

ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAFICA

Editor: G. WOLF

E 2053/1974

Zerspanen von Kalisalzgestein Variation der Schnitttiefe und Schnittgeschwindigkeit

Mit 5 Abbildungen

GÖTTINGEN 1975

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

Film E 2053

Zerspanen von Kalisalzgestein Variation der Schnitttiefe und Schnittgeschwindigkeit

V. LANGLOTZ, Clausthal

Allgemeine Vorbemerkungen¹

Allgemeines zum Bruchverhalten der Gesteine

Das Bruchverhalten der Gesteine beim Zerspanungsprozeß wird geprägt durch Meißelgeometrie, Schnittbedingungen und Festigkeitsverhalten des betreffenden Gesteins. Meißelgeometrie und Schnittbedingungen können als konstante Größen vorgegeben werden. Das Festigkeitsverhalten dagegen ist beeinflussbar durch die Schnittgeschwindigkeit.

Bei der Analyse des Bruchverhaltens von oberflächennahen Gesteinen unter den Bedingungen der mechanischen Zerspanung gehen die meisten Autoren von einem spröde-elastischen Festigkeitsverhalten aus (NISHIMATSU [4], RIX [6]). Dabei wird vereinfachenderweise vorausgesetzt, daß

1. das Festigkeitsverhalten unabhängig ist von der Schnittgeschwindigkeit und
2. der Bruch als Spröbruch ohne plastische Formänderung auftritt.

Jedoch ergaben Schnittkraftmessungen an Kohle (GREGOR [2]) und Salz (LANGLOTZ [3]), daß unter sonst gleichen Schnittbedingungen mit steigender Schnittgeschwindigkeit höhere Schnittkräfte auftraten. Es kann folglich davon ausgegangen werden, daß sich das Gefüge des Gesteins

¹ Angaben zum Film und kurzgefaßter Filminhalt (deutsch, englisch, französisch) s. S. 10 u. 11.

mit zunehmender Belastungsgeschwindigkeit (Schnittgeschwindigkeit) versteift und verfestigt. Dadurch erhöht sich der Widerstand, den das Gestein dem Schneidwerkzeug entgegensetzt. Auch aufgrund von ein- und mehraxialen Druckversuchen, durchgeführt an Salzproben bei verschiedenen Belastungsgeschwindigkeiten, erhielt

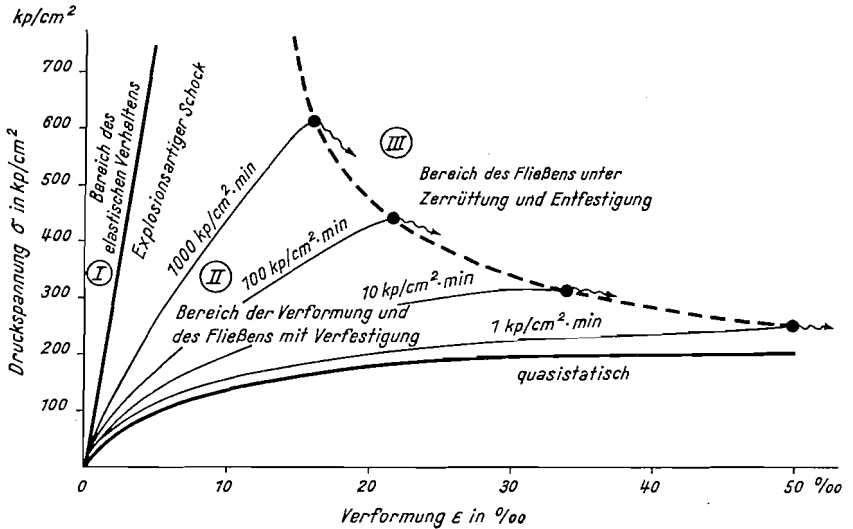


Abb. 1. Verformungs-, Verfestigungs- und Bruchverhalten von Salzgestein unter einaxialer Druckbeanspruchung und verschiedenen Belastungsgeschwindigkeiten

man Hinweise auf ein unterschiedliches Festigkeitsverhalten von Salzgestein (DREYER [1], PFORR u. ROSETZ [5]). Danach verhält sich Salz bei schockartiger Lastaufgabe elastisch, zeigt aber andererseits ausgeprägtes Fließverhalten bei quasistatischer Belastung. Dazwischen liegt ein mehr oder weniger großer Bereich mit elastischen und plastischen Formänderungsanteilen (Abb. 1).

