

ISSN 0073-8433

# **PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN**

SEKTION  
**TECHNISCHE WISSENSCHAFTEN  
NATURWISSENSCHAFTEN**

SERIE 10 · NUMMER 12 · 1989

FILM C 1679

**Abscheren kleiner Stahlproben  
Werkstoffverhalten und Kraft-Weg-Verlauf**



INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM · GÖTTINGEN

*Angaben zum Film:*

Tonfilm (Komm., deutsch), 16 mm, farbig, 122 m, 11½ min (24 B/s). Hergestellt 1984–1987, veröffentlicht 1988.

Der Film ist für die Verwendung im Hochschulunterricht bestimmt. Veröffentlichung aus dem Labor für angewandte Werkstoffkunde der Fachhochschule Niederrhein, Krefeld, Prof. Dr.-Ing. W. HUSSMANN, und dem Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, W. GROSSE; Kamera: J. THIENEL, H. WITTMANN, K. LECHNER; Schnitt: W. GROSSE; Trick: H.G. GRASKE.

*Zitierform:*

HUSSMANN, W., und INST. WISS. FILM: Abscheren kleiner Stahlproben – Werkstoffverhalten und Kraft-Weg-Verlauf. Film C 1679 des IWF, Göttingen 1988. Publikation von W. HUSSMANN, Publ. Wiss. Film., Sekt. Techn. Wiss./Naturw., Ser. 10, Nr. 12/C 1679 (1989), 9 S.

*Anschrift des Verfassers der Publikation:*

Prof. Dr.-Ing. W. HUSSMANN, Fachhochschule Niederrhein, FB Maschinenbau und Verfahrenstechnik, Reinarzstr. 49, D-4150 Krefeld.

---

PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN

Sektion BIOLOGIE

Sektion PSYCHOLOGIE · PÄDAGOGIK

Sektion ETHNOLOGIE

Sektion TECHNISCHE WISSENSCHAFTEN

Sektion MEDIZIN

NATURWISSENSCHAFTEN

Sektion GESCHICHTE · PUBLIZISTIK

Herausgeber: H.-K. GALLE · Redaktion: G. LOTZ, I. SIMON

PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN sind die schriftlichen Ergänzungen zu den Filmen des Instituts für den Wissenschaftlichen Film und der Encyclopaedia Cinematographica. Sie enthalten jeweils eine Einführung in das im Film behandelte Thema und die Begleitumstände des Films sowie eine genaue Beschreibung des Filminhalts. Film und Publikation zusammen stellen die wissenschaftliche Veröffentlichung dar.

PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN werden in deutscher, englischer oder französischer Sprache herausgegeben. Sie erscheinen als Einzelhefte, die in den fachlichen Sektionen zu Serien zusammengefaßt werden.

Bestellungen und Anfragen an: Institut für den Wissenschaftlichen Film  
Nonnenstieg 72 · D-3400 Göttingen  
Tel. (05 51) 20 22 04

## FILME FÜR FORSCHUNG UND HOCHSCHULUNTERRICHT

WINFRIED HUSSMANN, Krefeld, und INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM, Göttingen:

Film C 1679

### **Abscheren kleiner Stahlproben Werkstoffverhalten und Kraft-Weg-Verlauf**

Verfasser der Publikation: WINFRIED HUSSMANN

Mit 1 Abbildung

#### *Inhalt des Films:*

**Abscheren kleiner Stahlproben – Werkstoffverhalten und Kraft-Weg-Verlauf.** Von metallographisch vorbereiteten Vierkantstäbchen aus normalgeglühtem Stahl C 15 werden dünne Späne abgesichert, die Verformungs-, Schneid- und Abreißvorgänge mikrokinematographisch bei verschiedenen Vergrößerungen verfolgt und gleichzeitig die Scherkräfte und Scherwege gemessen. Der dem Mikrobild überlagerte Verlauf der Kraft-Weg-Kurve läßt sich aus dem örtlichen Werkstoffverhalten deuten und mit Härteprüfungen sowie rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen bestätigen. Mit Trickgraphiken wird die Analyse des Schervorgangs zusammenfassend dargestellt.

