

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

*Wissenschaftlicher Film C 1012/1968*

**Die Spanbildung beim Drehen von Stahl**

Begleitveröffentlichung von

Dr.-Ing. H.-G. WIEBACH, Hannover

GÖTTINGEN 1969



## Die Spanbildung beim Drehen von Stahl<sup>1</sup>

H.-G. WIEBACH, Hannover

### Allgemeine Vorbemerkungen

Bei der notwendigen Aufgliederung des Begriffes „Zerspanbarkeit“ in einzelne Beurteilungsfaktoren (Standzeit, Energie, Oberflächengüte, Spanbildung) (SCHALLBROCH u. BETHMANN [2]) spielt die Spanbildung eine wesentliche Rolle, da sie auf die anderen genannten Faktoren unmittelbar einwirkt.

Bei der Spanbildung kann in zwei Betrachtungspunkte gegliedert werden;

einmal in die entstehende makrogeometrische Spanform, die z. B. das Arbeitsspiel bei automatisch arbeitenden Maschinen beeinflusst; zum anderen in den Spanwurzelvorgang, der z. B. Fragen der Spanstauchung, des Scherwinkels und der Spanwurzelerformung einschließt.

Mit Hilfe von Filmaufnahmen lassen sich diese Vorgänge bei einer großen Zahl vorkommender Zerspanungsfälle mit genügender Genauigkeit aufzeichnen.

Im Rahmen der ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAFICA ist im Jahre 1964 eine Reihe von Filmen<sup>2</sup> über die „Spanbildung beim Drehen“ hergestellt worden. Dabei wurde eine Auswahl von häufig zerspannten Werkstoffen bei praxisüblichen Bedingungen, der Stahl C 45 W 3 bei Veränderung einiger wichtiger Schnittbedingungen zerspannt. Der Vorgang wurde mit Normalfrequenz und geeigneter Zeitdehnung gefilmt.

Neben Langdrehschnitten mit Nebenschneideneingriff wurden angenäherte Orthogonalschnitte als Stirnschnitte am Rohr mit Anschnittvorgang aufgenommen, um einen möglichst allgemeinen Zerspanungsfall zugrunde zu legen.

Diese Filmreihe „Spanbildung beim Drehen“ erfaßt damit in bezug auf die Spanbildung den gegenwärtigen Stand der Zerspannung mit

<sup>1</sup> Angaben zum Film und Filminhalt (deutsch, englisch, französisch) s. S. 10 und 11.

<sup>2</sup> Siehe Filmveröffentlichungen S. 9.

Hartmetallschneiden und stellt eine geeignete Ausgangsbasis für weitere detaillierte Untersuchungen der Spanwurzelvorgänge dar.

Ein Teil dieser Aufnahmen (WIEBACH [5] bis [8]) eignet sich für den Hochschulunterricht zur Erläuterung einiger wesentlicher Zerspanungsphänomene. Diese Aufnahmen sind im vorliegenden Unterrichtsfilm zusammengestellt.

#### **Versuchsmaschine**

VDF-Spitzendrehmaschine 18 RO mit stufenlos verstellbarer Hauptspindeldrehzahl durch Kombination von Stufen- und PIV-Lamellenge triebe.

#### **Werkstückstoffe**

Stahl C 45 W 3 (Werkstoff-Nr. 1.1730 nach DIN 17007)

Stahl 16 MnCr 5 (nach DIN 17210)

#### **Werkzeuge**

Hartmetallbestückte Drehmeißel, arbeitsscharf.

Hartmetallsorte P 20 (Titanit STi 20 — DEW Krefeld).

