

Zolotuchin, N.M., Šinkarenko, O.M.

EXPERIMENTELLE BESTIMMUNG DES UMFORMWIDERSTANDES VON WERKSTÜCKEN  
BEIM RECKSCHMIEDEN

Deutsche Übersetzung aus:

Kuznečno-šampovočnoe proizvodstvo. Moskva, 22 (1980)  
Nr 3, S. 3 - 5.

Russ.: **Экспериментальное исследование сопротивления поковок  
деформированию при протяжке**

Eksperimental'noe issledovanie soprotivlenija  
pokovok deformirovaniju pri protjazke

Eine Hauptursache für die ungenügende Herstellungsgenauigkeit der Werkstücke beim automatischen Schmieden (Reckschmieden) auf hydraulischen Pressen mit Pumpen-Akkumulator-Antrieb besteht im beschleunigten Auslauf (während des Ventilschließens) und verlangsamten Auslauf (nach dem Schließen der Ventile) der Traverse, wenn sie im vorgegebenen Abstand abgebremst wird. Um ein genaues Schmieden zu erreichen, muß das automatische System zur Steuerung der Presse die Werte des angenommenen beschleunigten und verlangsamten Auslaufs während eines jeden Stauchvorgangs vorsehen. Großen Einfluß auf den Auslauf und damit insgesamt auf die Dynamik der Schmiedepresse hat der variable Umformwiderstand der Werkstücke. In den meisten Untersuchungen über Schmiedepressen [1, 2] wird einfach angenommen, der Widerstand des Werkstücks nehme je nach Stauchungsgrad monoton zu. Bekanntlich verläuft die Warmumformung jedoch viel komplizierter, gleichzeitig begleitet von Festigungs- und Entfestigungsvorgängen [3, 4, 5].

Zur Untersuchung der Art des Umformwiderstands von Werkstücken wurden die Arbeitstakte einer hydraulischen Schmiedepresse mit einem Druck von 6 000 t/p über einen Pumpen-Akkumulator-Antrieb, die in der Fabrik "Dneprospecstal" aufgestellt ist, untersucht. Die hydraulische Arbeitsweise der Presse ist in Abb. 1 schematisch dargestellt. Im Verlauf der Ver-

suche wurden über einen Satz Geber festgehalten: Druck in der Hauptdruckleitung vor dem Hauptverteiler und in den Zuleitungen der Kraft- und Rücklaufzylinder (über die Tensomanometer 10, 11 und 12); Hubhöhe der Regulier- und Überlaufventile und Tischdurchbiegung (Tensorstäbe 13, 11 und 15); Hub der beweglichen Traverse (über das Potentiometer-rad 16 und den Tensorstab 17). Die Geberanzeigen wurden mit der Tensoranlage 8LNC-7M und dem Lichtstrahloszillographen N-0.41 festgehalten. Eine Besonderheit dieser Untersuchung bestand darin, genauere Informationen über das Heranfahren der Traverse an das vorgegebene Maß zu erhalten. Ihr Hubende wurde parallel zum Hauptgeber (Potentiometer-rad 16) auch noch mit den Tensorstab 17 festgehalten; bei letzterem ist die Auflösungs-fähigkeit 8 mal größer als beim Rad. Gleichzeitig wurde über die große Auflösung des Tensorstabes 15 die Veränderung der Tischdurchbiegung der Presse aufgezeichnet.

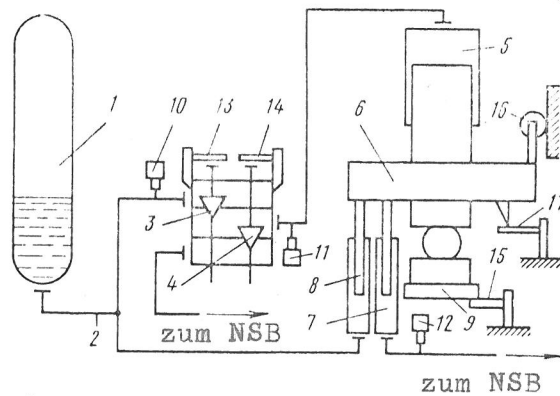


Abb. 1. Schematische Darstellung der hydraulischen Arbeitsweise einer Schmiedepresse mit Pumpen-Akkumulator-Antrieb: 1) Akkumulator; 2) Hauptdruckleitung; 3) Regulierventil; 4) Überlaufventil; 5) Kraftzylinder; 6) bewegliche Traverse; 7) Rücklaufzylinder; 8) Ausgleichszylinder; 9) Pressetisch; 10) - 12) Tensomanometer; 13) - 15) und 17) Tensorstäbe; 16) Potentiometer; NSB - Überlaufbehälter.

