

**FORSCHUNGSBERICHTE  
DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN**

Herausgegeben durch das Kultusministerium

Nr. 890

**Dr.-Ing. Heinz Meyer**

Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik  
Technische Hochschule Hannover

**Untersuchungen über den Umformvorgang  
in Waagrecht-Stauchmaschinen**

Als Manuskript gedruckt



**WESTDEUTSCHER VERLAG / KÖLN UND OPLADEN**

**1960**

ISBN 978-3-663-03832-0      ISBN 978-3-663-05021-6 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-663-05021-6

## G l i e d e r u n g

0	Einführung . . . . .	S.	5
01	Das Wesen der Waagrecht-Stauchmaschine . . . . .	S.	5
02	Der Umformvorgang in der Waagrecht- Stauchmaschine . . . . .	S.	7
03	Ziel und Abgrenzung der Untersuchung . . . . .	S.	11
1	Zur Versuchsdurchführung . . . . .	S.	11
2	Das Anstauchen in Waagrecht-Stauchmaschinen . . . . .	S.	16
21	Freies Anstauchen . . . . .	S.	16
22	Anstauchen im Gesenk . . . . .	S.	23
221	Anstauchen von zylindrischen Formen . . . . .	S.	23
222	Anstauchen von kegeligen Formen . . . . .	S.	26
23	Schaubild zur Bestimmung der Umformstufen . . . . .	S.	32
3	Umformkraft und Umformarbeit beim Stauchen . . . . .	S.	35
31	Die Methode der Kraft- und Arbeitsbestimmung . . . . .	S.	35
32	Der Umformwiderstand beim freien Stauchen . . . . .	S.	44
33	Der Umformwiderstand beim Stauchen im Gesenk . . . . .	S.	52
34	Die Umformarbeit . . . . .	S.	59
4	Kräfte beim Durchlochen . . . . .	S.	59
5	Das Verhalten der Werkzeuge unter Last . . . . .	S.	63
6	Zusammenfassung . . . . .	S.	72
7	Literaturverzeichnis . . . . .	S.	74

## 0 Einführung

### 01 Das Wesen der Waagrecht-Stauchmaschine

Eine Untersuchung, die den Umformvorgang in einer bestimmten Art von Schmiedemaschinen betrachten soll, kann nicht unabhängig von ihren Eigenschaften vorgenommen werden. Daher seien einige Hinweise auf die Merkmale und Wirkungsweise von Waagrecht-Stauchmaschinen<sup>1)</sup> vorausgeschickt.

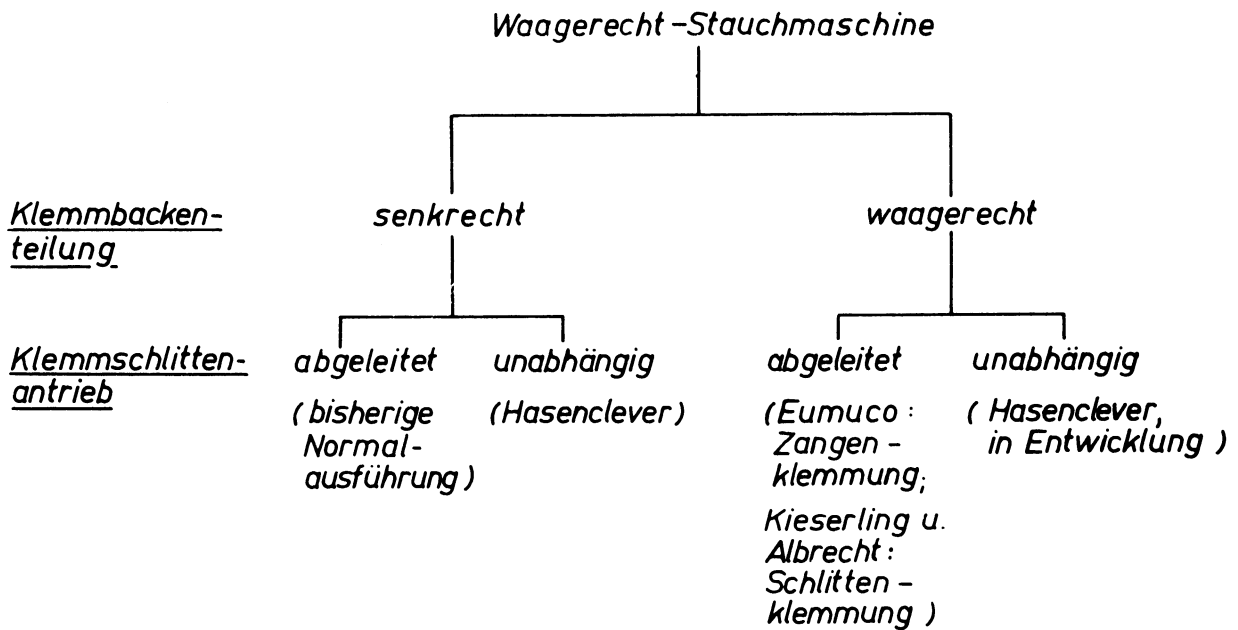
Die Waagrecht-Stauchmaschine ist eine doppelwirkende Kurbelpresse mit waagerechter Hauptarbeitsbewegung. Die zweite Wirkung ist die Klemmung, die im Gegensatz zu doppelwirkenden Tiefziehpressen senkrecht zur Hauptarbeitsbewegung erfolgt; dasselbe Prinzip wird aber neuerdings auch in senkrecht wirkenden Gesenkschmiedepressen angewendet. Die Klemmbacken, deren eine vom Klemmschlitten gegen die zweite, meist feste, bewegt wird, können senkrecht oder waagrecht geteilt sein, so daß ihre Bewegung entsprechend in waagerechter oder senkrechter Richtung erfolgt. Die Art des Klemmschlittenantriebs läßt eine weitere Unterteilung zu; er kann entweder vom Hauptantrieb abgeleitet oder unabhängig sein. Der Klemmschlitten wird damit zum Merkmal, das die Maschine von den üblichen Kurbelpressen unterscheidet und eine Einteilung der Bauarten ermöglicht (Abb. 1).

