

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

Wissenschaftlicher Film B 885/1965

**Schnittvorgang im Feingefüge von Stahl
bei kleinen Spandicken**

Begleitveröffentlichung von

Dr.-Ing. H.-G. WIEBACH und Dipl.-Ing. G. WARNECKE

Mit 7 Abbildungen

GÖTTINGEN 1967

Der Film wurde aus Forschungsaufnahmen zur Veröffentlichung
der Ergebnisse zusammengestellt

Länge der Kopie (16-mm-Stummfilm, schwarzweiß): 80 m
Vorführdauer: 7 1/2 min — Vorführgeschwindigkeit: 24 B/s

Inhalt des Films

Der Film zeigt das Eindringen eines Schneidkeils in das durch eine Korngrenzenätzung sichtbar gemachte Feingefüge einiger Stahlsorten (Automatenstahl 9 S 20, Einsatzstahl 16 MnCr 5 und Maschinenbaustahl St 50) bei verschiedenen Spanungsdicken (5—60 μm). Bei der Spanabnahme spielen sich im mikroskopischen Bereich Vorgänge ab, deren Kenntnis die Beurteilung zerspannungstechnischer Probleme wesentlich erleichtert.

Der Film wurde 1964 aufgenommen. Veröffentlichung aus dem Institut für Fertigungstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen der Technischen Hochschule Hannover (Prof. Dr.-Ing. W. OSENBURG), Dipl.-Ing. H.-G. WIEBACH, und dem Institut für den Wissenschaftlichen Film (Direktor: Prof. Dr.-Ing. G. WOLF); Aufnahme: G. HUMMEL

Schnittvorgang im Feingefüge von Stahl bei kleinen Spandicken¹

H.-G. WIEBACH und G. WARNECKE, Hannover

Allgemeine Vorbemerkungen

Zur Definition der Zerspanbarkeit

Der Zerspanungsprozeß ist durch die Wechselwirkung zwischen Werkstück und Werkzeug bestimmt. Seine Beurteilung ist mit dem komplexen Begriff „Zerspanbarkeit“ verbunden und erfolgt zweckmäßigerweise je nach Rangordnung der jeweiligen Aufgabenstellung nach verschiedenen Gesichtspunkten.

Von SCHALLBROCH und BETHMANN [4] wird vorgeschlagen, die Zerspanbarkeit nach den vier Hauptbeurteilungsfaktoren — Standzeit, Energiebedarf, Oberflächengüte, Spanbildung — aufzuschlüsseln.

Bei Zerspanungsuntersuchungen mit Hilfe des Films liegt der Schwerpunkt auf den Fragen nach der Spanbildung bei einer Aufgliederung in Spanform- und Spanwurzelbetrachtungen.

Spanbildungstheorien

Idealisiert kann man sich den Schnittvorgang so vorstellen, daß der Werkstoff auf der Spanfläche gestaucht wird, in Form von Lamellen längs einer Scherebene — die mit der Hauptbewegungsrichtung den Scherwinkel Φ bildet — abgeleitet und als Span über die Spanfläche abläuft.

Die Bestrebungen, aus den ursächlichen Zusammenhängen der Spanentstehung über geometrische Beziehungen, Reibungskoeffizienten und Werkstoffkennzahlen zu einem allgemeingültigen Zerspanungsgesetz zu gelangen, haben zu einer Vielzahl von Theorien geführt, die aber nur für ganz bestimmte Zerspanungsfälle ihre Gültigkeit haben.

Hier deuten sich zwei Grundrichtungen an: 1. die *Scherplantheorien*, die den Schervorgang in einer definierten, ebenen oder gekrümmten Fläche darstellen [1], [2], und 2. die *Scherzonentheorien*, die von einer plastischen Zone bei der Spanbildung ausgehen [1], [8].

¹ Nach DIN 6580: Spannungsdicken.

Abb. 1 zeigt die geometrischen Größen an der Spanwurzel. Aus der Spanungsdicke h_1 und der Dicke des ablaufenden Spanes h_2 ergibt sich das Stauchverhältnis $\lambda = h_2/h_1$, das als Maß für die Verformung gelten kann. Einfache geometrische Beziehungen führen auf eine Gleichung zur Berechnung des Scherwinkels $\Phi = \arccot [(\lambda - \sin \gamma)/\cos \gamma]$. Einen Sonderfall stellt $\Phi = \arccot \lambda$ bei $\gamma = 0^\circ$ dar.