Die Einordnung des Zerspanungsprozesses in dieses Schema ist umstritten. Offenbar muß auch beim Zerspanungsprozeß, der sich im Bereich der schockartigen Belastung abspielt, mit dem Auftreten plastischer Formänderung gerechnet werden.

Der Film sollte Aufschluß darüber geben, wie der Vorgang der Bruchbildung und Spanentstehung unter unterschiedlichen Schnittbedingungen abläuft und ob und in welchem Umfange dabei Erscheinungen der plastischen Formänderung auftreten können.

Zur Entstehung des Films

Für die Aufnahmen stand die Versuchseinrichtung des Bohrstandes des Instituts für Bergbaukunde und Bergwirtschaft, TH Clausthal, zur Verfügung. Die Versuchseinrichtung besteht aus einer Plandrehzscheibe von 2 m Durchmesser, durch die das darauf befestigte Material rotiert

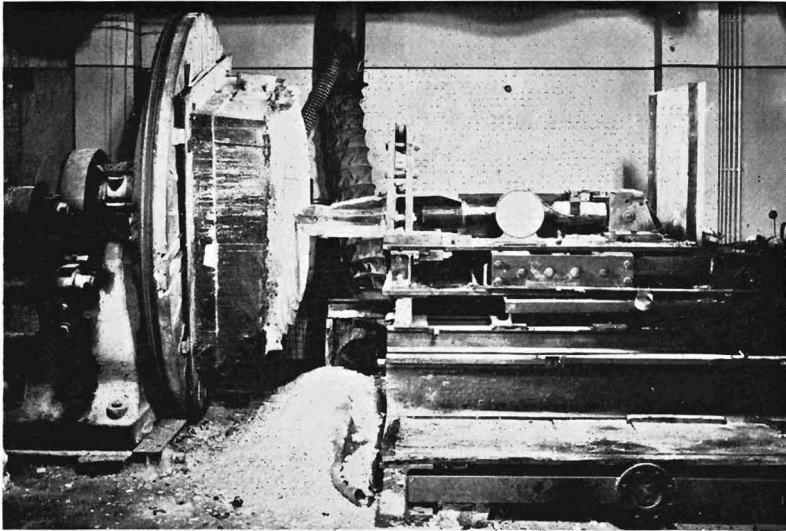


Abb. 2. Versuchsabstand mit Plandrehzscheibe (links) und Meißelhalter (rechts)

wurde, und dem in axialer und radialer Richtung hin verschiebbaren Support mit dem Schneidwerkzeugträger.

Die Aufnahmen wurden im Orthogonalschnitt bei radialem Vorschub des Schneidwerkzeuges gemacht (Plandrehen). Die Schnittgeschwindigkeit lag bei 1,5, 0,6 und 0,35 m/s. Als Schnittiefen wurden 3,6, 8, 12 und 20 mm eingestellt. Die Aufnahmefrequenz der verwendeten Fastax-Zeitdehner-Kamera betrug 6000 Bilder pro Sekunde.

Als Versuchsgestein wurde ein polykristallines kieseritisches Hartsalz aus der Zechsteinserie (Flöz Hessen) des Werra-Reviers zerspannt.

Erkenntnisse aus dem Film hinsichtlich des Bruchverhaltens und der Spanentstehung von Salzgestein

Schon bei der zeitlich unaufgelösten Beobachtung des Zerspanungsprozesses fiel auf, daß sich Bruchverhalten und Spanfluß mit der Schnitt-

tiefe verändern. Bei geringen Schnitttiefen ($\leq 3\text{mm}$) floß das sehr feinkörnig zerkleinerte Material in Form eines gleichmäßigen, kontinuierlichen Stromes vom Meißel ab. Der Vorgang erinnerte an den von der Metallzerspanung her bekannten Fließspan.

Dieses Bild eines feinerstäubten, fließenden Materialstromes bei geringen Schnitttiefen wird auch durch die Zeitdehnungsaufnahmen des Films bestätigt. Hier ist es an einzelnen Bildausschnitten sogar möglich, spezifische Merkmale der Spanentstehung wie Spanstauung und Scherwinkel zu beobachten (Abb. 4).