Den Waagrecht-Stauchmaschinen verwandt sind die Bolzen- und Mutterpressen, seien sie für die Warm- oder die Kaltformung bestimmt [1]. Sie arbeiten selbst- oder halbselbsttätig und sind dementsprechend mit Zuführ- und Transporteinrichtungen ausgerüstet. Der Umformvorgang gleicht aber grundsätzlich dem in der Waagrecht-Stauchmaschine.

Ähnliche Stücke wie aus dieser erhält man auch aus der Elektro-Stauchmaschine gekoppelt mit einer Spindelpresse. In der ersten werden Stangen oder Stangenabschnitte zwischen den Klemmbacken der sog. Führungselektrode eingespannt und gegen eine Amboßelektrode gedrückt. Nach Schließen des Stromkreises fließt zwischen den beiden Elektroden ein Strom, der den eingespannten Stangenabschnitt erwärmt. Das erwärmte Stangenende wird dann durch Nachschieben des kalten Stangenteils gegen

---

1. Als Bezeichnung für diese Maschinenart soll im folgenden der Ausdruck "Waagrecht-Stauchmaschine" verwendet werden; obwohl mit ihr auch andere als Staucharbeiten ausgeführt werden können sind doch die Stauchvorgänge kennzeichnend. Der gleichfalls gebräuchliche Name "Waagrecht-Schmiedemaschine" sollte vermieden werden, da er wegen des allgemeinen Charakters des Bestandteiles "Schmiedemaschine" nicht eindeutig ist.



A b b i l d u n g 1

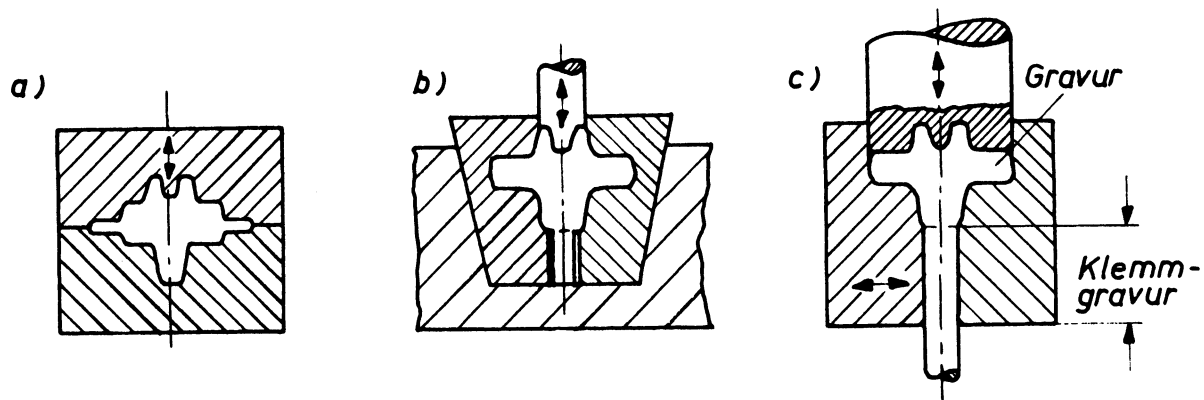
Bauarten von Waagrecht-Stauchmaschinen

die Amboßelektrode angestaucht. Durch langsames Vorschieben der Stange kann eine beliebig große, nur von den Maschinenabmessungen begrenzte Werkstoffmenge angestaucht werden, da der Abstand zwischen Klemmbacken und Verschleißplatte so gewählt werden kann, daß der Stab nicht ausknickt. Die so angestauchten Stücke erhalten ihre Endform gewöhnlich in einer Spindelpresse. Die Stauchvolumina können daher größer als in der Waagrecht-Stauchmaschine sein.