Schneidenwinkel: Spanwinkel  $\gamma = 12^\circ$  (falls keine anderen Angaben gemacht werden.) Freiwinkel  $\alpha = 6^\circ$

#### **Aufnahmeeinrichtung**

Hochfrequenzkamera System Fastax; Spiegellampen-Beleuchtung; bei einigen Aufnahmen wurde eine zusätzliche Kohlebogenlampe verwendet; max. Beleuchtungsstärke  $4 \times 10^6$  Lux. Eine ausführliche Beschreibung der Versuchseinrichtung ist bei WIEBACH [3] vorgenommen worden.

### **Erläuterungen zum Film<sup>1</sup>**

#### *Langdrehschnitt<sup>2</sup>*

Die meisten Stähle sind langspanende Werkstoffe. Beim Drehen, dem am häufigsten angewendeten Zerspanverfahren, erscheint der ablaufende Span dem Betrachter als glattes Band. Je nach den geometrischen Schnittbedingungen entstehen Band-, Wirr- oder Wendelspane.

---

<sup>1</sup> Die kleingedruckten Abschnitte entsprechen dem Wortlaut des im Film gesprochenen Kommentars.

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

### 330fache Zeitdehnung (Aufnahmefrequenz 8000 B/s)

Bildfeldbreite 10 mm, Schnittgeschwindigkeit  $v = 90$  m/min, Vorschub  $s = 0,8$  mm/U, Schnitttiefe  $a = 2$  mm, Einstellwinkel  $\alpha = 60^\circ$ , Neigungswinkel  $\lambda = 4^\circ$ .

Die Zeitdehneraufnahme eines Ausschnitts von etwa 10 mm Breite läßt erkennen, daß der abzunehmende Werkstoff auf der Spanfläche des Werkzeugs gestaucht wird. Dabei bilden sich an der Spanwurzel gegeneinander verschobene dünne Lamellen. Der Span besitzt deshalb seitlich und oben eine raue Oberfläche.

Die Spannungsdicke beträgt hier 0,8 mm, die Dauer des gezeigten Vorganges etwa 1/10 s.

### Orthogonalschnitt

Für Grundlagenuntersuchungen ist der Orthogonalschnitt als einfachster Zerspanungsfall am besten geeignet. —

Beim reinen Orthogonalschnitt ist die Relativbewegung zwischen Werkstück und Werkzeug geradlinig, und die Spanabnahme wird ausschließlich durch die Hauptschneide bewirkt.

Die Spannungsbreite muß also kleiner als die Hauptschneidenlänge gewählt werden.

Während des Zerspanungsvorganges gleiten die Lamellen, die an der Spanwurzel bei der Stauchung des abzunehmenden Werkstoffes entstehen, in einer Scherebene ab.

Die Größe des Scherwinkels  $\Phi$ , den die Scherebene mit der Schnitt- richtung bildet, hängt von den Eigenschaften des Werkstoffes und den Schnittbedingungen ab.

Der Orthogonalschnitt kann durch einen Drehvorgang angenähert werden, z. B. durch Abdrehen einer Scheibe — oder durch Stirndrehen eines Rohres mit einem Einstellwinkel von  $90^\circ$ .

In beiden Fällen hat die Schnittfläche einen endlichen Radius, doch ist die Abweichung gegenüber dem reinen Orthogonalschnitt bei genügend großem Durchmesser der Werkstücke gering. Während sich aber an der Scheibe die Schnittgeschwindigkeit bei konstanter Drehzahl ständig verringert, bleibt sie am Rohr konstant.

Die Vorgänge sind als angenäherte Orthogonalschnitte beim Abdrehen eines Rohres aufgenommen worden. Der Rohrdurchmesser betrug ca. 120 mm, die Rohrwanddicke ca. 4 mm. Nach einer Übersichtsaufnahme in Normalfrequenz sind bei unterschiedlichen Zeitdehnungen die Schnittbedingungen verändert worden.

Bei allen Orthogonalschnitten war der Einstellwinkel  $\alpha = 90^\circ$  und der Neigungswinkel  $\lambda = 0^\circ$ .

Hier das Abdrehen eines Rohres.