Die Anlage des Tensorstabes zum Aufzeichnen des Arbeitstaktendes der Presse ist in Abb. 2 schematisch dargestellt. Der Tensorstab 1 ist über die Buchse 2 an der Konsole befestigt. Die Buchse kann man am senkrechten Ständer 3, der an die Bodenplatte 4 angeschweißt ist, bewegen. Die Bodenplatte deckt die Grube zu und liegt auf einem Betonfundament. An der Buchse befindet sich die Stellschraube 5 mit einem Handhebel. Beim Schmieden wird der Tensorstab 1 angebracht und so eingestellt, daß die bewegliche

Traverse 6 mit ihrem Anschlag 7 am Arbeitstaktende auf sein freies Ende gedrückt wird und dieses um 20 - 25 mm verschiebt. Dies wurde auch mit dem Oszillographen festgehalten. Zur Vermeidung von Vibrationen wurde der Tensorstab im freien Zustand leicht an die mit ihm verbundene Stütze 8 angedrückt.

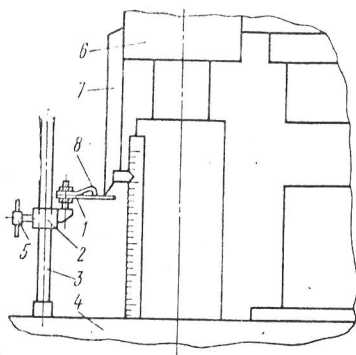


Abb. 2. Schematische Darstellung der Anlage des Tensorstabes zum Aufzeichnen des Arbeitstaktendes der Presse

Der Tensorstab zum Messen der Tischdurchbiegung der Presse wurde an einem festen Ständer angebracht, der zwischen den Tragsäulen an die Bodenplatte angeschweißt war und sich mit seinem freien Ende auf die Tischfläche mit dem Untergesenk stützte. Damit der Stab bei Verschiebungen des Tisches nicht beschädigt werde, wurde an seinem Ende eine Rolle befestigt. Ein typisches Oszillogramm des Arbeitstakts zeigt Abb. 3. Wir untersuchen schrittweise die Bewegung der Traverse der Schmiedepresse, wobei wir uns auf das genannte Oszillogramm beziehen: bei völlig geöffnetem Regulierventil, während des Ventilschließens und nach dem Schließen. Im ersten Abschnitt mit einer Dauer von 0,6 sec bewegt sich die Traverse mit einer fast konstanten Geschwindigkeit von 72 mm/sec abwärts. Der Druck in den Kraftzylindern nimmt kontinuierlich zu (bis auf 180 kp/cm<sup>2</sup>), und der Tisch biegt sich je nach Zunahme der Umformstärke durch. Im zweiten Abschnitt, d.h. während des Schließens des Regulierventils, wird die Traverse, die in 0,13 sec einen Weg von 7 mm bewältigt (beschleunigter Auslauf), merklich abgebremst. Ihre Geschwindigkeit beträgt zum Zeitpunkt des Schließens des Ventils 30 mm/sec. Der Druck in der Hauptleitung der Kraftzylinder sinkt auf 150 kp/cm<sup>2</sup>, und der Pressentisch, der den tiefsten Durchbiegungspunkt erreicht hat, bleibt in dieser Stellung. Im dritten Abschnitt formt die langsam an Geschwindigkeit verlierende Traverse das Werkstück weiter um und hält nach 0,3 sec, nachdem sie nach dem Ventilschließen 3,1 mm durchlaufen hat (verlangsamter Auslauf), an. Der Pressentisch bewegt sich nach oben,

der sich senkenden Traverse entgegen und durchläuft bis zum Zeitpunkt des völligen Stillstands der Traverse ca. 1 mm (Auslauf des Tisches). Der Druck in den Kraftzylindern steigt zuerst wieder auf  $175 \text{ kp/cm}^2$  an, und sinkt dann mit gewissen Schwankungen. Der Druck in den Rücklaufzylindern ist während des gesamten Arbeitstakts nahe dem Druck im Überlaufbehälter ( $5 - 6 \text{ kp/cm}^2$ ).