Das Werkzeug der Waagrecht-Stauchmaschine besteht aus drei bis fünf dreiteiligen Gesenksätzen, die über- oder nebeneinander angeordnet sind. Die doppelte Teilung der Werkzeuge ergibt sich aus den zwei Bewegungsrichtungen der Waagrecht-Stauchmaschine. Die Werkzeuge setzen sich aus den beiden Klemmbacken und dem Stempel zusammen, der auch eine Gravur tragen kann (Abb. 2).

Dreiteilige Gesenke werden auch gelegentlich in Hämmern und Pressen verwendet, doch müssen zwei Werkzeugteile dann in einem Halter aufgenommen werden, so daß die Handhabung umständlich und teuer wird. Die Werkzeuge der Waagrecht-Stauchmaschine sind häufig als geschlossene Werkzeuge anzusehen.

Im Gegensatz zu allen anderen Schmiedewerkzeugen haben sie eine doppelte Aufgabe: Die Klemmbacken müssen einmal die Hohlform bilden, in die



A b b i l d u n g 2

Ausführung von Schmiedegesenken

- a) zweiteiliges Gesenk mit Gratspalt und Aufschlagflächen
- b) dreiteiliges Gesenk mit Gesenkhalter
- c) dreiteiliges Gesenk für Waagrecht-Stauchmaschinen

der umzuformende Werkstoff hineingepreßt wird und außerdem bei vielen Umformvorgängen - vor allem beim Anstauchen - die Stange oder den nicht zu stauchenden Stangenabschnitt klemmen, um ein axiales Verschieben zu verhindern. In den Klemmbacken ist daher die eigentliche Gravur von der Klemmgravur zu unterscheiden. Da beide gemeinsam in einen Block eingearbeitet sind, können Klemm- und Formgebungsvorgang einander beeinflussen.

Schließlich kann auch die eigentliche Gravur noch eine doppelte Funktion haben: einmal soll sie nur die Hohlform bilden - sie darf sich unter der Wirkung der Umformkräfte nicht öffnen - zum anderen soll sie außerdem noch aktiv am Umformvorgang teilnehmen und die eingelegte Stange senkrecht zu ihrer Längsachse stauchen, biegen oder lochen. Sie muß dann bereits vor dem Schließen der Klemmbacken Kräfte ausüben können.

02 Der Umformvorgang in der Waagrecht-Stauchmaschine

Die wichtigsten Umformvorgänge in der Waagrecht-Stauchmaschine sind das Stauchen, das Lochen und das Durchlochen, die sämtlich sowohl mit dem Stempel als auch mit den Klemmbacken erfolgen können. Unter Lochen soll hier das verdrängende Lochen zur Herstellung von nicht durchgehenden Löchern verstanden werden (siehe Abb. 3). Hierbei ist im Gegensatz zum Fließpressen der Außendurchmesser der zu lochenden Zwischenform kleiner als der Außendurchmesser der Endform, so daß der Werkstoff beim Lochen zur Seite verdrängt wird. Das Warmfließpressen ist mit dem

Hauptstempel möglich, und zwar ohne Sondereinrichtungen zum Halten und Einlegen der Werkstücke nur rückwärts. Weitere Formgebungsmöglichkeiten sind noch das Biegen mit Hauptstempel und Klemmbacken und das Abscheren mit den Klemmbacken.

Aus dem Aufbau der Maschine und der Ausbildung der Werkzeuge folgt, daß gedrungene Formen ( $l \approx b \approx h$ ) und Scheibenformen ( $l \approx b > h$ ) [2] - besonders wenn sie zylindrische oder kegelige Ansätze oder zentrische Bohrungen haben - gut hergestellt werden können. Das gleiche gilt für Langformen ( $l > b \geq h$ ) mit gerader Längsachse ohne Nebenformelemente oder mit symmetrisch zur Achse liegenden Nebenformelementen. Herstellbar sind auch offene oder geschlossene Gabelungen und Langformen, die in einer Ebene gekrümmt sind, mit den gleichen Nebenformelementen. Schwer oder nicht herzustellen sind dagegen Langformen, die nicht nur an einzelnen Stellen, sondern auf der ganzen Länge umgeformt werden müssen, Langformen mit unsymmetrisch zur Längsachse liegenden Nebenformelementen, mit mehreren Nebenformelementen und in zwei Ebenen gekrümmte Langformen. Die Dreiteilung der Werkzeuge hat zur Folge, daß Werkstücke ohne Schrägen oder mit nur geringen Neigungen und Teile mit Unterschneidungen geschmiedet werden können; die Klemmung erlaubt, die Stempelwerkzeuge von achsparallelen Formflächen ohne Schräge abzuziehen.