#### *Summary of the Film:*

**Shearing of Small Steel Specimens – Material Behaviour and Force Displacement Diagram.** Thin chips are sheared from metallographically prepared small square bars and microcinematic techniques are used to show the deformation, cutting and tearing-off processes in different magnifications. At the same time, the shearing force and displacement paths are measured. The course of the force path curves which are superimposed on these micro-pictures is explained by the local material behaviour and is confirmed by hardness testing and scanning electron micrographic photographs. A synopsis of the analysis is shown with the help of trick graphics.

#### *Résumé du Film:*

**Cisaillement de petites éprouvettes d'acier – Comportement de matériau et cours de l'effort et du déplacement.** De fins copeaux sont cisailés à partir de bâtonnets carrés en acier normalisé C 15, préparés métallographiquement; les phénomènes de déformation, de coupe et d'arrachement sont suivis microcinématographiquement et, en même temps, la force et le déplacement de cisaillement sont mesurés. L'allure de la courbe de l'effort et du déplacement qui est superposée à la micrographie, peut être expliquée d'après le comportement de matériau local et constatée par des essais de dureté ainsi que des prises de vue au microscope électronique à balayage. L'analyse du processus de cisaillement est présentée en résumé à l'aide de graphiques truqués.

### Allgemeine Vorbemerkungen

Die grundsätzlichen Vorgänge beim Abscheren eines Blech- oder Stangenquerschnittes sind seit langem bekannt (REICHEL [5]; CRASEMANN [2]; SAUER [6]). Das Werkzeug dringt mit seiner Schneide in das Werkstück ein und verursacht nach einer geringen elastischen eine plastische Verformung bei gleichzeitiger Verfestigung des Werkstoffes, zunächst unmittelbar vor der Schneide konzentriert und allmählich die gesamte Scherebene erfassend. Ist mit zunehmendem Scherweg das Formänderungsvermögen des Werkstoffes erschöpft, bildet sich vor der Schneide ein Riß, der der Werkzeugbewegung vorausläuft und zur vollständigen Trennung des Querschnittes führt (Abb. 1a).

Entsprechend dieser Beschreibung ändern sich die aufgebrachtten Scherkräfte mit dem zurückgelegten Scherweg (Abb. 1b). Die einzelnen Abschnitte der Kraft-Weg-Kurve lassen sich allerdings erst überzeugend deuten, wenn durch gleichzeitiges Beobachten von Schervorgang und Kurvenverlauf das Verhalten des beanspruchten Werkstoffbereichs den Meßergebnissen unmittelbar zugeordnet werden kann.

Der Film soll also die Frage beantworten: An welcher Stelle der Kurve geschieht was mit dem Werkstoff?

Mit den Erfahrungen aus umfangreichen Parameterstudien zum Scherversuch an kleinen Stahlstäben (SEILER u. ROBUS [9]; SCHAFFRATH u. THISSEN [7]; SCHUCHERT [8]; HILDE [4]) wurde eine Schervorrichtung für mikrokinematographische Untersuchungen entwickelt und gebaut (ALSALK [1]). Nach dem in der Abbildung dargestellten Prinzip wird die mit einem Gegenhalter verspannte Probe gegen das feststehende Schermesser gedrückt. Auf diese Weise bleibt die Eingriffsstelle einer ständigen Beobachtung mit dem Mikroskop zugänglich.

Gleichbleibende Versuchsbedingungen:

Schergeschwindigkeit	5 mm/min
Spandicke	1 mm
Scherspaltbreite	0,1 mm
Messerform	Flachkantmesser
	Spanwinkel 0°, Freiwinkel 2°
Aufnahmefrequenz	24 B/s