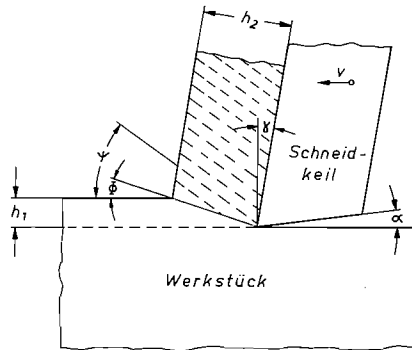


Abb. 1. α : Freiwinkel; γ : Spanwinkel; Φ : Scherwinkel; ψ : Texturwinkel

Orthogonalprozess

Bei allen Betrachtungen über die Spanbildung wird der Orthogonalchnitt (Abb. 2) als der allgemeinste Zerspanungsfall zugrunde gelegt. Er ist bei geradliniger Hauptbewegung, mit einem Einstellwinkel $\kappa = 90^\circ$, einem Neigungswinkel $\lambda = 0^\circ$ und ohne Nebenschneide verwirklicht, wenn die Spanungsbreite kleiner als die Schneidenlänge ist. Damit ist die zweiachsige Darstellung des Schnittvorganges möglich und die Anzahl der Einflußgrößen auf ein Mindestmaß reduziert.

Beim Drehen kann der Orthogonalchnitt durch einen Rohrstirneinstich (Abb. 3a) und durch Einstechen einer schmalen Scheibe (Abb. 3b) nur angenähert werden.

Zur Entstehung des Films

Die mikroskopische Betrachtung des Zerspanungsvorganges erfordert die Darstellung entlang einer nicht deformierbaren Ebene. Die polierte und geätzte Werkstoffprobe und der rotierende Schneidkeil wurden gegen eine Glasplatte gepreßt, um die beim freien Schnitt auftretende Spanwurzelbreitung zu unterdrücken. Die Zugabe eines Immersionsöls als Gleitmittel hielt die Glassprünge in erträglichen Grenzen [5], [6].

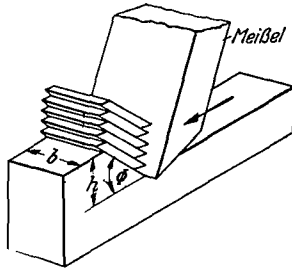


Abb. 2. Reiner Orthogonalprozeß [3]

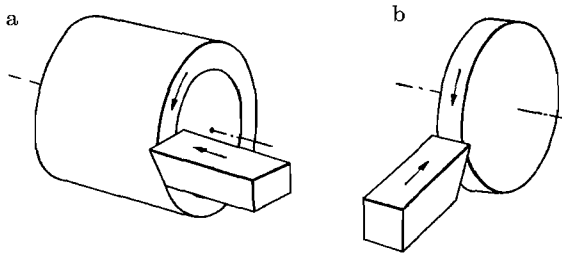


Abb. 3. Angenäherte Orthogonalprozesse [3]
a: Stirndrehen eines Rohres; b: Abdrehen einer Scheibe

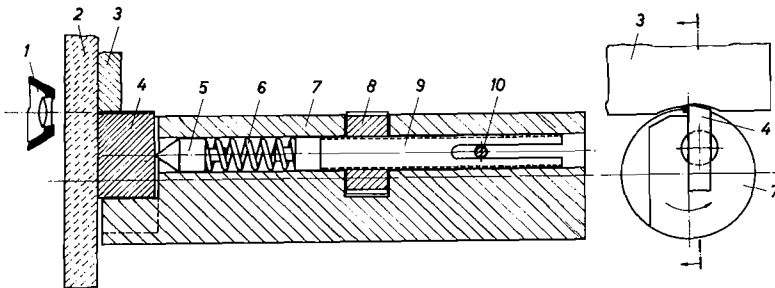


Abb. 4. Aufbau des Schneidplattenhalters

- 1: Mikroskopobjektiv; 2: Glasscheibe; 3: Werkstück; 4: Schneidplatte; 5: Druckkegel; 6: Feder;
7: Schneidplattenhalter; 8: Stellmutter; 9: Gewindespindel; 10: Fixierstift