Eine Begrenzung in den Formgebungsmöglichkeiten ist bei Schmiedestücken mit Schaft auch durch die Größe des anzustauchenden Volumens gegeben. Da man beim Anstauchen ein Ausknicken der Stangen verhindern muß, kann (in einer Operation) nur ein begrenztes Volumen angestaucht werden. Ist das anzusammelnde Volumen so groß, daß drei oder mehr Zwischenformungen zur Massenverteilung nötig sind, dann dürfte die Verwendung einer Elektro-Stauchmaschine zweckmäßiger sein, da dann meist nicht mehr in einer Wärme und in einer Maschine fertig geschmiedet werden kann. Je nach der Zahl der noch notwendigen Formgebungsstufen ist neben der Kombination von Elektro-Stauchmaschine - Spindelpresse auch die Kopplung Elektro-Stauchmaschine - Waagrecht-Stauchmaschine zweckmäßig. Die Waagrecht-Stauchmaschine allein wird man also anwenden, wenn an einer Umformstelle nicht mehr Operationen nötig sind als die Maschine Umformstationen hat.

Eine Formenordnung für Waagrecht-Stauchmaschinen soll die typischen Stauchmaschinenteile in Formengruppen einordnen (Abb. 3); sie soll und kann lediglich die wichtigsten Formen erfassen (s.a. [3]). Die Ordnungsgesichtspunkte sind in mehreren Zeilen angegeben, deren einzelne Felder

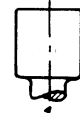
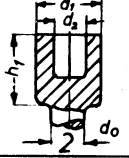
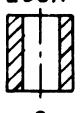
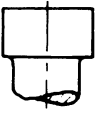
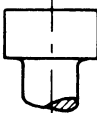
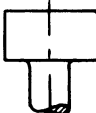
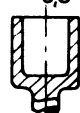


den drei hauptsächlichlichen Bearbeitungsarten - Stauchen, Lochen, Durchlochen - zugeordnet sind.

Als erster Ordnungsgesichtspunkt wurde in Zeile I die kennzeichnende Umformung gewählt, da nicht nur Kraft- und Arbeitsbedarf hiervon abhängen, sondern auch die Zwischenformung. Die Zeile II gibt die geometrischen Grundformen an, gekennzeichnet durch das Verhältnis von Enddurchmesser zu Endhöhe. Bei Teilen mit Absätzen muß man von Fall zu Fall entscheiden, ob aus verschiedenen Maßen ein Mittelwert gebildet wird oder zweckmäßiger die größten Abmessungen einzusetzen sind. Es werden hier nur die umgeformten Stellen berücksichtigt, während Schäfte nicht betrachtet werden. In der Zeile III wird das Verhältnis von Enddurchmesser zu Stangendurchmesser als Einteilungsmerkmal benutzt. Ist dieser Wert klein, dann sind keine oder nur eine Operation zur Massenverteilung nötig, man kann u.U. sofort fertig schmieden. Ist das Verhältnis dagegen groß, dann sind mehr Zwischenformungen nötig, um so mehr, je kleiner  $d_1/h_1$  bei gleichem  $d_1/d_0$ . Die ersten drei Zeilen lassen also Aussagen über Umformkräfte und -Arbeiten und über die Zahl der Zwischenformungen zu. Die vierte Zeile kennzeichnet die Größe des Lochdurchmessers im Verhältnis zum Außendurchmesser.

Die restlichen Zeilen betreffen die Werkzeugausbildung und den Ablauf des Umformvorganges. So ist es für Kräfte und Arbeiten belanglos, ob ein Teil ohne Schaft geformt oder ob das gleiche Formelement an eine Stange angestaucht wird. Es ist hierfür auch gleichgültig, ob eine Umformung mit dem Hauptstempel oder den Klemmbacken erfolgt. Dagegen ist die Werkzeugausbildung verschieden, wenn z.B. quer zur Längsachse oder in der Längsrichtung gelocht oder gestaucht werden soll. Wird eine Scheibe geschmiedet, so ist im Vergleich zum Anstauchen an eine Stange noch ein zusätzlicher Schervorgang erforderlich. Will man das Anschmieden von Köpfen an Stangen automatisieren, so hat der Vorschub mit einer Fördereinrichtung quer zur Hauptbewegung zu erfolgen. Wird von der Stange geschmiedet, so ist nach dem Abschmieden eines Teiles ein Vorschub in Richtung der Hauptbewegung zweckmäßig.

Die Werkstücke können durch Buchstaben und Zahlen gekennzeichnet werden. Die Zahlen dienen zur Bezeichnung der Umformart, der Grundform und der Verhältnisse  $d_1/d_0$  und  $d_2/d_1$ , und zwar entsprechen die Stellenwerte dieser Reihenfolge. Die übrigen Ordnungsgrößen werden zweckmäßig mit Buchstaben bezeichnet, die Länge des Schaftes stets, die übrigen nur bei einer Abweichung von einer als Normalfall angesehenen Form.



