temperaturmessung muß das Einmeißel-Thermopaar geeicht werden. Zu diesem Zweck wurde aus einem Material, dessen Zusammensetzung mit der des Materials von Werkzeug und Werkstück identisch war, ein Thermoelement gefertigt. Die Heißlötstelle des Thermoelementes wurde in einen Tiegelofen gelegt, während seine Referenzpunkte in schmelzendes Eis gesetzt wurden. Die Messung der Temperatur an der Heißlötstelle erfolgte mit einem NiCr—Ni Bezugsthermoelement. Die durch das Einmeißel-Direktthermoelement und das Bezugsthermoelement abgegebene Thermospannung wurde mit einem digitalen Voltmeter gemessen und auf einem Lochstreifen registriert, anschließend rechentechnisch verarbeitet. Auf diese Weise wurde für das direkte Thermoelement die Eichungstabelle erhalten und daraus die Eichkurve aufgetragen (Abb. 3).

Mit Hilfe der Eichkurve läßt sich die Zerspannungstemperatur ermitteln.

In den Standzeitprüfungen wurden zusammengehörige Werte für Freiflächenverschleiß und Zerspannungstemperatur gemessen [3]. Unmittelbar von der Messung des Verschleißes wurden während 12 bis 15 Sekunden Temperaturen gemessen und die Werte wurden auf einem Lochstreifen registriert. Die Meßergebnisse — 120 bis 150 Temperaturwerte — wurden rechentechnisch verarbeitet. Die Ermittlung der Durchschnitts- und Höchsttemperatur wurde ebenfalls vorgenommen. Während der Messungen wurde beobachtet, daß sich

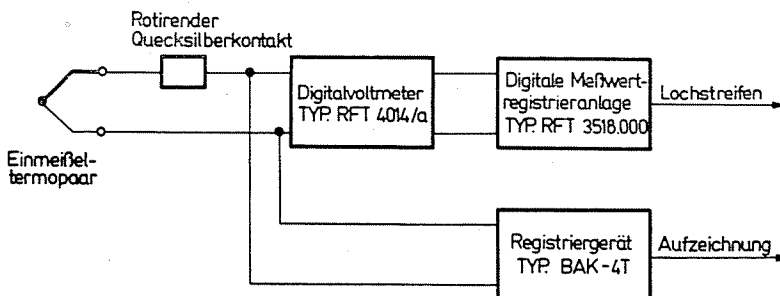


Abb. 2

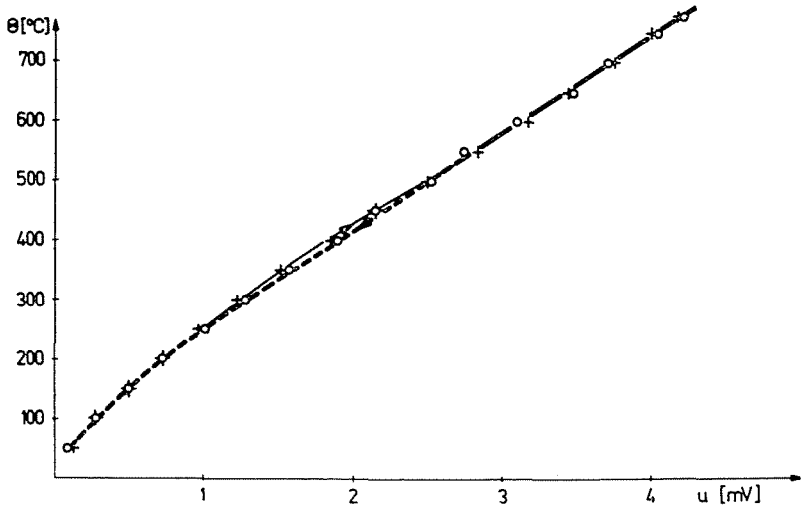


Abb. 3

in Abhängigkeit von der Zerspannungszeit sowohl die Durchschnitts als auch die Höchsttemperatur bis zu Beginn des katastrophalen Verschleißes nur geringfügig erhöhen, während sie zu Beginn des katastrophalen Verschleißes sprunghaft zunehmen [4].