Der im Drehbankfutter befestigte Schneidplattenhalter 7 trägt die Schneidplatte 4, die mit Hilfe der Teile 5, 6 und 9 federnd gegen die Glasscheibe 2 gepreßt wird. Mit der Stellmutter 8 kann der Anpreßdruck verändert werden. Das Werkstück 3 wird unbeweglich an die Glasscheibe 2 angepreßt

Den prinzipiellen Aufbau und die Funktion des Schneidplattenhalters zeigt Abb. 4. Der Schnittvorgang entspricht — in der Anordnung von Werkstück—Werkzeug und den Schnittbedingungen — dem Schlagzahn-Fräsen im angenäherten Orthogonalschnitt. Eine Vorlastbremse verhindert die infolge des intermittierenden Schnittes möglichen Ratterschwingungen.

Durch die elastische Deformation des Systems und die damit erforderliche Nachfokussierung der Schärfenebene war die Schnittgeschwindigkeit auf maximal 20 mm/min begrenzt.

Aufnahme und Beobachtung erfolgten durch die hinter dem Mikroskop (Abb. 4, 1) befindliche 16-mm-Schmalfilmkamera. Das Objekt wurde durch das Objektiv über einen Opak-Illuminator beleuchtet (Auflicht-Hellfeld).

Technologische Angaben:

Werkzeug: HSS, Spanwinkel $\gamma = 0^\circ$. Werkstücke: 1. Automatenstahl 9 S 20, weichgeglüht, nach DIN 1651, Werkstoffnummer: 1.0711, Zugfestigkeit $\sigma_b = 43$ kp/mm²; 2. Einsatzstahl 16 MnCr 5, normalgeglüht, nach DIN 17210, Werkstoffnummer: 1.7131, Zugfestigkeit $\sigma_b = 51$ kp/mm²; 3. Baustahl St 50, weichgeglüht, nach DIN 17100, Werkstoffnummer: 1.0530, Zugfestigkeit $\sigma_b = 55$ kp/mm². Spanungsdicke h : 5 bis 60 μ m. Schnittgeschwindigkeit v : 10 mm/min.

Erläuterungen zum Film¹

Angenäherter Orthogonalschnitt
Spanwinkel 0° — Freiwinkel 15°
Schnittgeschwindigkeit etwa 10 mm/Min.

Aufnahmefrequenz 48 B/s
Bildfeldbreite 440 μ m

Automatenstahl 9 S 20

Spandicke etwa 40 μ m

Spandicke etwa 15 μ m

Spandicke etwa 10 μ m

Spandicke etwa 5 μ m

Trotz der sehr geringen Schnittgeschwindigkeit ergibt der Schnitt bei 9 S 20 einen zusammenhängenden Span.

¹ Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film.

Während mit wachsender Spannungsdicke die Lamellenschichtung gleichmäßiger und der Span stabiler wird, führen bei kleineren Spannungsdicken Unregelmäßigkeiten in der Spanbildung zum Bruch des Spanes.

Bei größeren Spannungsdicken werden die einzelnen Kristallite stark verformt, bevor die eigentliche Abscherung sichtbar einsetzt; dagegen werden bei kleinen Spannungsdicken, die zum Teil weit unter der Korngröße des Gefüges liegen, die Kristallite ohne sichtliche Verformung glatt durchgeschnitten.

An der geätzten Probe lassen sich Verformungen der Kristallite beim Schnittvorgang gut beobachten, die als Deformation des Gefüges in der Spanwurzel, einem damit verbundenen Verformungsvorlauf und als Deformation in die Tiefe des Werkstückes (Verformungstiefe) sichtbar sind. Die dunkle Randzone unterhalb der Schnittfläche deutet diese Verformung an.

Einsatzstahl 16 MnCr 5

Spanndicke etwa 50 μm

Spanndicke etwa 25 μm

Spanndicke etwa 10 μm

Spanndicke etwa 5 μm

Der Einsatzstahl 16 MnCr 5 weist eine gleichmäßige und ausgeprägte Gefügestruktur auf und ist somit für die mikroskopische Betrachtung besonders geeignet. (Die Blasen und Schlieren auf dem Schneidkeil bilden sich durch das Immersionsöl zwischen Werkzeug und Glasplatte.)