Grundform	Art	Vollkörper	Hohlkörper m. Sackloch	Hohlkörper m. durchgehendem Loch
	$d_1 / h_1$	$< 1$  1	$\approx 1$  2	$> 1$  3
	$d_1 / d_0$	$< 2$  1	$\approx 2$  2	$> 2$  3
	$d_2 / d_1$	$> 0,5$  1	$\approx 0,5$  2	$< 0,5$  3
Umformrichtung	längs (mit Hauptstempel)		quer (mit Klemmbacken)	
Symmetrie	symmetrisch zur Längsachse		unsymmetrisch	
Anzahl der Umformstellen	eine		mehrere	
Länge des Schaftes	$l \approx 0$	$l$ klein	$l$ groß	
	-	k	g	

A b b i l d u n g 3

Schmiedestücke aus der Waagrecht-Stauchmaschine

### 03 Ziel und Abgrenzung der Untersuchung

Der Zweck von Fertigungsvorgängen ist die Erzeugung von bestimmten Formen mit einer beherrschten Genauigkeit (Maß-, Form-, Lage- und Oberflächengenauigkeit) und günstigen Werkstoffeigenschaften in großen Stückzahlen je Zeiteinheit. Hauptgeometrie, Fehlergeometrie und Mengenleistung sind die wichtigsten Kennzeichen eines jeden Fertigungsverfahrens [4]. Die Hauptgeometrie von Schmiedestücken bestimmt die Umformkräfte und -arbeiten sowie die Zahl und Art der nötigen Zwischenformungen. Es geht also zunächst darum, diese Größen für die verschiedenen Formenklassen festzulegen. Die Fehlergeometrie wird außer von der Führungsgenauigkeit der Maschine, der Genauigkeit der Werkzeuge, dem Wärmvorgang, vor allem von den Rückwirkungen der Umformkräfte auf Maschine und Werkzeug beeinflusst. Auch die Zwischenformung ist von großem Einfluß auf die Genauigkeit, da von ihr der Verschleiß der Endgravur maßgeblich abhängt. Die Mengenleistung schließlich wird von ihr ebenfalls mitbestimmt.

Damit ergeben sich als Hauptaufgaben für die Untersuchung des Umformvorganges die Bestimmung von Umformkräften und Arbeiten, die Festlegung der Zwischenformen und die Betrachtung der Arbeitsgenauigkeit.

Es wurde deshalb das für Waagrecht-Stauchmaschinen typische Anstauchen betrachtet, und zwar sowohl das freie Anstauchen als auch das Anstauchen im Gesenk, weiter das Stauchen in Gesenken, das Lochen und das Verhalten der Klemmbacken während des Umformvorgangs. Die Schwierigkeit bei der Untersuchung von Umformungen in Gesenken liegt darin, daß bei einer Änderung von Einflußgrößen meist auch die Werkzeugabmessungen geändert werden müssen, d.h. eine Nacharbeit der Gravur oder ein neues Werkzeug nötig ist.

#### 1 Zur Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden in einer Waagrecht-Stauchmaschine mit senkrechter Klemmbackenteilung und abgeleitetem Klemmbackentrieb (Hersteller: Kieserling & Albrecht, Solingen, Modell SA 1) durchgeführt.

##### Maschinenkenngößen:

Größte Kraft in Klemm- und Stauchrichtung:	120 t
Nutzhub (Weg des Hauptstempels nach Schließen der Klemmbacken):	95 mm

Nutzarbeitsvermögen bei Einzelhub <sup>2)</sup> :	1700 mkg
Weg der beweglichen Klemmbacke:	64 mm
Hubzahl:	85 min <sup>-1</sup>
Gesamtfederzahl des Stauchtriebs <sup>2)</sup> : (Lagerspiel: 0,3 mm)	37 t/mm
Gesamtfederzahl des Klemmtriebs <sup>2)</sup> : (Lagerspiel: 0,4 mm)	55 t/mm

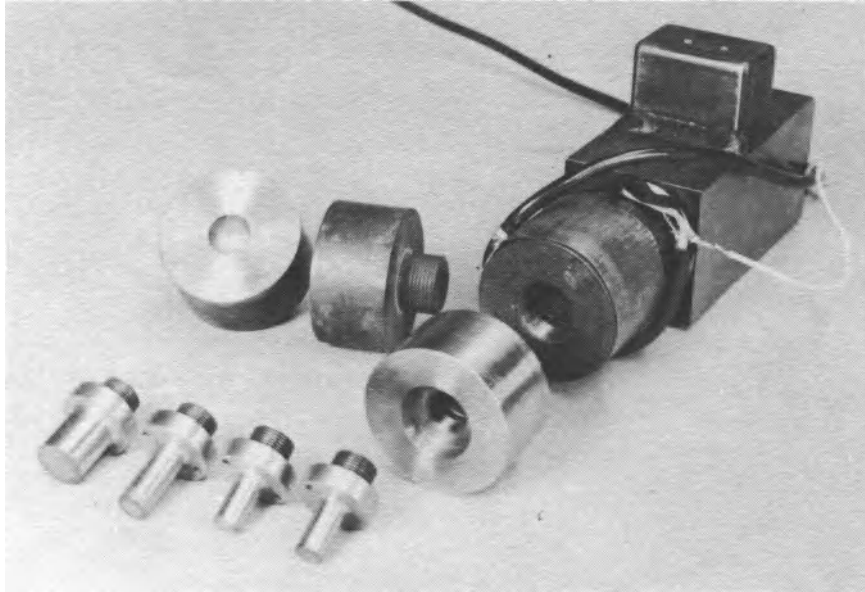
Bei allen Versuchen wurde gewalzter Rundstahl aus C 15 verwendet. Die Stangen wurden in einem gasgeheizten Stangenwärmofen erwärmt. Die Zunderbildung wurde durch Aufsetzen von Schutzhülsen in Grenzen gehalten. Mit Rücksicht auf die Anbringung von Meßgeräten wurde immer in dem oberen Klemmbackenpaar geschmiedet. Die Stangen wurden mit einer Temperatur in die Gravur eingelegt, die etwa 50° höher war als die Umformtemperatur. Die Stangen kühlten sich dann auf die gewünschte Umformtemperatur ab. Die Temperaturabnahme wurde mit einem Teilstrahlungs-pyrometer verfolgt, das auf die Mitte des außerhalb der Klemmgravur liegenden Stangenabschnitts gerichtet war. Beim Erreichen der Umformtemperatur löste der Beobachter den Umformvorgang aus.