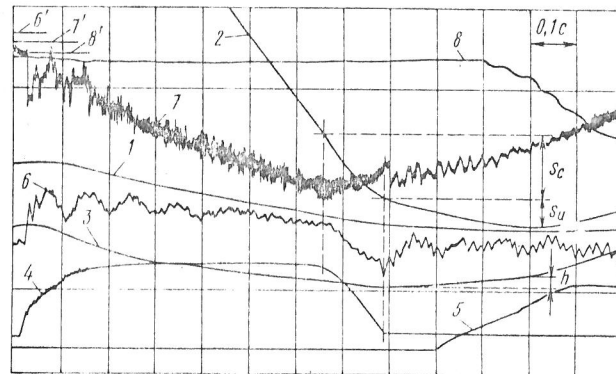


Abb. 3. Typisches Oszillogramm des Arbeitstakts einer Schmiedepresse mit einem Druck von 6 000 t/p:  
1) Hub der Traverse der Presse (Potentiometer); 2) Hub der Traverse der Presse (Tensorstab); 3) Tischdurchbiegung; 4) Verlauf des Regulierventils; 5) Verlauf des Überlaufventils; 6) Druck in der Hauptdruckleitung; 7) Druck in den Zuleitungen der Kraftzylinder; 8) Druck in den Rücklaufzylindern.  
 $S_c$  - beschleunigter Auslauf der Traverse;  $S_u$  - verlangsamter Auslauf der Traverse;  $h$  - Tischdurchbiegung nach oben; 6', 7', 8' - Nullmarken der jeweiligen Druckkurven.

In allen Oszillogrammen ist das Bild, wie hier beschrieben, gleich (mit unterschiedlichen Werten des beschleunigten und verlangsamten Auslaufs). Die Besonderheit liegt im Verhalten der beweglichen Traverse und des Pressentischs nach dem Schließen des Regulierventils, wenn sich beide aufeinander zu bewegen und das Werkstück von oben und von unten umformen. Wie aus der Auswertung der Versuche und von Arbeit [4] hervorgeht, läßt sich dies folgendermaßen erklären.

Beim Warmumformen spielen sich im Werkstoff gleichzeitig zwei Vorgänge ab: Verfestigung und Entfestigung. Von der Geschwindigkeit, mit der diese Vorgänge durchlaufen werden, hängt im Wesentlichen auch die Art des Umformwiderstands des Werkstücks ab. Im ersten Abschnitt des Arbeits-

takts formt die Traverse bei völlig geöffnetem Regulierventil unter der Einwirkung des hohen Drucks der Flüssigkeit das Werkstück ziemlich stark, wobei Entfestigungsvorgänge im Werkstück unterdrückt werden, und die Verfestigung, d.h. der Umformwiderstand, zunimmt, was auch auf dem Oszillogramm festgestellt werden kann (Abb. 3). Mit Beginn des Schließens des Regulierventils vollzieht sich eine starke Drosselung (Energieentzug) der Strömung. Die beweglichen Teile der Presse und die Flüssigkeit in der Hauptdruckleitung sind neben der aktiven hydrostatischen Kraft zwei entgegengesetzt gerichteten Kräften unterworfen: der Kraft des hydraulischen Widerstands, die eine Zunahme der Umformkraft verhindert, und der Trägheitskraft, die eine Zunahme begünstigt. Infolge der Wechselwirkung dieser Kräfte nimmt der Anstieg der Umformkraft je nach Schließen des Ventils ab, und im Werkstoff wird der Rekristallisationsprozess verstärkt, weshalb sich die Verfestigungs- und Entfestigungsvorgänge gegenseitig aufheben.

Nach dem Schließen des Regulierventils bekommt im Werkstoff des Werkstücks der Entfestigungsvorgang Übergewicht. Die bewegliche Traverse, die sich unter dem Einfluß der hydrostatischen und Trägheitskräfte weiter senkt, formt das Werkstück von oben, und das Untergesenk, das sich unter dem Einfluß der Elastizitätskräfte des Tisches nach oben bewegt, formt das sich entfestigende Werkstück von unten. Weil das Volumen der geschlossenen Zylinderräume aufgrund des verlangsamten Auslaufs und in Verbindung mit dem Öffnen des Überlaufventils zunimmt, sinkt der Druck der Arbeitsflüssigkeit stark, und die hydrostatische Kraft, die auf das Werkstück einwirkt, wird durch ihren Restwiderstand ausgeglichen; die Traverse bleibt stehen und kehrt danach unter Einwirkung der Elastizitätskräfte des Tisches und der Rücklaufzylinder in die Ausgangsstellung zurück.