Auswertungsmethode

Entsprechend dem mathematischen Aufbau lassen sich die Standzeitgleichungen in vier Typen unterteilen: 5

- Beschreibung einer Standzeitfunktion durch eine Gerade,
- Beschreibung einer Standzeitkurve durch eine Parabel oder Hyperbel,
- Beschreibung eines Standzeitkurvenfeldes durch parallele Geraden,
- Beschreibung eines Standzeitkurvenfeldes durch Gleichungen höherer Ordnung.

In den vorliegenden Untersuchungen wurde die dem Typ 1 entsprechende Taylorsche Standzeitgleichung $vT^{-1/k} = C$ angewendet, die sich lediglich für die Ermittlung des physikalischen Zusammenhanges zwischen Schnittgeschwindigkeit und Standzeit eignet.

Wie bekannt, ergibt die in logarithmischer Form geschriebene und geordnete Taylorsche Gleichung eine Gerade, d.h. der Zusammenhang vT ist in doppeltem logarithmischem Feld dargestellt eine Gerade. Die Gleichung der Geraden wurde durch Regressionsanalyse auf der Grundlage bestimmt, daß die Quadratsumme der Abstände — d.h. der Abweichungen — der in das

Doppellogarithmensystem eingezeichneten Punkte in der charakteristischen Richtung minimal ist. Es wurde angenommen, daß $\log T$ eine lineare Funktion der unabhängigen Variablen $\log v$ darstellt und somit die Abweichung bei $\log T$ liegt.

Zur statistischen Ermittlung der Güte der linearen Näherung der Kurve $v-T$ wurde die Streuung bzw. Sigifikanz errechnet.

Um zu entscheiden, ob das beobachtete Verhältnis der Variablen T und v zueinander nicht als Zufallsergebnis zu betrachten sei, wurde das Verhältnis

$$\frac{S_R^2}{S_f^2} \text{ ermittelt,}$$

wobei S_R^2 die Summe der mittleren Quadrate bedeutet, die der Variablen entspricht, die sich ihrerseits durch die Regression erklären läßt, und

S_f^2 die mittlere quadratische Abweichung der beobachteten Werte von $\log T$ gegenüber den errechneten Werten der Regressionsgeraden ist. Bei der Ermittlung der Signifikanz aufgrund von

$\frac{S_R^2}{S_f^2} > F$ wurde der Wert von F der Fischerschen Tabelle beim Verlässlichkeitsgrad von 95% und dem Freiheitsgrad von $N-2$ entnommen, wobei N die Anzahl der Untersuchungsbeobachtungen darstellt.

Danach wurden die Konfidenzgrenzen der Kurve $v-T$ ermittelt, die um die berechnete Regressionskurve einen Bereich bestimmen, der bei Wiederholung der Standzeitversuche ein bestimmtes Prozent der Regressionsgeraden erfaßt. Bei der Berechnung wurde der zum 95%-igen Verlässlichkeitsgrad gehörige Wert der Studentschen Tabelle berücksichtigt.

Vergleich der Ergebnisse

Die zu den bei der in Verbindung mit Temperaturmessungen durchgeführten Verschleißprüfungen gegebenen Schnittgeschwindigkeiten gehörigen Freiflächenverschleißwerte sowie die Durchschnitts- und Höchsttemperaturwerte wurden in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt. Als abhängige Veränderlichen der Regressionsanalyse wurden für die Berechnung die zum Freiflächenverschleiß gehörigen Standzeitwerte gewählt, wobei ersterer als Standzeitkriterium galt.

Die Verschleiß- und Temperaturkurven lassen sich in zwei Gruppen einteilen. Bei einem Großteil der Kurven gehört zur üblichen Form des Verschleißes eine monoton zunehmende Funktion der Durchschnittstemperatur (Abb. 4). Bei der anderen Gruppe der Funktionen Verschleiß-Temperatur weisen

jedoch sowohl die Durchschnitts- als auch die Höchsttemperaturen örtliche Spitzenwerte auf. Diese thermische Beanspruchung beeinträchtigte den Werkzeugverschleiß, und die Verschleißkurven wurden in Abhängigkeit vom Wert des örtlichen Maximums im Vergleich zu ihrer üblichen Form mehr oder weniger verzerrt (Abb. 5).