Die Kräfte wurden mit Kraftgebern gemessen, die mit Dehnmeßstreifen beklebt waren. Zu diesem Zweck war der Stempelhalter vorn zylindrisch ausgebildet (Abb. 4). Auf dem Umfang waren je vier 120-Ω-Streifen im Aktiv- und Passivzweig gleichmäßig verteilt. Die Werkzeuge wurden entweder unmittelbar in den Stempelhalter eingeschraubt oder über ein Zwischenstück in ihm befestigt. Die Bohrung im Stempelhalter reichte nicht in die mit Dehnmeßstreifen beklebte Zone des Halters hinein. Zur Messung der Klemmkräfte wurde ein 2-Säulen-Meßgestell benutzt, das auf der feststehenden Klemmbackenseite angeordnet war und vorn eine Aufnahmeplatte für die Klemmbacke trug (Abb. 5). Die beiden Säulen schalteten wir hintereinander oder benutzten sie einzeln, um die Kraft an der Gravur- und der Klemmseite getrennt zu messen.

Für die Messung des Stempelweges wurde ein induktiver Verschiebungsgeber der Fa. Philips verwendet. Da die größte Auslenkung dieser Geber nur ± 1,5 mm beträgt, wurde die Stempelbewegung durch einen kegeligen Stift auf den Geber übertragen (Abb. 6). In der Abbildung ist der

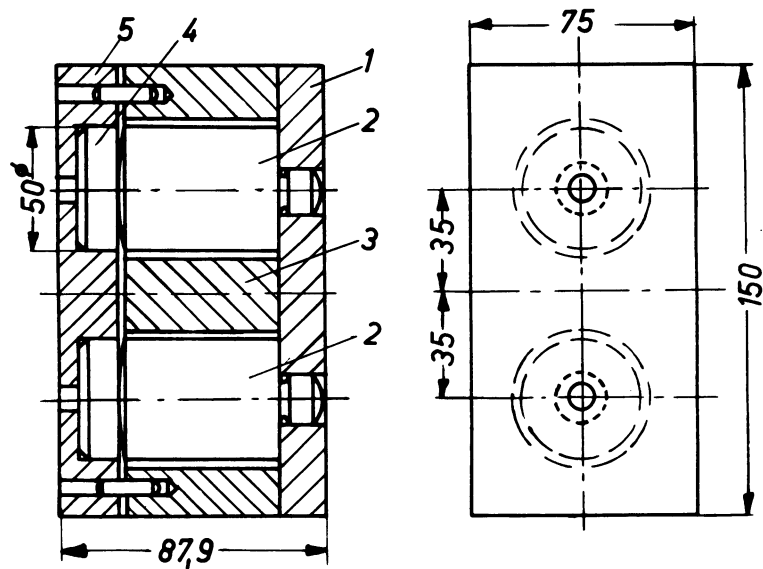
---

2. nach [5]



