

# ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAFICA

Editor : G. WOLF

---

*E 806/1965*

## **Zerspanen von Polyvinylchlorid hart Spanbildung beim Drehen**

Mit 3 Abbildungen

GÖTTINGEN 1968

---

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

## Zerspanen von Polyvinylchlorid hart Spanbildung beim Drehen<sup>1</sup>

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

### Allgemeine Vorbemerkungen

#### Die Spanbildung als Beurteilungsmerkmal der Zerspanbarkeit

Nach einer Aufschlüsselung des Begriffs „Zerspanbarkeit“ in die vier Hauptbeurteilungsfaktoren — Standzeit, Energiebedarf, Oberflächengüte, Spanbildung — von SCHALLBROCH und BETHMANN [9] sind Zerspanungsstudien mit Hilfe des Films unter dem Stichwort „Spanbildung“ einzuordnen. Die Fragen der Spanbildung lassen sich in die entstehende Spanform und in die Vorgänge in der Spanwurzel untergliedern.

Die Spanform ist das qualitative Beurteilungsmerkmal der makrogeometrischen Form, wobei grob zwischen Wendel-, Spiral-, Band- und Wirrspänen unterschieden wird. Weiter werden der Spanrand, die Spanunterseite, die Spanfestigkeit und die Aufbauschneide als Beurteilungsmerkmale herangezogen (SCHALLBROCH und BETHMANN [9]). Als Maßstab für den Raumbedarf der Späne gilt die Spanraumzahl  $R$ , die die „Sperrigkeit“ der Späne angibt. Sie ist als das Verhältnis des Volumen der ungeordneten Spanmenge zum zerspannten Werkstoffvolumen definiert.

---

<sup>1</sup> Angaben zum Film und Filminhalt (deutsch, englisch, französisch) s. S. 10.

Die Vorgänge in der Spanwurzel erstrecken sich auf die Verformungen im Werkstück unterhalb der Schnittfläche und im Span bei mikrogeometrischer Betrachtung (WIEBACH [13]) und auf die Spanbildungsmechanismen an der Spanentstehungsstelle bei makrogeometrischer Betrachtung.

### Spanentstehung — Spantypen — Aufbauschneide

Der Schnittvorgang selbst ist annähernd so zu deuten, daß der Werkstoff nach einer Stauchung auf der Spanfläche längs einer sogenannten Scherebene abgesichert wird und als Span mit lamellenartiger Schichtung über die Spanfläche gleitet. Die Werkstoffeigenschaften und die Schnittbedingungen bestimmen die Dicke und den Zusammenhalt der Lamellen.

Aufgrund von Spanuntersuchungen haben ROSENHAIN und STURNEY [8] drei Spantypen geprägt, deren Einteilung sich als recht sinnvoll erwiesen hat: 1. der Reißspan, der beim Zerspanen von spröden Werkstoffen durch Vorreißen und Abplatzen einzelner Werkstoffelemente entsteht, 2. der Scherspan, ein zusammenhängender Span mit deutlicher Lamellierung, und 3. der Fließspan mit gleichmäßig feiner Lamellenbildung.

Zur Abgrenzung des Scherspans vom Fließspan bedarf es eines zu definierenden Kriteriums, das RICHTER [5] aus einer Bruchprobe ableitet. Sie besagt, daß der Scherspan entlang der Lamellenebene bricht, während der Fließspan unregelmäßig bricht. RÖHLKE [7] hat festgestellt, daß der Lamellenabstand bei typischen Fließspänen unter etwa 0,05 mm lag und daß sich damit eine recht gute Übereinstimmung mit der Bruchprobe ergab.

Eine Besonderheit bei der Spanbildung ist die Aufbauschneide (Schneidenansatz), die vor allem im Scherspanbereich beim Zerspanen zäher, leicht schmierender Werkstoffe durch Verschweißung und Grenzschichtdiffusion feiner Teile des Spans mit der Spanfläche entsteht (RICHTER [6]).

### Geometrie bei der Spanentstehung

Die makrogeometrische Spanverformung ist durch Messung der Spanungsdicke  $h_1$  und der Dicke des ablaufenden Spanes  $h_2$  einfach zu bestimmen.