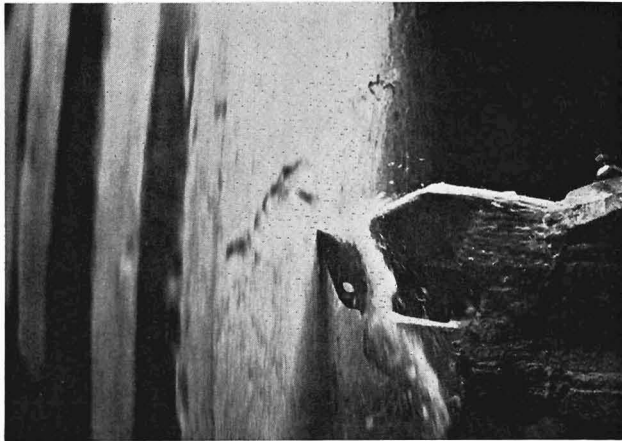


Abb. 3. Fließspan in normalfrequenter Aufnahme

Die Spanform ändert sich deutlich, wenn bei einer größeren Schnitttiefe (etwa ab 5 mm) das an der Meißelspitze zerkleinerte Material nicht mehr unmittelbar zur freien Fläche hin entweichen kann. An die Stelle des „Fließspanes“ tritt dann die diskontinuierliche Spanbildung, deren Merkmal der zyklisch-unregelmäßige Auf- und Abbau eines Spannungsfeldes in Meißel und Gestein ist. Nach dem Ablösen eines Spanes dringt der kurzzeitig völlig entlastete Meißel erneut ins Gestein ein, wobei an der Meißelspitze ein Feinkornpolster geschaffen wird. Die am Meißel aufzubringenden Kräfte steigen, bis sich die Bruchspannung des anstehenden Gesteins einstellt, die nach den mikrogeometrischen Gegebenheiten von Fall zu Fall unterschiedliche Werte annehmen kann. Erreicht eine der sich nunmehr ausbreitenden Bruchlinien die freie Fläche, löst sich ein Span. Der Prozeß kann von neuem beginnen.

Mit Hilfe des Films wurden hinsichtlich der Spanbildung die nachfolgenden Aussagen möglich:

1. Gegenüber den Hauptspänen, die explosionsartig abgesprengt werden, verhält sich das feinkörnige Material auf der Spanfläche des Meißels recht statisch. Es bleibt dort z.T. über mehrere Spanzyklen hinweg nahezu unverändert liegen.

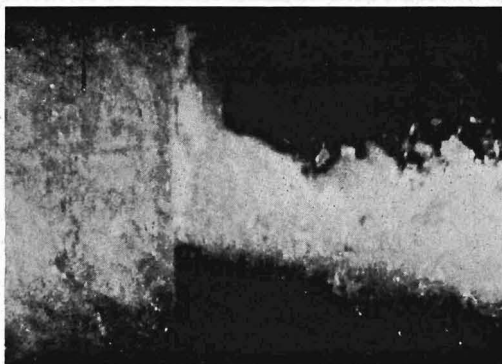


Abb. 4. „Fließspan“ in der Zeitdehnung
Schnitttiefe: 3 mm; Bildfeldbreite etwa 22 mm

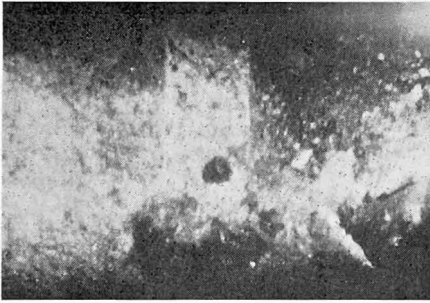
2. Die Bildung der Hauptspäne erfolgt überwiegend durch spröde-elastisches Zubruchgehen des Materials. Die Desintegration der Späne setzt sich dabei z. T. auch noch nach dem Herauslösen aus dem Gesteinsverband im freien Fluge fort.

3. Neben spröde-elastischen Vorgängen wurden auch Stauchungserscheinungen beobachtet, die zu plastischen Formänderungen und schließlich entlang einer Gleitfläche zum Bruch führten (Abb. 5a—d).

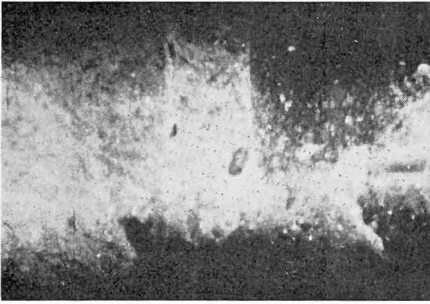
Filmbeschreibung¹

Die normalfrequente Aufnahme zeigt die Versuchseinrichtung mit Plandrehscheibe, Meißelhalter, Schneidwerkzeug und Material beim Plandrehen.