Nach Bildung einer kleinen Spirale beim Anschnitt läuft der Span als Wendel ab. Stößt der Wendelspan auf das Maschinenbett auf, so wird der Ablauf beeinflusst, und es entsteht ein Wirrspan.

### *330fache Zeitdehnung*

*(8000 B/s)*

Der gezeigte Einstichvorgang durchläuft den Spannungsdickenbereich von 0...0,8 mm.

Bildfeldbreite 5 mm, Schnittgeschwindigkeit  $v = 90$  m/min.

Die Zeitdehnung läßt das Entstehen der Spirale beim Anschnitt gut verfolgen.

Während des Einstichvorganges nimmt die Dicke der abgehobenen Schicht, d. h. die Spannungsdicke, stetig zu. Das Stauchverhältnis — das ist der Quotient von Dicke des ablaufenden Spanes zu Dicke der abgehobenen Schicht — wird dabei kleiner, und gleichzeitig wächst der Scherwinkel.

Am Span erkennt man jetzt auch die Lamellenorientierung in Scherebenenrichtung.

Das Abknicken der Drehrillen des Werkstückes beim Einlaufen in den Spanwurzelbereich läßt auf einen Verformungsvorlauf im Werkstück schließen.

### *Auflösung des Feingefüges in der Spanwurzel* *Geringe Schnittgeschwindigkeit ( $v = 0,01$ m/min)*

*Bildfeldbreite 400  $\mu$ m — 2fache Zeitdehnung (48 B/s)*

Werkstoff 16 MnCr 5, Spannungsdicke  $h = 50\mu\text{m}$ , Spanwinkel  $\gamma = 0^\circ$ . Durch die geringe zur Verfügung stehende Fokustiefe bei mikroskopischer Betrachtung ist eine Einebnung des Vorganges an einer Glasplatte erforderlich.

Nähere Einzelheiten dieser Versuchsmethode sind in [3] und [4] beschrieben.

Im kristallinen Feingefüge des Werkstoffes, das hier durch Polieren und Ätzen sichtbar gemacht und unter dem Mikroskop aufgenommen wurde, zeigt sich an der Spanwurzel eine starke Verformung während der Spanbildung.

Man sieht ferner besonders deutlich den Verformungsvorlauf im abzunehmenden Werkstoff und auch eine Beeinflussung der tieferen Gefügeschichten senkrecht zur Schnitttrichtung.

Im ablaufenden Span sind die Lamellen, die bei der Stauchung des Werkstoffes aus den Kristalliten entstehen, ebenfalls klar zu erkennen.

### *Einfluß der Schnittgeschwindigkeit*

$$v = 4 \text{ m/min}$$

$$\text{Spanwinkel } \gamma = 12^\circ$$

*33fache Zeitdehnung (800 B/s)*

Bildfeldbreite 2,5 mm, Spanungsdicke  $h = 0,2$  mm

Bei kleiner Schnittgeschwindigkeit ist die Spanbildung nicht ganz kontinuierlich. Das Ergebnis ist ein Scherspan. — Seine Oberfläche ist stark zerklüftet.

Manchmal entstehen relativ große Spanelemente, deren Zusammenhalt weniger fest ist.

Gelegentlich bildet sich auch eine Aufbauschneide.

$$v = 90 \text{ m/min}$$

*330fache Zeitdehnung (8000 B/s)*

Bildfeldbreite 5 mm, Spanungsdicke  $h = 0,4$  mm

Eine höhere Schnittgeschwindigkeit unter sonst unveränderten Zerspanungsbedingungen bewirkt die Bildung gleichmäßig feiner Spanlamellen. Es entsteht ein kontinuierlicher Fließspan.

Aufbauschneiden treten nicht mehr auf.

Bei den folgenden drei Aufnahmen mit Spanwinkel  $+20^\circ$ ,  $0^\circ$  und  $-20^\circ$  beträgt die Bildfeldbreite 2,5 mm, die Spanungsdicke  $h = 0,2$  mm.