Die Spanstauchung  $\lambda = h_2/h_1$  stellt ein Maß für das Verformungsverhalten des Werkstoffes beim Zerspanungsvorgang dar. Sie hängt von den gegebenen Schnittbedingungen und den Werkstoffeigenschaften ab und läßt damit als Meßergebnis aus Zerspanungsuntersuchungen Rückschlüsse auf den zerspannten Werkstoff zu.

Der Scherwinkel  $\Phi$  zwischen Schnittbewegungsrichtung und Scher-ebene ergibt sich aus den geometrischen Verhältnissen in Abb. 1 zu  $\text{ctg } \Phi = \frac{\lambda - \sin \gamma}{\cos \gamma}$ . Einen Sonderfall stellt  $\text{ctg } \Phi = \lambda$  bei  $\gamma = 0^\circ$  dar.

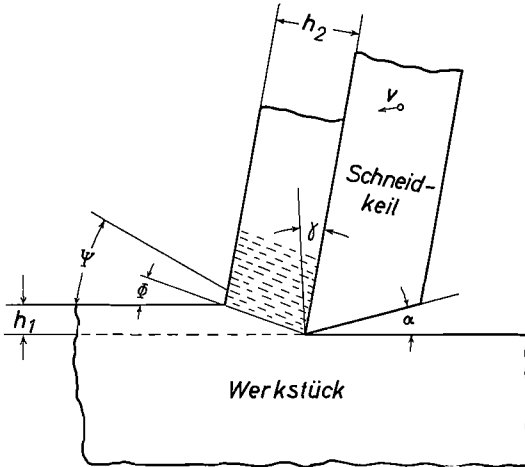


Abb. 1. Orthogonalschnitt

$v$ : Schnittgeschwindigkeit;  $h_1$ : Spanungsdicke;  $h_2$ : Dicke des ablaufenden Spanses;  
 $\alpha$ : Freiwinkel;  $\gamma$ : Spanwinkel;  $\Phi$ : Scherwinkel;  $\Psi$ : Texturwinkel

### Theoretische Untersuchung der Spanbildung

Die theoretische Behandlung der Spanbildung verfolgt das Ziel, den Zerspanungsprozeß, ausgehend von den ursächlichen Zusammenhängen, zu klären und Zerspanungsgrößen in allgemeingültigen Beziehungen darzustellen. Mit Hilfe derartiger Gesetzmäßigkeiten könnte man z. B. die Größe der Schnittkraft rein rechnerisch ermitteln (HUCKS [2]).

Aus der Vielzahl der aufgestellten Theorien haben sich zwei Hauptrichtungen, die Scherplan- und die Scherzonentheorien herauskristallisiert. Erstere basieren auf der vereinfachten Annahme, die Scherzone als Ebene oder leicht gekrümmte Fläche dazustellen (DOHMEN [1] und Intern. Res. . . . [3]).

Bei fast allen Spanbildungstheorien stehen die Scherwinkelbeziehungen im Mittelpunkt der Betrachtung, d. h. der Scherwinkel wird zur Hauptbeurteilungsgröße für den Spanbildungsprozeß. Jede dieser Scherwinkelgleichungen besitzt wegen der getroffenen Voraussetzungen und Vereinfachungen nur eine begrenzte Aussagefähigkeit und hat auch nur für spezielle Zerspanungsfälle Gültigkeit.

Im einfachsten Zerspanungsfall, dem Orthogonalprozeß, hängt die Spanentstehung, gekennzeichnet durch den Scherwinkel, direkt nur von vier Größen ab:

1. dem Wirkungswinkel, der Differenz aus Reibungs- und Spanwinkel,
2. dem Spanwinkel,
3. dem Schiebungswiderstand, einer definierten Schubspannung
4. der Schnittgeschwindigkeit.

Die anderen Faktoren, wie Spannungsdicke, Spannungsbreite, die anderen Winkel am Wirkpaar usw., haben nur indirekt über die vier oben genannten Faktoren einen Einfluß auf die Spanbildung (ZOREW [12]).