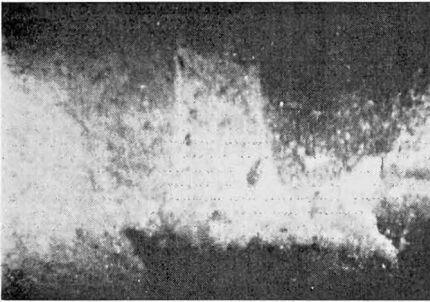
¹ Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film.



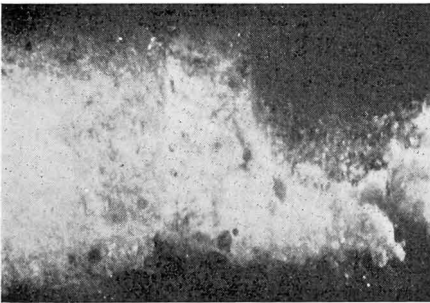
a



b



c



d

Abb. 5 a-d. Plastische Verformung und Deformation an der unteren dem Meißel zugewandten Seite eines größeren Spanes
Schnitttiefe: 12 mm; Schnittgeschwindigkeit: 0,6 m/s

Plandrehen — Hartmetall-Meißel

*Spanwinkel γ : 14°, Freiwinkel α : 16°, Einstellwinkel κ : 0°
6000 B/s*

Schnitttiefe a : 3 mm

*Vorschub s : 30 mm/U, Schnittgeschwindigkeit v : 1,5 m/s
Bildfeldbreite etwa 22 mm*

Schnittgeschwindigkeit v : 0,6 m/s

In diesen hochfrequenten Aufnahmen zeigt sich der Fließspancharakter der Spanbildung bei geringen Spantiefen. Insbesondere bei hoher Schnittgeschwindigkeit (1,5 m/s) fließt ein meist geschlossener Materialstrom über die Spanfläche, in den sich auch größere Bruchstücke einreihen. Die Aufnahmen unterstreichen die von Schnittkraftmessungen her bekannte Tatsache, daß die Zerkleinerung des Materials zu einem solchen feinkörnigen Materialstrom mit einem erheblichen Aufwand an spezifischer Energie verbunden ist.

Schnitttiefe a : 6 mm

Schnitttiefe a : 8 mm

Schnitttiefe a : 12 mm — Bildfeldbreite etwa 56 mm

Mit zunehmender Schnitttiefe verstärkt sich die Differenzierung zwischen dem Hauptspan, der mit hoher Geschwindigkeit abgesprengt wird, und dem Feinkornpolster. Die einzelnen Phasen der Spanbildung sind, wie vorab beschrieben, gut erkennbar. Vereinzelt sind Stauchungs- und Verformungserscheinungen plastischer Art zu beobachten. Die von der Meißelspitze ausgehende Ribbildung verläuft meist spitzwinklig auf die freie Fläche zu, seltener auch zunächst parallel zur freien Fläche, um diese erst nach Ablösen eines größeren Spanes zu erreichen.

Schnitttiefe a : 20 mm — Bildfeldbreite etwa 68 mm

Schnittgeschwindigkeit v : 0,35 m/s — Bildfeldbreite etwa 105 mm

Die Ribbildung wird bei größerer Schnitttiefe (20 mm) häufig auch in axialer Richtung, d.h. in das Material hinein eingeleitet und pflanzt sich dann durch Ablösen eines sichelförmigen Spanes zur freien Fläche fort. Die Differenzierung zwischen Feinkornpolster und Grobspanen ist stärker ausgeprägt. Die Masse an Feinkorn überdauert z.T. mehrere Spanzyklen. Das trifft insbesondere für die Aufnahmen bei einer Schnittgeschwindigkeit von 0,35 m/s zu.