Der Schnittvorgang ist durch eine kontinuierliche Spanabnahme gekennzeichnet.

Bei kleinsten Spannungsdicken ist die Spanoberseite zwar stark zerklüftet, aber die Spanunterseite und die Schnittfläche erscheinen als glatte Profillinien, da der Schneidkeil die einzelnen Kristallite, ohne sie aus dem Gefüge herauszureißen, glatt durchtrennt.

Mit zunehmender Spannungsdicke tritt eine starke Streckung der Kristallite ein, so daß im Span die Korngrenzen nicht mehr deutlich sichtbar sind; dafür zeigt die Gleitrichtung den Texturwinkel an.

Maschinenbaustahl St 50

Spandicke etwa $60 \mu\text{m}$

Spandicke etwa $30 \mu\text{m}$

Spandicke etwa $12 \mu\text{m}$

Spandicke etwa $6 \mu\text{m}$

St 50 bildet infolge seiner Kalt- und Rotbruchempfindlichkeit bei kleinen Spandicken einen gut verformbaren Span, der sich ohne Bruch zu einer Spirale lang aufrollt.

Bei größeren Spandicken tritt keine ausgeprägte Lamellenbildung auf, so daß sich auch die Gleitrichtung aus dem Schervorgang nicht eindeutig abzeichnet. Da der Werkstoff stark schmiert — sichtbar durch den Werkstofffilm zwischen Schneidkeil und Glasscheibe und die damit verbundenen schlechten Gleiteigenschaften —, staut sich der Werkstoff vor der Schneide und gleitet in Form größerer Lamellen über die Spanfläche. Dieser Schmiereffekt täuscht eine starke Aufbauschneide vor, die allerdings nur andeutungsweise vorhanden zu sein scheint.

Verformungstiefe (Ergebnisse der Filmauswertung)

Die Verformungstiefe entspricht der Oberflächenverformung im Werkstück und ist eine Folge der mit der Spanabnahme verbundenen Ver-

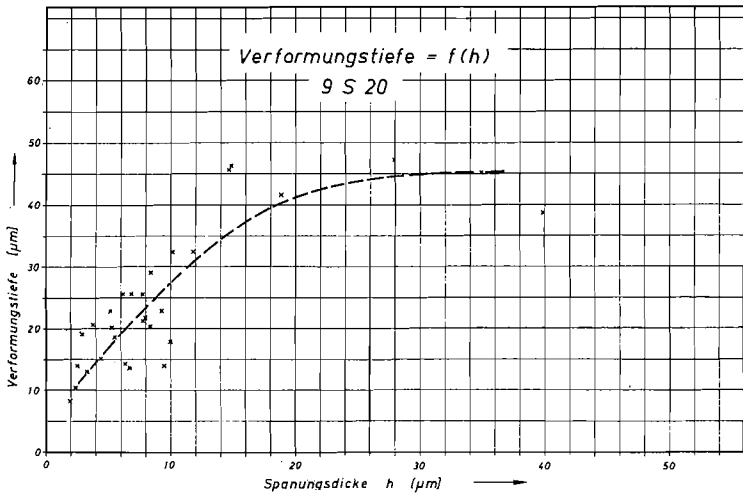


Abb. 5. Verformungstiefe beim Zerspanen von 9 S 20

formung in der Spanwurzel. Die quantitativen Auswertungen der maximalen Verformungstiefe senkrecht zur Schnittfläche in Abhängigkeit von der Spannungsdicke zeigen die Abb. 5 bis 7 (vgl. [7]).