### Zur Entstehung des Films

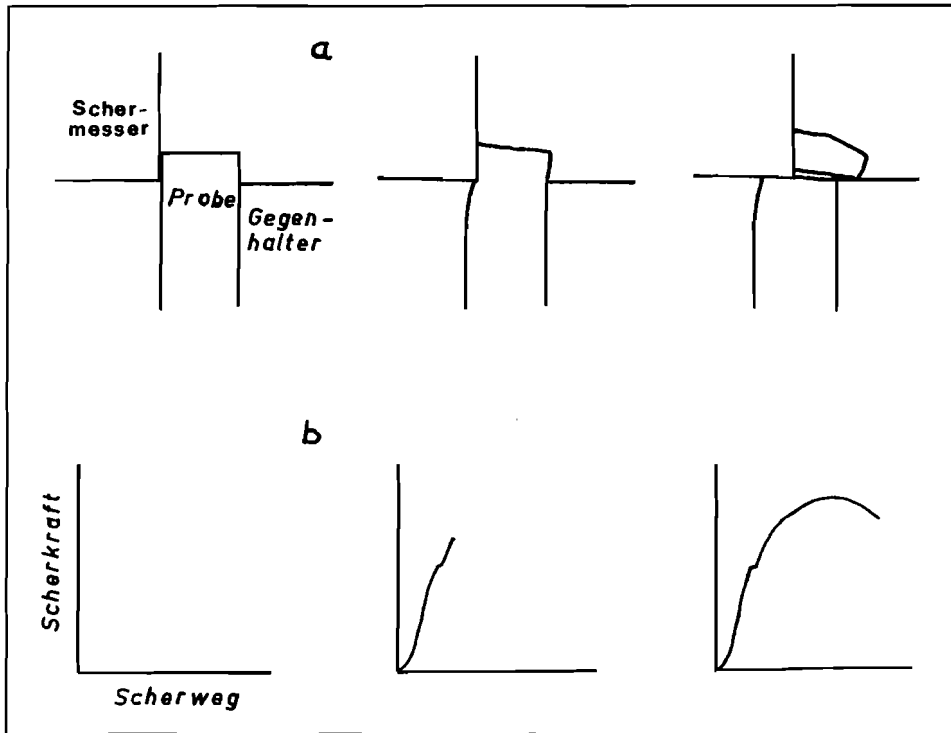
Diesem Film lag das Forschungsprojekt „Mikrokinematographische Analyse des Mikroscherversuchs“ zugrunde, das mit Mitteln des Landes Nordrhein-Westfalen von der Fachhochschule Niederrhein, Krefeld, gefördert wurde. Für ihre Mitarbeit sei Herrn Dipl.-Ing. G. SEIFERT und Herrn H.-J. TERJUNG auch an dieser Stelle gedankt.

Der Versuchsstand wurde in der Fachhochschule Niederrhein entwickelt und für die Filmaufnahmen vom IWF komplettiert. Das Kraft-Weg-Diagramm wurde aus Authentizitätsgründen in den Strahlengang des Mikroskops eingespiegelt und von der Kamera synchron mit dem Realvorgang aufgenommen (Kamera: J. THIENEL; Assistent: E. FRIEXE).

## Filmbeschreibung

Wortlaut des gesprochenen Kommentars<sup>1</sup>

Hier der Versuchsstand: Rechts unten die Schervorrichtung, darüber das Mikroskop, links der Schreiber. Er zeichnet die Kräfte und Wege auf, die während des Schervorgangs gemessen werden.



Schematische Darstellung des Schervorgangs (a) und des zugehörigen Kraft-Weg-Verlaufs (b)

Zeichnung: W. HUSSMANN

Beobachten wir einen solchen Schervorgang. In der Mitte die Probe aus Stahl C 15 in normalgeglühtem Zustand. Der Querschnitt beträgt 3 x 3 mm, die Spandicke 1 mm. Derselbe Vorgang, diesmal durch das Mikroskop betrachtet. Unter erheblicher Verformung des Werkstoffes drückt der Gegenhalter, rechts, die Probe gegen das Schermesser bis zum Abriß.

Das Prinzip des Vorgangs soll noch einmal schematisch dargestellt werden: Der Gegenhalter drückt – von rechts kommend – die Probe gegen das feststehende Schermesser. Der Span wird abgeschert, während die Probe nach links weitergleitet. Diese Bewegung wird als Scherweg von einem induktiven Wegaufnehmer gemessen. Die vom Scher-

<sup>1</sup> Die eingerückten Abschnitte in Kleindruck geben zusätzliche Informationen.

messer ausgeübte Scherkraft wird von Dehnungsmeßstreifen angegeben. Die Meßstreifen sind auf einem der kraftübertragenden Maschinenteile angebracht. Wird die Scherkraft als Funktion des Scherweges in ein Koordinatensystem eingezeichnet, so entsteht eine charakteristische Kurve, die das Werkstoffverhalten wiedergibt. Auffällig sind zwei Merkmale: eine Stufe und ein Maximum.

Um Werkstoffverhalten und Kraft-Weg-Verlauf gleichzeitig zu dokumentieren, ist das Diagramm dem mikroskopischen Bild überlagert. Die Probe wird gegen das Messer gedrückt, die Kraft steigt an – vorerst linear.