Literatur

- [1] DREYER, W.: Die Festigkeitseigenschaften natürlicher Gesteine insbesondere der Salz- und Karbongesteine. Clausthaler Hefte zur Lagerstättenkunde, Heft 5 (1967).
- [2] GREGOR, M.: Experimentelle und theoretische Untersuchungen über den Einfluß der Schnittgeschwindigkeit auf den Zerspanungswiderstand von Kohle. Diss. Aachen 1968.
- [3] LANGLOTZ, V.: Untersuchungen über das Zerspanen von Salzgestein. Diss. Clausthal 1973.
- [4] NISHIMATSU, Y.: The Mechanics of Rock Cutting. Int. J. of Rock Mech. Min. Sci. 9 (1972), 261.
- [5] PFORR, H., und G.-P. ROSETZ: Ergebnisse und Erfahrungen bei Druck- und Zugversuchen an Gesteinen des Kalibergbaus. Freiburger Forschungshefte, A 376 (1966).
- [6] RIX, P. F.: Untersuchungen über den Spanwiderstand von sprödelastischen Gesteinen in Abhängigkeit von Meißelbreite und Spantiefe unter besonderer Berücksichtigung des Bruchvorganges. Diss. Aachen 1971.

Abbildungsnachweis:

Abb. 1: Nach DREYER [1]; Abb. 3—5: Einzelbilder aus dem Film.

Anschrift des Verfassers:

Dr. -Ing. V. LANGLOTZ, 748 Sigmaringen, Bittelschießer Str. 80a.

Angaben zum Film

Das Filmdokument wurde 1974 zur Auswertung in Forschung und Hochschulunterricht veröffentlicht. Stummfilm, 16 mm, schwarzweiß, 109 m, 10 min (Vorführgeschw. 24 B/s).

Die Aufnahmen entstanden im Jahre 1973. Veröffentlichung aus dem Institut für Bergbaukunde und Bergwirtschaftslehre der Technischen Universität Clausthal, Dipl.-Ing. V. LANGLOTZ, und dem Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, Dipl.-Ing. H. ADOLF; Aufnahme: K. NOWICK.

Inhalt des Films

Der Film zeigt das Bruchverhalten und die Spanentstehung von Salzgestein bei unterschiedlichen Schnittiefen und verschiedenen Schnittgeschwindigkeiten.

Bei geringen Schnittiefen wird das Material in einem kontinuierlichen, feinpulverisierten Strom über die Spanfläche des Meißels abgeführt („Fließspan“).

Im Gegensatz dazu nimmt mit zunehmender Schnittiefe ($s > 3$ mm) die diskontinuierliche Abspaltung mehr oder weniger großer Grobspäne immer

größeren Umfang ein. Diese Späne werden mit großer Dynamik vom übrigen Material getrennt. Das feine Material bildet auf der Spanfläche ein Feinkornpolster, das sich demgegenüber recht statisch verhält.

Während das Bruchverhalten insgesamt als spröde-elastisch bezeichnet werden kann, traten bei Stauchungsvorgängen im Bereich größerer Schnittiefen vereinzelt auch Anzeichen plastischer Formveränderungen auf.

Summary of the Film

The film shows the fracture behaviour of, and chip formation on, salt rock at various depths of cut and cutting speeds.

At shallow depths of cut, the material is removed across the true rake of the turning tool in a continuous, finely pulverised flow (flow chip).

In contrast thereto, the discontinuous splitting-off of coarse chips varying in size increases more and more at increasing depths of cut ($s > 3$ mm). These chips separate from the remaining material with dynamic force whereas the fine material forms a kind of fine-grain pad on the true rake which, by comparison, is rather static in behaviour.

Whilst the fracture behaviour as a whole can be termed brittle-elastic, there were some indications here and there of plastic deformation where the material had undergone upsetting in the region of greater depths of cut.

Résumé du Film

Le film montre le comportement lors de la rupture et la formation de copeaux dans une roche saline, lors de profondeurs et de vitesses de coupe différentes.

Lorsque les coupes sont peu profondes, le matériau est évacué sur la surface de coupe du ciseau, en un courant finement pulvérisé continu ("copeau écoulant").

A l'inverse de ceci, la fission discontinue de copeaux grossiers de taille plus ou moins grande prend une importance croissante à mesure que la profondeur de coupe augmente ($s > 3$ mm). Ces copeaux sont arrachés au matériau avec un grand dynamisme. Le matériau fin constitue à la surface de coupe un coussinet de grains fins qui se comporte en revanche fort statiquement.

Tandis que le comportement lors de la rupture peut être qualifié de cassant-élastique, des signes de modifications plastiques de la forme apparaissent isolément lors de phénomènes de refoulement, dans le domaine de profondeurs de coupe plus grandes.