A b b i l d u n g 4

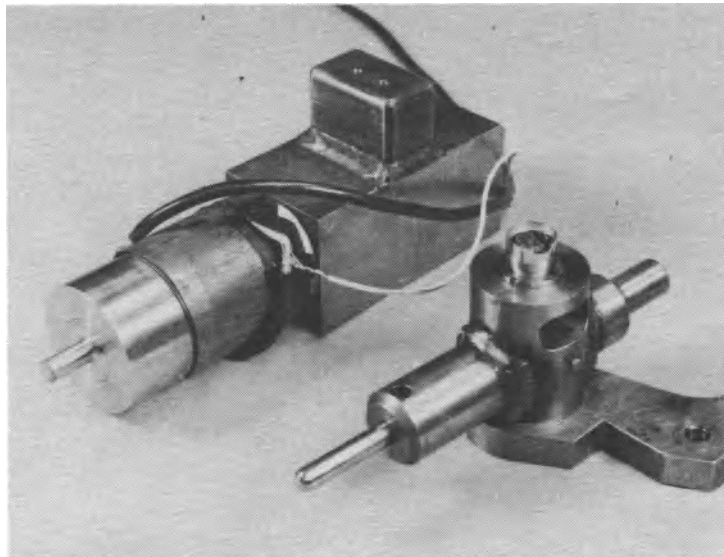
Stempelhalter mit Kraftgeber (Dehnmeßstreifen auf zylindrischem Teil durch Schutzhülse verdeckt); davor: Zwischenstück und zwei Stempel zum Anstauchen von Kegeln. Vorn: 4 Stempelleinsätze



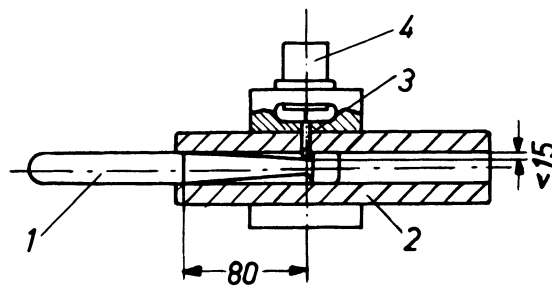
A b b i l d u n g 5

2-Säulen-Kraftmeßgestell

1 Grundplatte, 2 Meßsäule, 3 Mittelstück,  
4 Druckplatte, 5 Werkzeugplatte



a) einbaufertiger Stempelhalter und Weggeber



b) Schema des Weggebers.

1 Kegelbolzen, 2 Führung, 3 Übertragungsstift, 4 Verschiebungsgeber

A b b i l d u n g 6

Kraft- und Weggeber für den Hauptstempel

Kegelbolzen teilweise aus der Führung herausgezogen, der Verschiebungsgeber ist in der Mitte des Gehäuses eingeschraubt. Der Geber war auf der feststehenden Klemmbacke befestigt, der Kegelstift wurde von einem am Stempelhalter befestigten Anschlag verschoben (Abb. 7).

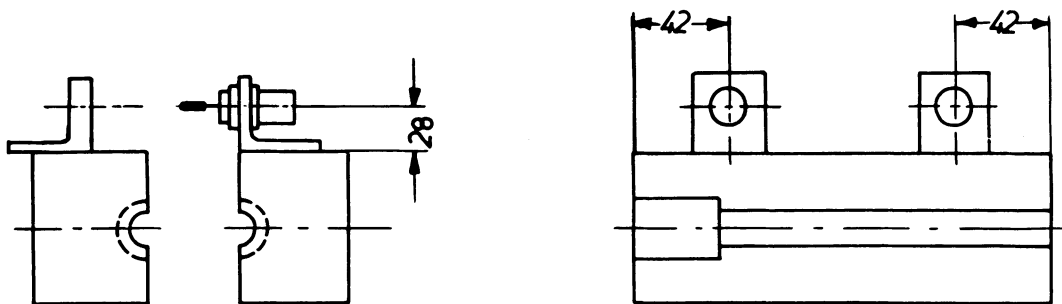
Bei zahlreichen Versuchen wurde auch die relative Bewegung der beiden Klemmbacken während des Schmiedens gemessen. Zu diesem Zweck waren auf der feststehenden Klemmbacke auf Klemm- und Gravurseite je ein Philips-Verschiebungsgeber angeordnet, die unmittelbar von zwei auf der beweglichen Klemmbacke angebrachten Anschlägen verschoben wurden. Hier kam es auf die genaue Aufzeichnung der kleinen gegenseitigen Verlagerungen der Klemmbacken während des Umformens an, so daß eine Übersetzung

unnötig und unzweckmäßig gewesen wäre. Die Lage der Geber geht aus der Abbildung 8 hervor.



A b b i l d u n g 7

Werkzeugraum der Waagrecht-Stauchmaschine mit Kraft- und Weggeber



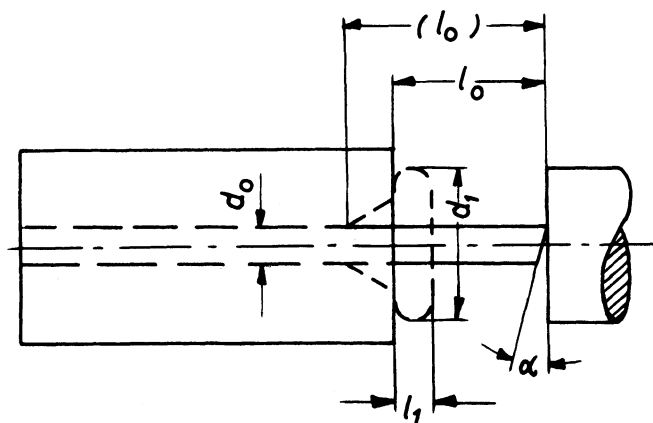
A b b i l d u n g 8

Anordnung der Verschiebungsgeber auf den Klemmblocken

Kräfte und Wege wurden von einem Oszillographen aufgezeichnet. Ein im Oszillographen eingebauter Zeitmarkengeber schrieb eine 1000-Hz-Zeitmarke.