Interessant ist, daß ein nicht rechtzeitiges Öffnen des Überlaufventils und ein verlangsamter Ablauf der Hochdruckflüssigkeit aus den Kraftzylindern den verlangsamten Auslauf der beweglichen Traverse stark zunehmen lassen. Und umgekehrt: je kürzer der Abstand zwischen dem Schließen des Regulierventils und dem Öffnen des Überlaufventils, desto geringer ist der Auslauf. Wie die Versuche zeigten, waren die verlangsamten Ausläufe unter gleichen Arbeitsbedingungen wie oben beschrieben (vgl. Abb. 3), jedoch ohne Pause zwischen dem Schließen des Regulierventils

und dem Öffnen des Überlaufventils, um annähernd das Zweifache kleiner und betragen 1,5 - 1,6 mm.

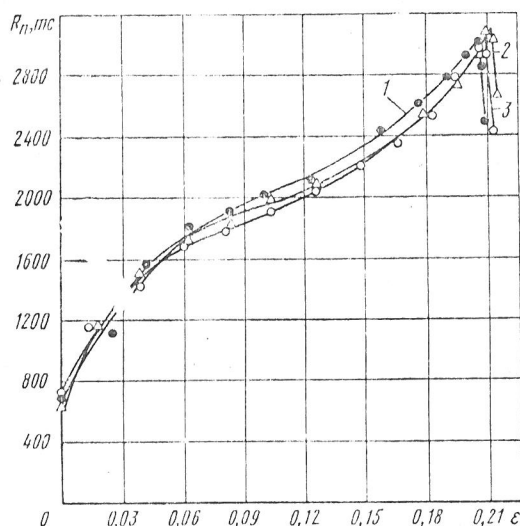


Abb. 4. Versuchskurven der Veränderung des Umformwiderstands von Werkstücken ( $R_H$ ) in Beziehung zum Stauchen ( $\epsilon$ ), die beim Aufzeichnen von drei aufeinanderfolgenden Arbeitstakten der Presse ermittelt wurden (1, 2, 3)

Abb. 4 zeigt die Versuchskurven der Veränderung des Umformwiderstands von Werkstücken in Beziehung zum Stauchen, die beim Aufzeichnen von drei aufeinanderfolgenden Arbeitstakten der Presse ermittelt wurden. Bei einer Schmiedetemperatur von  $1100^\circ\text{C}$  wurde ein runder Rohling mit 450 mm Durchmesser aus Stahl der Marke EI703 mit Halbrundgesenken (Umklammerungswinkel  $100^\circ$ ) behandelt. Die entsprechenden Stauchvorgänge des Rohteils wurden nach der Formel

$$\epsilon = \frac{H_H - H_T}{H_H}$$

bestimmt, wobei  $H_H$  die Höhe des Rohteils bis zum Stauchbeginn und  $H_T$  die fließende Höhe des Rohteils bezeichnen. Der Wert  $H_H$  wurde vor Versuchsbeginn mit einem Schmiedemeßinstrument gemessen, und der Wert  $H_T$  ergab sich aus den Oszillogrammen bei der Auswertung.

Es soll noch hinzugefügt werden, daß alle genannten Kurven nichtlinear sind, und daß die Entfestigung zum Schluß des Stauchens durchschnittlich 20 - 25 % vom größten Umformwiderstand betrug. Das Widerstandsmaximum tritt annähernd zum Zeitpunkt des Schließens des Regulierventils auf.