Das Abscheren beginnt. Während sich das Material zunehmend verformt, steigt die Kraft weiter an, aber nicht mehr linear. Jetzt entsteht ein Riß, der schnell nach rechts läuft. Der Span reißt ab.

Wir können also zwei Phasen unterscheiden: Verformung und Rißbildung.

Zunächst die Verformung. Vor dem eindringenden Messer verformt und verfestigt sich der Werkstoff – dabei linearer Kraftanstieg.

Die anfängliche Krümmung der Kurve ist der Nachgiebigkeit der Prüfeinrichtung, insbesondere der Einspannung von Messer und Probe, zuzuschreiben, enthält also die elastische Verformung von kraftübertragenden Maschinenteilen.

Dagegen darf trotz der Ähnlichkeit der Kurvenverläufe im Scherversuch wie im Zugversuch aus letzterem nicht abgeleitet werden, bei dem zunächst linearen Anstieg der Kraft handele es sich auch beim Abscheren um ein elastisches Verhalten des Werkstoffes. Vielmehr zeigen die Mikroaufnahmen, daß in diesem Kurvenabschnitt bereits deutliche plastische Verformungen stattfinden, nämlich das Eindringen des Schermessers mit seitlichem Ausweichen des Werkstoffes und das Abbiegen des freien Probenrandes gegenüber dem Gegenhalter (Kantenabzug, vgl. Abb. 1 a.). Mit dieser Verformung ist eine Verfestigung des Werkstoffes verbunden, die höhere Kräfte für das weitere Stauchen des Spanes erfordert. Die Zunahme von Scherkraft und Scherweg sind hier eher zufällig einander proportional und ergeben den linearen Kurvenanstieg (SCHAFFRATH u. THISSEN [7]).

Jetzt erfaßt die Verformung den gesamten Querschnitt. Ein Teil der Verformung ging vom Gegenhalter aus. Mit dieser vollplastischen Verformung ist die Stufe in der Kurve zu erklären. Ihre Ausbildung erinnert an die Streckgrenze im Zugversuch.

Der Übergang zur vollplastischen Verformung deshalb nun noch einmal in stärkerer Vergrößerung. Während der Probenbewegung laufen die Verformungsfronten von Messer und Gegenhalter aufeinander zu und begegnen sich jetzt. Wiederholen wir diese Szene noch einmal. Für den Versuch wurde die Oberfläche poliert. Die Verformung rauht die Oberfläche auf, so daß die Verformungsfronten gut zu erkennen sind. In ähnlicher Weise beobachtet man die Lüdersbänder beim Zugversuch.

Trotz der Vergleichbarkeit in Werkstoffverhalten und Kraft-Weg-Verlauf sind die Streckgrenze im Zugversuch und die Fließgrenze im Scherversuch von unterschiedlicher Wertigkeit. Erstere kennzeichnet den Übergang von der elastischen zur plastischen Verformung des Stahles und stellt somit eine der wichtigsten Kenngrößen des Werkstoffes dar. Im Scherversuch dagegen markiert die Unstetigkeit im Kurvenverlauf lediglich den Übergang von plastischen Verformungen in Teilbereichen zu Fließvorgängen im gesamten Querschnitt der Probe. Der ermittelte Zahlenwert hängt damit von den Versuchsbedingungen, insbesondere von Werkzeug- und Probengeometrie ab.

Im übrigen ist auch der jeweilige Spannungszustand nicht vergleichbar: In der Zugprobe ist er bis zur Einschnürung einachsiger und homogener, in der Scherprobe wegen der Überla-

gerung von Druck-, Zug- und Biegespannungen von Versuchsbeginn an mehrachsrig und inhomogen.

Die bisher nur an der Oberfläche beobachteten Werkstoffreaktionen lassen sich gut durch Härtemessungen verfolgen. Für eine Härtemessung wird der Scherversuch irgendwann unterbrochen, die Probe bis zur Mitte abgeschliffen und in der Scherebene auf ihre Härte geprüft. Hier das Ergebnis einer Härtemessung an einer unbeanspruchten Probe. Die Härteverteilung ist gleichmäßig.