Anhand einer Analyse der Ursachen der örtlichen Temperaturhöchstwerte ist es uns in manchen Fällen gelungen, sie auf die Inhomogenität des

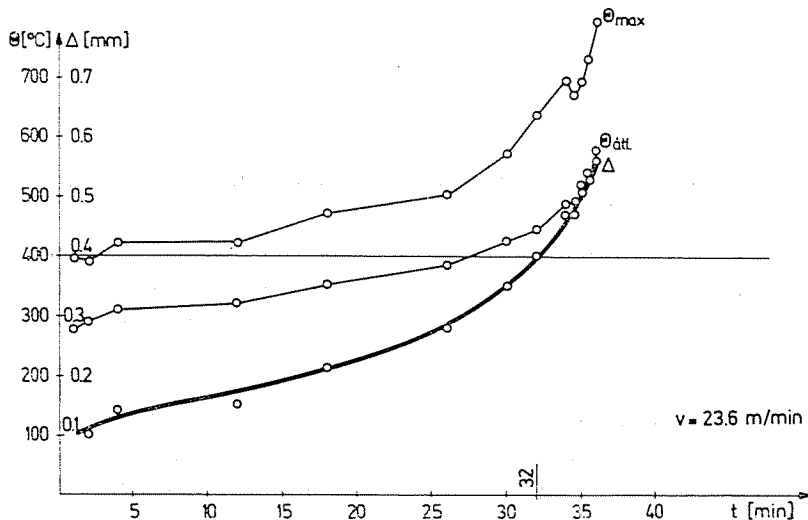


Abb. 4

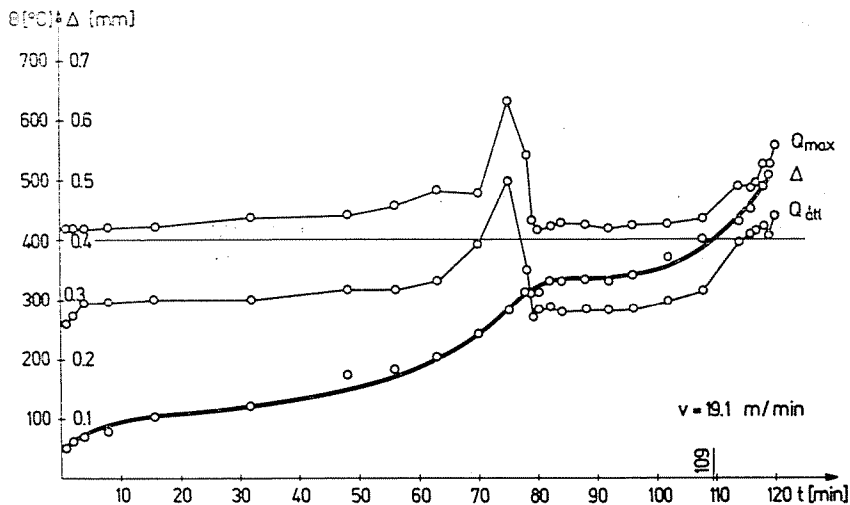


Abb. 5

übrigens sorgfältig überprüften Werkstoffes, auf eine ungünstige Spanbildung usw. zurückzuführen, wegen der zahllosen Einflußgrößen blieben jedoch die Ursachen in vielen Fällen unbekannt.

In der Auswertung der Versuchsreihen wurden die Kurven, die örtliche Spitzenwerte aufwiesen, bei der Regressionsanalyse nicht berücksichtigt, und der Versuch wurde für diese Kurven wiederholt.

Tabelle I

	C	C_{\max}	C_{\min}	k	k_{\max}	k_{\min}	$\frac{S_R^2}{S_f^2}$	ΔY
Versuchsreihe 1	167	193	148	-2,41	-2,66	-2,16	403	0,051
Versuchsreihe 2	82	123	66	-2,88	-3,69	-2,07	67	0,158
Versuchsreihe 3	83	113	69	-2,75	-3,37	-2,12	90	0,121

Um die Ergebnisse darzustellen, wurden die Angaben aus drei Versuchsreihen in Tabelle I zusammengefaßt. In den drei Fällen wurden jeweils zu 5 verschiedenen Geschwindigkeiten gehörige Standzeitwerte ermittelt.