Die Versuche zeigten auch, daß der Tisch der hydraulischen Schmiedepresse, welcher eine eigenartige Feder darstellt, sehr feinfühlig auf die Veränderung des Umformwiderstands der Werkstücke reagiert und in automatisch gesteuerten Pressen als Indikator für diesen Wert verwendet werden kann. Seine Belastungscharakteristik ist jedoch nicht-linear, weshalb für eine richtige Bewertung des Umformwiderstands von Werkstücken außer dem Geber für die Tischdurchbiegung auch noch ein funktionaler Umwandler notwendig ist. Die aus dem Geber für die Tischdurchbiegung hervorgehende Information kann außerdem direkt zur Korrektur der Koordinaten des Wendegetriebes der Traverse verwendet werden, da der Wert der Tischdurchbiegung beim Schmieden durchschnittlich 3 - 4 mm beträgt. Der zum Messen der Tischdurchbiegung nach dem Druck in den Kraftzylindern gebaute Geber kann keine genaue Information liefern, da sich am Arbeitstaktende eine Nichtübereinstimmung zwischen der Veränderung des Flüssigkeitsdrucks in den Zylindern und der Richtung der Tischdurchbiegung feststellen läßt (siehe Abb. 3).

#### Schlußfolgerungen

1. Auf die Werte des beschleunigten und des verlangsamten Auslaufs der Traverse beim Schmieden auf hydraulischen Pressen haben die Verfestigungs- und Entfestigungsvorgänge, die im Werkstoff des Werkstücks ablaufen, großen Einfluß.
2. Der Tisch der Presse und die bewegliche Traverse sind feinfühligere Indikatoren für die Veränderung des Umformwiderstands von Werkstücken und können benutzt werden, um die notwendige Information über den Ablauf der Verfestigungs- und Entfestigungsvorgänge des Werkstoffs der Werkstücke zu gewinnen, wie sie in experimentellen Untersuchungen und bei automatisch gesteuerten Schmiedepressen benötigt wird.

#### Literaturverzeichnis

1. Гордин В. Г. Теоретические основы гидравлического расчёта кованых прессов. М. — Л.: Машигиз, 1960, с. 10—18.

Gordin, V.G.

Teoretičeskie osnovy gidravličeskogo rasčeta kovočnych processov. Moskva-Leningrad: Verlag "Mašgiz", 1960; hier: S. 10 - 18.

⟨Theoretische Grundlagen zur hydraulischen Berechnung der Schmiedevorgänge; russ.⟩



2. Синицкий В. М., Анценгрубер Т. К. О линеаризации уравнений движения подвижной поперечины гидравлических прессов. — Кузнечно-штамповочное производство, 1968, № 10, с. 29—33.

Sinickij, V.M., Ancengruber, T.K.: O linearizaciji uravnenij dviženija podviznoj poperečiny gidravličeskich processov.

In: Кузнечно-штамповочное производство. Москва, 10 (1968), Nr 10, S. 29 - 33.

⟨Über eine Linearisierung der Bewegungsgleichungen für die bewegliche Traverse hydraulischer Prozesse; russ.⟩

3. Губкин С. И. Теория обработки металлов давлением. М.: Metallurgizdat, 1947.

Gubkin, S.I.

Teorija obrabotki metallov davleniem.

Moskva: Verlag "Metallurgizdat", 1947.

⟨Theorie der Druckumformung von Metallen; russ.⟩

4. Охрименко Я. М. Количественный метод исследования разупрочнения металлов при горячей деформации. — Известия вузов. Черная металлургия, 1962, № 9.

Ochrimenko, Ja.M.: Količestvennyj metod issledovanija razupročnenija pri gorjacej deformacii.

In: Izvestija. Vyssie učebnye zavedenija. Černaja metallurgija. Moskva, 5 (1962), Nr 9, S. 111 - 115.

⟨Qualitative Untersuchungsmethode über die Entfestigung beim Warmumformen; russ.⟩

5. Золотухин Н. М., Кузьминцев В. Н. О падении сопротивления металла деформированию при ковке крупных поковок из слитка. — Сб., Конструирование и технология машиностроения, НИИПТМаш, вып. 1. М.: Машгиз, 1961.

Zolotuchin, N.M., Kuz'mincev, V.N.: O padenii soprotivlenija metalla deformirovaniju pri kovke krupnych pokovok iz slitka.

In: Konstruivovanie i tehnologija mašinostroenija. [Sammelband]. Naučno-issledovatel'skij i proektno-technologičeskij institut mašinostroenija. Moskva, 1 (1961), S. 203 - 207.

⟨Über die Abnahme des Umformwiderstandes des Metalls beim Schmieden großer Schmiedestücke aus einem Block; russ.⟩

Stuttgart, den 20. Oktober 1981

übersetzt von

*Ottmar Pertschi*  
(Ottmar Pertschi)  
Dipl.-Übersetzer