Jetzt eine Härtemessung an einer Probe, in die das Messer bereits ein Stück eingedrungen war. Es ergibt sich eine Härteverteilung, bei der die Härte links entsprechend angestiegen ist. Wählen wir in unserem Kraft-Weg-Diagramm einen Punkt am Ende des linearen Anstiegs, so erhalten wir für diesen Probenzustand diese Härteverteilung. Bei weiter angestiegener Härte im Bereich des Messers ist auch erstmals im Bereich des Gegenhalters eine höhere Härte zu erkennen. Diesen Sachverhalt finden wir in dem Kraft-Weg-Diagramm in der nun beginnenden leichten Rechtskrümmung der Kurve wieder. Wählen wir in diesem Bereich — aber noch vor der Stufe — einen Punkt, so erhalten wir die folgende Härteverteilung. Wählen wir dagegen einen Punkt nach der Stufe, so kann man an der neuen Härteverteilung erkennen, daß nunmehr der gesamte Querschnitt plastisch verformt ist.

Eine Verformung findet aber nicht nur in der Scherebene, sondern auch in der Längsrichtung der Probe statt. Eine bereits abgescherte Probe, wie diese hier, zeigt eine deutliche Krümmung als Folge der vorangegangenen Druck- und Biegekräfte. Schert man nun eine solche Probe erneut, so bleibt die gewohnte Stufe in der Kraft-Weg-Kurve aus. Eine Erklärung hierfür liefern Härtemessungen in Längsrichtung der Probe. Gemessen wurde wieder über den Querschnitt, aber auch über die Längsrichtung der Probe. Die erhaltenen Werte sind zu Höhenlinien miteinander verbunden, so daß die Härteverteilung im Inneren der Probe hier als Gebirge erscheint. Wie erwartet, ist die Härte unmittelbar neben der Scherebene am größten und fällt in Probenlängsrichtung ab. Legen wir nun einen Folgeschnitt durch diesen Bereich, so trifft er auf einen bereits verformten und verfestigten Zustand. Für ein streckgrenzenähnliches Verhalten des Werkstoffes stehen daher nicht mehr genügend frei bewegliche Versetzungen zur Verfügung, so daß eine Stufenbildung in der Kraft-Weg-Kurve unterbleibt.

Dieses Verhalten ist mit dem im Zug- oder im Stauchversuch vergleichbar. In beiden wird für den hier verwendeten Stahl C 15 ein Fließbereich von 1,6 % festgestellt (SCHAFFRATH u. THISSEN [7]; HERBRANDT [3]), d. h. über einen Dehnbereich von 1,6 % bleibt die Spannung praktisch konstant, danach steigt sie als Folge der Verfestigung weiter an. Wird z. B. ein Zugversuch in diesem ansteigenden Kurvenbereich unterbrochen und wieder angefahren, so stellt sich eine ausgeprägte Streckgrenze nicht mehr ein. Die Kurve wird lediglich fortgesetzt.

Der Folgeschnitt, in 1 mm Abstand von der Scherfläche gelegt, läuft durch einen Bereich, der im Mittel eine um etwa 12 % höhere Härte besitzt als der unverformte Grundwerkstoff (SCHAFFRATH u. THISSEN [7]; SCHUCHERT [8]). Wie aus Stauchversuchen hervorgeht, entspricht diese Härtesteigerung einem Umformgrad von 2 % (HERBRANDT [3]). Die Scherebene liegt demnach in einem Querschnitt, der von dem vorangegangenen Schnitt bereits über den Fließbereich des Werkstoffes hinaus verformt worden war und für weitere Verformungen stetig anwachsende Kräfte erfordert.

Unabhängig davon, ob ein Folgeschnitt oder, wie hier, ein erster Schnitt durchgeführt wird — in jedem Fall nehmen mit fortschreitendem Schermesser die Verformungen und Verfestigungen des Werkstoffes, insbesondere an der Messerschneide, zu. Hier ist sein Verformungsvermögen auch zuerst erschöpft. Es bildet sich ein Riß, der dem Messer vorausläuft. Der Span weicht der zusätzlichen Biegebeanspruchung aus und reißt schließlich ab.

Die Wiederholung verdeutlicht den Ablauf: Zunächst dringt das Messer etwa 0,5 mm tief ein, bis kurz vor dem Kraftmaximum der Anriß entsteht. Der gesamte Querschnitt verformt sich, auch auf der rechten Seite — hier verursacht vom Gegenhalter. Der voreilende Riß trifft also auf zunehmend verfestigten Werkstoff, was ihn beschleunigt. Der Blick auf die so entstandene Scherfläche zeigt in der Vergrößerung eine typische Struktur. Der größere, rechte Teil ist rau. Dies ist die Riß- oder Bruchfläche. Links dagegen ist die schmale, glatte Anschnittfläche zu sehen. Diese Anschnittfläche läßt bei höherer Vergrößerung die schneidende und schabende Wirkung des Schermessers an den parallel verlaufenden Riefen erkennen. Bei den helleren Bereichen sind Werkstoffteilchen herausgerissen worden.