#### Zur Entstehung des Films

Die Zerspanungsvorgänge wurden sowohl im Langdrehschnitt mit einem Einstellwinkel  $\alpha = 60^\circ$  als auch im angenäherten Orthogonal-

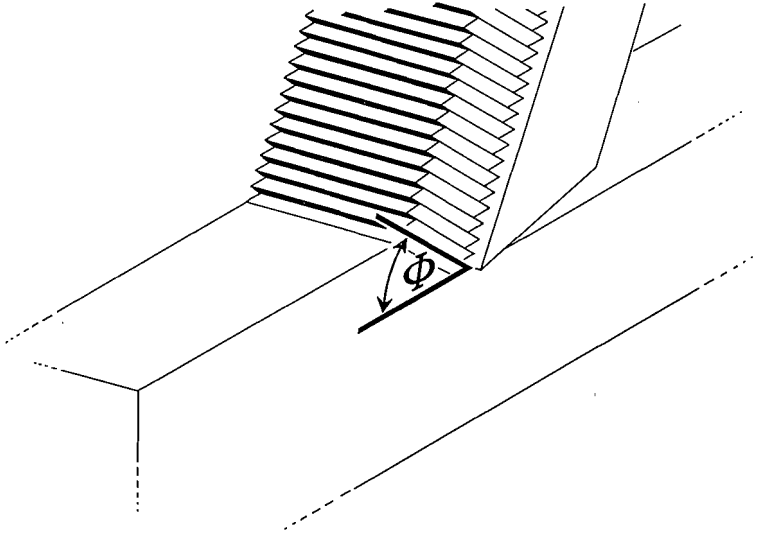


Abb. 2. Reiner Orthogonalprozeß  
(Aus RÖHLKE [7])

schnitt als Rohrstirneinstich aufgenommen. — Der reine Orthogonalprozeß (Abb. 2) ist unter bestimmten Bedingungen beim Hobeln verwirklicht, wenn die Spannungsbreite kleiner als die Schneidenlänge ist, und kann beim Drehen durch Einstechen einer schmalen Scheibe (Abb. 3a) oder durch einen Rohrstirneinstich (Abb. 3b) angenähert werden. Der Orthogonalschnitt bietet allgemein den Vorteil eines Schnittes ohne Nebenschneideneinfluß und ermöglicht auch beim Drehen unter Vernachlässigung der Werkstückdurchmesseränderung über der Spannungsbreite eine zweidimensionale Darstellungsweise.

Als Versuchseinrichtung diente eine Universal-Drehmaschine<sup>1</sup> mit einem dem Räderkasten vorgeschalteten Verstellgetriebe zur stufenlosen Drehzahlverstellung, eine Hochfrequenz-Kamera (Fastax) auf einem gesonderten Stativ und ein Beleuchtungssystem von zehn 750-W-Spiegellampen und einer zusätzlichen Kohlebogenlampe für 2,5 mm Bildfeldbreite (WIEBACH [10]).

Beim Langdrehschnitt war die Kamera mit ihrer Aufnahmerichtung horizontal auf die Schneidenspitze ausgerichtet und um 15° gegen die Hauptschneidenrichtung versetzt aufgestellt. Beim Orthogonal-Schnitt stimmten Aufnahmerichtung und Hauptschneidenrichtung überein.

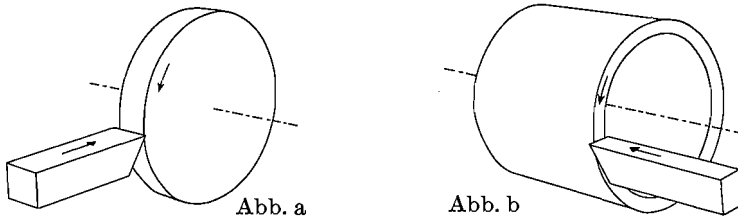


Abb. 3. Angenäherte Orthogonalprozesse  
 a: Abdrehen einer Scheibe;      b: Stirndrehen eines Rohres  
 (Nach RÖHLKE [7])

### Technologische Angaben

*Werkstück:* Thermoplast PVC hart (Polyvinylchlorid hart); Zugfestigkeit  $\sigma_B = 5$  bis 6 kp/mm<sup>2</sup>. Verwendung: Rohre nach DIN 8061 und 8062, Weiterverarbeitung verschiedener Halbzeuge.