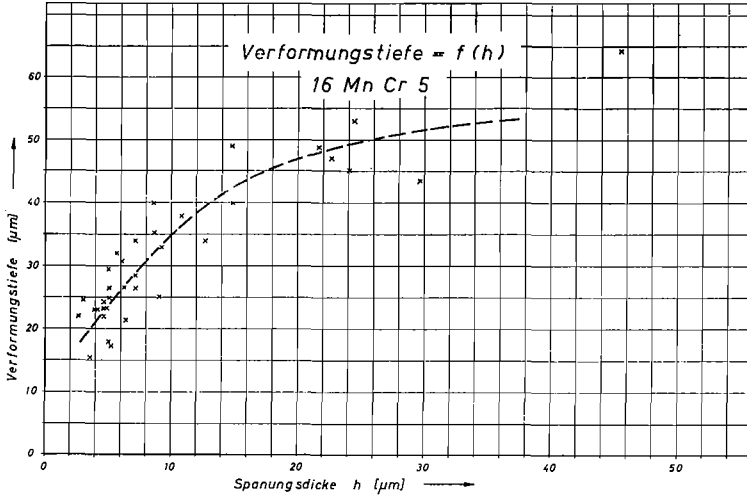


Abb. 6. Verformungstiefe beim Zerspanen von 16 MnCr 5

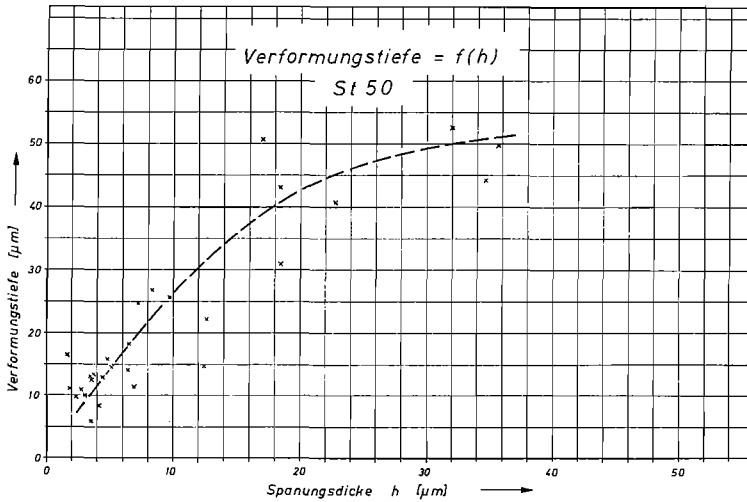


Abb. 7. Verformungstiefe beim Zerspanen von St 50

Die jeweilige Anordnung der Kristallite zueinander führt bei gleicher Spannungsdicke zu verschiedenen Verformungstiefen längs des Schnittweges, so daß zwangsläufig die Werte um die eingezeichneten Kurven streuen. Für alle hier untersuchten Werkstoffe ergibt sich eine degressive Steigungstendenz.

Bei kleinen Spannungsdicken (bis etwa $15\ \mu\text{m}$) beträgt die Verformungstiefe ein Mehrfaches der Spannungsdicke und nähert sich bei wachsender Spannungsdicke dem Wert derselben.

Die unterschiedliche Verformungstiefe bei den verschiedenen Werkstoffen ist vermutlich auf den Einfluß unterschiedlicher Korngrößen, Werkstoffestigkeiten und nichtmetallischer Einschlüsse zurückzuführen.

Literatur

- [1] International research in production engineering. ASME, New York 1963.
- [2] MERCHANT, M. E.: Mechanics of the metal cutting process. *J. Appl. Phys.* **16**, 5 (1945), 267—275, 318—324.
- [3] RÖHLKE, G.: Zur Mechanik des Zerspanungsvorganges. *Werkstatt und Betrieb* **91**, 8 (1958), 473—483.
- [4] SCHALBROCH, H., und H. BETHMANN: Kurzprüfverfahren der Zerspanbarkeit. Teubner, Leipzig 1950.
- [5] WIEBACH, H.-G.: Beitrag zur Untersuchung des Zerspanungsvorganges mit Hilfe fotografischer Methoden. *Werkstattstechnik* **55**, 3 (1965), 128—133.
- [6] WIEBACH, H.-G., und G. HUMMEL: Mikrokinematographische Studien über das Zerspanen von Metallen. *Res. Film* **5**, 5 (1966), 501—509.
- [7] WIEBACH, H.-G.: Untersuchung der Werkzeugbeanspruchung beim Drehen von Stahl mit kleinen Spannungsdicken. Diss. TH Hannover 1966.
- [8] ZOREW, N. N.: Der Einfluß der Grundfaktoren auf den Spanbildungsprozeß. *Industrie-Anzeiger* **81**, 20 (1959), 294—298.