Bei gleicher Vergrößerung die Bruchfläche. Der Riß hat eine stark zerklüftete Oberfläche hinterlassen, die aus zahlreichen unterschiedlich großen und unregelmäßig gestalteten Vertiefungen und Graten besteht. Sie sind in Scherrichtung von links nach rechts verzogen und ergeben so die charakteristische Struktur eines Scherbruchs.

Die einzelnen Vorgänge des hier gezeigten Scherversuchs lassen sich anhand des Kraft-Weg-Verlaufs zusammenfassen: Nach geringer elastischer Verformung dringt das Schermesser zunächst mit seiner Schneide, dann über eine größere Fläche in die Randschicht der Probe ein und staucht den Span in dem anliegenden Querschnitt. Der Gegenhalter hat einen viel größeren Abrundungsradius als das Schermesser und dringt deshalb erst bei höherer Scherkraft in den Werkstoff ein. Das Zusammentreffen der Verformungszonen erzeugt eine Stufe im Kurvenverlauf, wenn der Stahl noch im unverformten Zustand vorliegt. Das Abscheren des Gesamtquerschnittes erfordert wegen der Verfestigung steigende Scherkräfte; der allmählich flacher werdende Kurvenverlauf ergibt sich aus der gleichzeitigen Abnahme des Querschnittes. Mit dem Entstehen und Wachsen des Risses überwiegt dieser Einfluß schließlich, so daß die Scherkraft nach ihrem Höchstwert wieder abfällt. Der Riß läuft der Messerbewegung zunehmend voraus. Der bis zum Abriß des Spanes zurückgelegte Scherweg ist daher wesentlich kleiner als die Probenhöhe von 3 mm.

Man kann den Scherversuch demnach grob in zwei Phasen unterteilen: Links entsteht die Anschnittfläche, rechts etwa gleich lang die Bruchfläche. Entsprechend läßt sich die Arbeit, die zum Abscheren erforderlich gewesen ist, in Einzelbeträge unterscheiden: Die Umformarbeit, die die Fließvorgänge in der ersten Versuchsphase bewirkt hat, nimmt fast die Hälfte der Fläche unter der Kurve ein. Die andere Hälfte enthält noch Arbeit für die plastische Verformung des Spanes und des Restquerschnitts sowie die Brucharbeit.



## Literatur

- [1] ALSALK, H.: Bau und Inbetriebnahme einer Vorrichtung zur mikrokinematographischen Untersuchung des Mikroscherversuchs. Dipl. Arb. FH Niederrhein. Krefeld 1981.
- [2] CRASEMANN, H.J.: Der offene Schnitt von Grobblechen. Mitteil. Forschungsges. Blechverarb. 1962, Nr. 14/15, 193-211.
- [3] HERBRANDT, P.: Untersuchungen zum Nachweis der Kaltverfestigung bei den Stählen Ck 15 und Ck 45. Dipl. Arb. FH Niederrhein. Krefeld 1987.
- [4] HIDDE, R.: Untersuchungen zur Güteprüfung von Schweißverbindungen mit dem Mikroscherversuch. Dipl. Arb. FH Niederrhein. Krefeld 1981.
- [5] REICHEL, W.: Zur Technologie des Scherens. Blech 2 (1955), Nr. 8, 12-22, Nr. 10, 30-39.
- [6] SAUER, R.: Untersuchung zur Mechanik des Kaltscherens. Diss. RWTH. Aachen 1980.
- [7] SCHAFFRATH, W., und H. THISSEN: Grundsätzliche Untersuchungen zum Mikroscherversuch. Dipl. Arb. FH Niederrhein. Krefeld 1979.
- [8] SCHUCHERT, D.: Untersuchung von Einflußgrößen beim Mikroscherversuch an verschiedenen Stählen. Dipl. Arb. FH Niederrhein. Krefeld 1980.
- [9] SEILER, N., und H.-G. ROBUS: Konstruktion und Bau einer Mikroschervorrichtung. Dipl. Arb. FH Niederrhein. Krefeld 1979.