*Werkzeuge:* 1. rechter, gebogener Drehmeißel nach DIN 4972; 2. rechter, abgesetzter Seitendrehmeißel nach DIN 4980, jedoch Spanwinkel 10°; Zerspanungs-Anwendungsgruppe nach DIN 4990: K 10.

### Filmbeschreibung

*Langdreh-Schnitt*

*Einstellwinkel  $\kappa = 60^\circ$*

*$24 B/s^2$*

Die Übersichtsaufnahme mit normaler Ablaufgeschwindigkeit zeigt das bekannte Bild beim Längsdrehen eines glatten, zylindrischen Werk-

<sup>1</sup> Der Firma HEIDENREICH & HARBECK, Hamburg, die für die Untersuchungen eine geeignete Maschine (VDF-Modell 18 RO) zur Verfügung stellte, sei an dieser Stelle besonders gedankt.

<sup>2</sup> Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film.

stückes. Der Span fließt unter etwa  $45^\circ$  als praktisch endloser Bandspan ab.

$$\begin{aligned} \text{Schnittgeschwindigkeit } v &= 250 \text{ m/Min.} \\ \text{Spanndicke}^1 h &= 0,28 \text{ mm; Spanwinkel } \gamma = 10^\circ \\ &8000 \text{ B/s; Bildfeldbreite } 20 \text{ mm} \end{aligned}$$

Die Lupenaufnahme mit 330facher Zeitdehnung zeigt die Spanentstehungsstelle mit dem ablaufenden Span im einzelnen. Der typische Fließspan ohne sichtbare Lamellenstruktur hat die Form eines Bandes, das von der Wirkstelle mit einer Wellenbewegung abfließt.

#### *Orthogonal-Schnitt*

*24 B/s*

Die Übersichtsaufnahme mit normaler Bildgeschwindigkeit zeigt den Orthogonal-Schnitt beim Stirndrehen eines Rohres. Der glatt abfließende, endlose Bandspan steigt steil nach oben.

$$\begin{aligned} v &= 125 \text{ m/Min.; } h = 0,28 \text{ mm; } \gamma = 10^\circ \\ &8000 \text{ B/s; Bildfeldbreite } 25 \text{ und } 5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Die Lupenaufnahmen mit 330facher Zeitdehnung zeigen die Spanentstehungsstelle mit Schneidkeil, Werkstück und Span als Einzelheit. Der Vorgang stellt mit dem Anschneiden das bis zur eingestellten Vorschubgröße allmähliche Eindringen des Schneidkeils in das Werkstück dar. Der durchsichtig scheinende Anschnittspan fließt als wedelndes Band ab. Bei 5 mm Bildfeldbreite wird die starke Spanbiegung als Ursache für den Steilanstieg des ablaufenden Spanes deutlich sichtbar, damit verbunden ist eine kurze Berührung zwischen Werkzeug und Span. Die Vordrehritzen auf dem Werkstück gehen wegen der fehlenden Lamellenstruktur dieses typischen Fließspanes unverändert auf die Spanseitenfläche über. Dabei fehlt infolge des fließenden Überganges vom Werkstück zum Span ein gut markiertes Schergebiet. Eine Spanstauchung kann nicht festgestellt werden, da die Dicke des ablaufenden Spanes etwa der Spanungsdicke entspricht, d. h. die Auswertung der Spanstauchung ergibt einen Wert um 1.

$$\begin{aligned} v &= 250 \text{ m/Min.} \\ \text{Bildfeldbreite } &25 \text{ mm} \end{aligned}$$

Die Spanabflußrichtung liegt zur Horizontalen unter einem Winkel von  $30^\circ$  bis  $45^\circ$ . Der kontinuierliche Fließspan hat die Form eines endlosen Bandes, dessen Welligkeit einen weichen Werkstoff verrät. Mit zu-

<sup>1</sup> Nach DIN 6580: Spanungsdicke.

nehmender Spannungsdicke wird die Spannbildung ungleichmäßiger und damit die Welligkeit unruhiger.