## 2 Das Anstauchen in Waagrecht-Stauchmaschinen

Die Massenverteilung besteht beim Schmieden in der Waagrecht-Stauchmaschine hauptsächlich im Anstauchen von Stangen- und Stangenabschnitten. Wenn Werkstücke mit Schaft herzustellen sind, ist man hierbei an einen bestimmten Ausgangsdurchmesser gebunden; die Länge des anzustauchenden Stangenendes richtet sich dann nach dem Volumen des Fertigteils. Wenn das Stauchverhältnis  $s$ , das Verhältnis der freien, nicht in den Klemmböcken gespannten Stangenlänge  $l_0$  zum Durchmesser  $d_0$ , bestimmte Werte überschreitet, knickt die Stange beim Stauchen aus (Abb. 9). Die Folge sind: gestörter Faserverlauf, einseitige Werkstoffansammlung, Faltenbildung, beim Stauchen im Gesenk einseitige Gratbildung und unvollständige Ausfüllung der Gravur.



A b b i l d u n g 9

Freies Anstauchen in der Waagrecht-Stauchmaschine

### 21 Freies Anstauchen

In älteren Quellen wird meist angegeben, daß  $s_{zul} = 3$  sei. Nach OLBRICH [6] ist das Stauchverhältnis vom Ausgangsdurchmesser abhängig, und zwar soll dieser Wert mit zunehmendem Durchmesser kleiner werden.

$$l_{0 \max} = 1,88 d_0^{1,12} \quad \text{oder} \quad s_{zul} = 1,88 \cdot d_0^{0,12}$$

Nach STROBEL und WAGNER [7] ist:

$$l_{0 \max} = 0,01 d_0^2 + 2,5 d_0 \quad \text{oder} \quad s_{zul} = 0,01 d_0 + 2,5$$

Nach beiden Formeln wird das zulässige Stauchverhältnis größer als 3, wenn  $d_0$  größer als 50 mm wird.

Nach BRUCHANOW und REBELSKI [8] ist  $s_{zul}$  vom Durchmesser, vom Zustand des Stangenendes (gesägt oder geschert), von der Schräge des Stangenendes (Größe des Winkels  $\alpha$  ; s. Abb. 9) und von der Art des Stempels (eben, mit Eindrehung, mit Vorlochdorn) abhängig. Es gelten im einzelnen

für  $\alpha < 2^\circ$ , Stangen mit Säge oder durch sauberen Scherschnitt getrennt:

$$s_{zul} = 2 + 0,01 d_o < 3$$

$$\alpha = 2 - 6^\circ:$$

$$s_{zul} = 1,5 + 0,01 d_o < 2,5$$

$$\alpha = 2^\circ, \text{ Stempel mit Lochdorn:}$$

$$s_{zul} = 1,5 + 0,01 d_o < 2$$

$$\alpha = 2 - 6^\circ:$$

$$s_{zul} = 1 + 0,01 d_o < 1,5$$

Nach BILLIGMANN [9] ist bei  $s = 3$  ein einwandfreier Faserverlauf nicht mehr zu erreichen. Man lasse jedoch häufig beim Warmstauchen eine gewisse Knickung der Fasern zu. Die Grenze des Stauchverhältnisses sei im übrigen unabhängig von Temperatur und Werkstoff. Sie betrage für ebene Stempel 2,3, für Stempel mit einer Eindrehung, die das Ausweichen des freien Stangenendes verhindert, etwa 2,5 bis 2,6. In Abbildung 10 sind die genannten Werte in Abhängigkeit vom Durchmesser aufgetragen.

Da die Angaben über das zulässige Stauchverhältnis stark schwanken, sollten eigene Versuche Aufschluß über dessen Wert geben. Als Einflußgrößen wurden die Temperatur, die Schräge des Stangenendes, der Zustand des Stangenendes (gesägt oder geschert) und der Durchmesser betrachtet. An den gestauchten Proben wurde die Außermittigkeit bestimmt. Zu diesem Zweck wurden die angestauchten Köpfe von den Stangen in der Weise abgeschnitten, daß noch ein kurzes Stück der Stange am Kopf blieb. Diese Teile wurden einmal mit dem Stangenende, alsdann mit dem Kopf im Futter einer Drehbank gespannt und jeweils zentriert. Der Mittenabstand der beiden Zentrierbohrungen gibt die Außermittigkeit des angestauchten Kopfes gegenüber der Stange an. Er wurde unter einem Profilprojektor bei zwanzigfacher Vergrößerung gemessen. Die Außermittigkeit ist eine Folge des Ausknickens beim Anstauchen, das eine einseitige Werk-