### *Einfluß des Spanwinkels*

$$\gamma = +20^\circ$$

$$v = 30 \text{ m/min}$$

*290fache Zeitdehnung (7000 B/s)*

Bei großen Spanwinkeln ist die Spanstauchung relativ gering. Spanbildung und Spanablauf werden begünstigt; Aufbauschneiden entstehen auch bei relativ niedrigen Schnittgeschwindigkeiten kaum noch. Ein größerer Spanwinkel erfordert infolgedessen weniger Schnittkraft. Aber der Meißel ist wegen des kleineren Keilwinkels weniger stabil und die Wärmeableitung schlechter, so daß die thermische Anfälligkeit der Schneide erhöht ist.

$$\gamma = 0^\circ$$

Je kleiner der Spanwinkel ist, desto stärker wird der Span gestaucht und läuft mit entsprechend geringerer Geschwindigkeit ab. Damit wird die Bildung von Aufbauschneiden begünstigt.

Die anwachsende Aufbauschneide vergrößert die wirksame Spanungsdicke, wie man deutlich an der Veränderung des Freiwinkelspaltes erkennt.

Sie wird schließlich instabil und wandert über Span- und Freifläche ab. Aber schon bald bildet sich eine neue Aufbauschneide. Dieser Mechanismus führt zu Schwankungen der Schnittkraft und einer ungleichmäßigen Oberflächengüte am Werkstück.

$$\gamma = - 20^\circ$$

Mit negativen Spanwinkeln erreicht man zwar eine wesentlich höhere Stabilität des Werkzeugs, aber die Verformung im Spanwurzelbereich, die Spanstauchung und auch die Bildung von Aufbauschneiden nehmen erheblich zu. Die Folge ist eine stark diskontinuierliche Spanbildung und eine entsprechend raue Oberfläche des Werkstücks.

Die hierbei recht stabile Aufbauschneide vergrößert den wirksamen Spanwinkel und wird kaum vollständig abgelöst. Sie erniedrigt aber auch die mittlere Schneidentemperatur mitunter beträchtlich, da der ablaufende Span gar nicht oder nur wenig mit der eigentlichen Werkzeugschneide in Berührung kommt.

$$\begin{aligned} \gamma &= - 20^\circ \\ v &= 90 \text{ m/min} \end{aligned}$$

Bildfeldbreite 5 mm, Spanungsdicke  $h = 0,2$  mm

Durch eine Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit läßt sich auch mit negativen Spanwinkeln eine Aufbauschneide vermeiden und die Bildung eines normalen Fließspanes erreichen.

Die Spanstauchung und damit die Verformung in der Spanbildungszone bleiben dabei nahezu unverändert. Die Spanablaufgeschwindigkeit ist dementsprechend gering. Aber am Werkstück ist das Bearbeitungsergebnis merklich verbessert.

Die Fragen der Spanbildung bei negativen Spanwinkeln gewinnen mit zunehmendem Einsatz von Hartmetall- und Oxydkeramik-Wendeplatten an Bedeutung.

Bei Wendeplatten mit  $90^\circ$ -Keilwinkel ergeben sich zwangsläufig negative Spanwinkel. Eine bestimmte Mindestschnittgeschwindigkeit ist zur Erzielung aufbauschneidenloser Schnitte und damit verbundener ausreichender Oberflächengüte erforderlich.

### Literatur und Filmveröffentlichungen

- [1] RÖHLKE, G.: Zur Mechanik des Zerspanvorganges. Z. Werkstatt und Betrieb **91** (1958), 473—483.
- [2] SCHALLBROCH, H., und H. BETHMANN: Kurzprüfverfahren der Zerspanbarkeit. Leipzig, Teubner-Verlagsgesellschaft, 1950.
- [3] WIEBACH, H.-G.: Beitrag zur Untersuchung des Zerspanvorganges mit Hilfe fotografischer Methoden. Z. Werkstattstechnik **55** (1965), 128—133.
- [4] WIEBACH, H.-G., und G. HUMMEL: Mikrokinematographische Studien über das Zerspanen von Metallen. Research Film **5**, Nr. 5, (1966), 501—509.