In der ersten Versuchsreihe wurden bei jeder Geschwindigkeit 6 Verschleißkurven aufgenommen, somit wurde die Regressionskurve jeweils aus 30 zusammengehörigen Wertpaaren bestimmt. Die Versuche wurden unter Anwendung von Kühlung vorgenommen.

In der zweiten Versuchsreihe wurden für jede Geschwindigkeit 3 Verschleißkurven aufgetragen, so daß die Regressionskurve aus 15 Wertpaaren ermittelt wurde. Dabei wurde auf Kühlung verzichtet.

In der dritten Versuchsreihe wurden lediglich die Verschleißkurven wiederholt aufgenommen, bei denen die Temperaturmessung ein örtliches Maximum nachgewiesen hatte. Die Standzeitgerade wurde auch hier aus dem Ergebnis von 14 Verschleißkurven errechnet, von denen 11 aus der zweiten Versuchsreihe stammten, während 4 Kurven aufgrund der Analyse des Wärmediagramms wiederholt wurden.

Anhand einer Analyse der in Tabelle I zusammengestellten Ergebnisse läßt sich feststellen:

Da die Fischersche Tabelle für $\frac{S_R^2}{S_f^2}$ beim Freiheitsgrad $N-2 = 13$ den Wert 4,67, beim Freiheitsgrad 28 den von 4,20 angibt, gibt es in allen drei Fällen Signifikanz wie es wegen der großen Anzahl der Beobachtungen auch zu erwarten war. Das Signifikanzniveau der ersten Versuchsreihe ist sehr hoch, aber zwischen dem der zweiten und dritten zeigt sich ebenfalls ein wesentlicher Unterschied.

Bei der ersten Versuchsreihe ergab sich für C und k eine enger Konfidenzbereich. Bedingt durch die Herabsetzung der Anzahl der Beobachtungen in

der zweiten Versuchsreihe wurde ein beachtlich weiterer Konfidenzbereich für C und k erhalten. Bei der dritten Versuchsreihe, wo eine Wiederholung der aufgrund der Temperaturmessung selektierten Kurven vorgenommen wurde ergaben sich beträchtlich engere Konfidenzgrenzen.

Der Wert von ΔY , der die Konfidenzgrenzen der ganzen Geraden bestimmt, ist bei der dritten Versuchsreihe ebenfalls wesentlich günstiger als im zweiten Fall, dem gleicherweise 15 Beobachtungen zugrunde liegen.

Zusammenfassung

Vorliegender Beitrag befaßt sich mit Versuchen zur Standzeitermittlung von Schnellstahlwerkzeugen. Bei den anhand der herkömmlichen Verschleißprüfung durchgeführten Zerspanungsversuchen wurde unter Anwendung des Einmeißelthermoverfahrens gleichzeitig mit den Verschleißerscheinungen auch die Temperatur registriert, um dadurch Information über eventuelle Unregelmäßigkeiten im Versuchsvorgang zu erhalten. Bei Selektierung der Verschleißkurven und Wiederholung der notwendigen Messungen wird das Signifikanzniveau erhöht, bzw. werden die Konfidenzgrenzen erweitert. Wie die Erfahrung zeigt, sind bei dieser Methode für ein gleiches Signifikanzniveau Beobachtungen in geringerer Anzahl erforderlich.

Literatur

1. WAGNER, J. G.—BARASH, M. M.: Study of the Distribution of the Life of HSS Tools. Trans. ASME Series B, vol. 93, Nov. 1971, pp. 1044—1050
2. ALVELID, B.: Cutting Temperature Thermo-electrical Measurements. Annals of the CIRP, 1970, vol. 18, pp. 547—554
3. COLWELL, L. V.: Cutting Temperature versus Tool Wear. Annals of the CIRP, 1975, vol. 24/1, pp. 73—76
4. ZAKARIA, A. A.—EL GOMAYEL, J. I.: On the Reliability of the Cutting Temperature for Monitoring Tool Wear. J. Mach. Tool Des. Res. 1975, vol. 15, pp. 195—208
5. ESSEL, K.—HÄNSEL, W.: Analyse der Standzeitgleichungen. Industrie-Anzeiger 94. Jg. Nr. 5v. 18. 1. 1972, S. 92—93

Dr. Ferenc ALPEK, H-1525 Budapest

Dr. József FILEMON, H-1525 Budapest