### Literatur und Filmveröffentlichungen

- [1] DOHMEN, H. G.: Zusammenfassung und Vergleich der zerspanungsmechanischen Theorien. *Industrie-Anzeiger* 87, 43 (1965), 839—844.
- [2] HUCKS, H.: Plastizitätsmechanische Grundlagen und Kenngrößen der Zerspanung. Diss. TH Aachen 1951.
- [3] International research in production engineering. ASME, New York 1963.
- [4] KIENZLE, O., und H. VICTOR: Spezifische Schnittkräfte bei der Metallbearbeitung. *Werkstattstechnik und Maschinenbau* 47, 5 (1957), 224—225.
- [5] RICHTER, A.: Spanende Formung (1. Lehrbrief). Lehrbriefe für das Fernstudium an der TH Dresden. Berlin 1951.
- [6] RICHTER, A.: Grundlagen der Abspanlehre. Aus: „Hütte“, Taschenbuch für Betriebsingenieure, Bd. 1, 6. Aufl. Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin-München 1964.
- [7] RÖHLKE, G.: Zur Mechanik des Zerspanvorganges. *Werkstatt und Betrieb* 91, 8 (1958), 473—483.
- [8] ROSENHAIN, W., und A. C. STURNEY: Report on flow and rupture of metals during cutting. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineering Cutting Tools Research Committee* 1 (1925), 141—174.
- [9] SCHALLBROCH, H., und H. BETHMANN: Kurzprüfverfahren der Zerspanbarkeit. Teubner, Leipzig 1950.
- [10] WIEBACH, H.-G.: Beitrag zur Untersuchung des Zerspanvorganges mit Hilfe fotografischer Methoden. *Werkstattstechnik* 55, 3 (1965), 128—133.
- [11] WIEBACH, H.-G.: Untersuchung der Werkzeugbeanspruchung beim Drehen von Stahl mit kleinen Spannungsdicken. Diss. TH Hannover 1966.
- [12] ZOREW, N. N.: Der Einfluß der Grundfaktoren auf den Spanbildungsprozeß. *Industrie-Anzeiger* 81, 20 (1959), 294—298.
- [13] WIEBACH, H.-G.: Schnittvorgang im Feingefüge von Stahl bei kleinen Spanndicken. Film B 885 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1965.



## **Angaben zum Film**

Der Film ist ein Forschungsdokument und wurde zur Auswertung in Forschung und Hochschulunterricht veröffentlicht.  
Stummfilm, schwarzweiß, 47 m, 4 1/2 min (Vorführgeschw. 24 B/s).

Der Film wurde im Jahre 1964 vom Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. G. WOLF), aufgenommen; Sachbearbeitung: Dr. G. BEKOW, Aufnahme: K. NOWICK. Wissenschaftliche Leitung: Dipl.-Ing. H.-G. WIEBACH, Institut für spanende Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik der Technischen Hochschule Hannover.

## **Inhalt des Films**

Der Film zeigt den Zerspanungsprozeß beim Drehen von PVC hart mit hartmetallbestückten Werkzeugen. Die Werkstückprobe wurde im Langdreh- und Orthogonal-Schnitt unter den betriebsüblichen  $v_{60}$ -Bedingungen mit verschiedenen Schnittgeschwindigkeiten zerspannt, und der Vorgang wurde in jeweils einer Übersichtsaufnahme mit normaler Bildgeschwindigkeit und in Lupenaufnahmen mit 330facher Zeitdehnung gefilmt. Praktisch endlose, ungestauchte Bandspäne ohne sichtbare Lamellenstruktur kennzeichnen die Spanbildung bei diesem Werkstoff.

## **Summary of the Film**

The film shows the machining process during the turning of hard PVC with carbide tipped tools. The work sample was machined longitudinally and vertically under normal  $v_{60}$  conditions with various cutting speeds, and the process was filmed both at normal speed and under magnification in slow motion. Practically continuous, free-flowing ribbon cuttings without visible lamination characterize the cutting formation of this material.

## **Résumé du Film**

Le film montre le processus d'enlèvement de copeaux lors du tournage de chlorure de polyvinyle dur avec des outils à plaquette de métal dur. L'échantillon de la pièce d'œuvre a été travaillé suivant la coupe longitudinale et orthogonale dans les conditions d'usage  $v_{60}$  à des vitesses de coupe différentes et le processus a été filmé d'une part par une vue d'ensemble à vitesse d'images normale et d'autre part par des prises de vues à la loupe avec un ralenti prononcé. Des copeaux pratiquement illimités, non refoulés et sans structure lamellaire visible, caractérisent cette matière première.