- [5] WIEBACH, H.-G.: Schnittvorgang im Feingefüge von Stahl bei kleinen Spandicken. Film B 885 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1965.
- [6] WIEBACH, H.-G.: Zerspanen von Stahl C 45 W 3 — Spannbildung beim Drehen; Variation der Spandicke. Film E 808 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1965.
- [7] WIEBACH, H.-G.: Zerspanen von Stahl C 45 W 3 — Spannbildung beim Drehen; Variation der Schnittgeschwindigkeit. Film E 765 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1965.
- [8] WIEBACH, H.-G.: Zerspanen von Stahl C 45 W 3 — Spannbildung beim Drehen; Variation des Spanwinkels. Film E 809 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1965.
- [9] WIEBACH, H.-G.: Zerspanen von Stahl MRSt 37-2 — Spannbildung beim Drehen. Film E 803 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1965.
- [10] WIEBACH, H.-G.: Zerspanen von Stahl 9 S 20 K — Spannbildung beim Drehen. Film E 756 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1965.
- [11] WIEBACH, H.-G.: Zerspanen von Stahl 100 Cr 6 — Spannbildung beim Drehen. Film E 758 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1965.
- [12] WIEBACH, H.-G.: Zerspanen von Stahl 30 CrNiMo 8 — Spannbildung beim Drehen. Film E 757 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1965.
- [13] WIEBACH, H.-G.: Zerspanen von Stahl X 10 CrNiTi 18 9 — Spannbildung beim Drehen. Film E 759 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1965.
- [14] WIEBACH, H.-G.: Zerspanen von Stahlguß GS 45 — Spannbildung beim Drehen. Film E 804 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1965.
- [15] WIEBACH, H.-G.: Zerspanen von Gußeisen GGL-20 — Spannbildung beim Drehen. Film E 760 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1965.
- [16] WIEBACH, H.-G.: Zerspanen von Gußeisen GGG-50 — Spannbildung beim Drehen. Film E 763 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1965.
- [17] WIEBACH, H.-G.: Zerspanen von Temperguß GTW-35 — Spannbildung beim Drehen. Film E 761 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1965.
- [18] WIEBACH, H.-G.: Zerspanen von Temperguß GTS-35 — Spannbildung beim Drehen. Film E 762 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1965.
- [19] WIEBACH, H.-G.: Zerspanen von Messing Ms 58 F 51 — Spannbildung beim Drehen. Film E 764 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1965.
- [20] WIEBACH, H.-G.: Zerspanen der Aluminium-Legierung AlCuMgPb — Spannbildung beim Drehen. Film E 788 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1965.
- [21] WIEBACH, H.-G.: Zerspanen der Aluminium-Legierung G-AlSi 12 CuNi — Spannbildung beim Drehen. Film E 787 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1965.
- [22] WIEBACH, H.-G.: Zerspanen von Polyamid 6 — Spannbildung beim Drehen. Film E 805 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1965.
- [23] WIEBACH, H.-G.: Zerspanen von Polyvinylchlorid hart — Spannbildung beim Drehen. Film E 806 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1965.
- [24] WIEBACH, H.-G.: Zerspanen von Vulkanfaser Typ Vf 3110 — Spannbildung beim Drehen. Film E 807 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1965.

## Angaben zum Film

Der Film ist für die Verwendung im Hochschulunterricht bestimmt.

Tonfilm, schwarzweiß, 118 m, 11 min (Vorführgeschw. 24 B/s).

Die Filmaufnahmen entstanden in den Jahren 1964 und 1968 durch das Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. G. WOLF), Sachbearbeitung: Dr. G. BÉKOW, Aufnahme: K. NOWIGK, Ing. G. HUMMEL. Wissenschaftliche Leitung: Dipl.-Ing. H.-G. WIEBACH, Institut für spanende Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik der Technischen Universität Hannover.

## Inhalt des Films

Der Film demonstriert und erläutert den Vorgang der Spanentstehung beim Drehen von Stahl mit Hartmetallmeißeln. Zunächst wird der Langdrehschnitt mit Nebenschneideneingriff bei Stahl C 45 W 3 in Normalfrequenz und Zeitdehneraufnahmen gezeigt. Ausführlich behandelt der Film dann den angenäherten Orthogonalschnitt (Stirnschnitt am Rohr). Eine Zeichendarstellung des Schnittvorgangs an der Spanwurzel erläutert die Entstehung der Spanlamellen, die unter einem Scherwinkel abgleiten. In einer Mikroaufnahme der Zerspanung von Stahl 16 MnCr 5 mit geringer Schnittgeschwindigkeit wird die Verformung des kristallinen Gefüges, die Lamellenbildung, die Spanstauchung sowie der Verformungsvorlauf im abzunehmenden Werkstoff deutlich sichtbar. Abschließend wird die Beeinflussung der Spanbildung durch Veränderung von Schnittgeschwindigkeit und Spanwinkel in Zeitdehneraufnahmen mit 800 bis 8000 B/s demonstriert. Niedrige Schnittgeschwindigkeiten führen zu diskontinuierlicher Spanbildung. Kleine und besonders negative Spanwinkel erhöhen die Verformung an der Spanwurzel und begünstigen die Entstehung von Aufbauschnitten.

## Summary of the Film

The film demonstrates and explains the process of chip formation when turning steel with carbide cutting tools. Additionally, longitudinal machining of C 45 W 3 steel by a traversing cutter is shown at normal frequency and in slow motion. The film then deals in detail with an approximately orthogonal cut (a transverse section through a tube). An animated drawn film sequence of the cutting process at the chip root explains the formation of chip lamellae, which slide off under the angle of shear. In a photomicrographic shot of the machining of 16 MnCr 5 steel at a low cutting speed, the deformation of the crystalline structure, formation of lamellae and throwing up of chips are all clearly visible, as is the progress of shaping the material being machined. Finally, the influence on chip formation of alterations in cutting speed and angle of cut is demonstrated by slow motion sequences taken at 800 and 8000 frames per second. Low cutting speeds give rise to the formation of discontinuous chips. Small and particularly negative angles of cut increase the deformation at the chip root and promote the formation of build-up edges.

## Résumé du Film

Le film démontre et explique le processus de la formation de copeaux lors du tournage d'acier avec des outils en métal dur. On peut voir d'abord, à fréquence normale et au ralenti, la coupe longitudinale avec prise de tailant secondaire dans le cas d'acier C 45 W 3. Le film traite ensuite en détail de la coupe orthogonale approchée (coupe frontale au tube). Un dessin animé représentant la découpe à la racine du copeau explique la formation des lamelles de copeaux qui tombent en glissant sous un angle de cisaillement. Une vue micrographique de la découpe d'acier 16 MnCr 5 à faible vitesse de coupe montre nettement la déformation de la structure cristalline, la formation de lamelles, le refoulement du copeau et l'évolution de la déformation dans le matériau à enlever. Le film démontre ensuite le moyen d'influencer la formation de copeaux par modification de la vitesse de coupe et de l'angle par modification de la vitesse de coupe et de l'angle de dépouille à l'appui de vues au ralenti (800 à 8000 images/s). De basses vitesses de coupe conduisent à une formation discontinue de copeaux. Des angles de dépouille petits et particulièrement négatifs augmentent la déformation à la racine du copeau et favorisent la formation de coupe de structure.