

(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt und dem
Forschungslaboratorium des Siemens-Konzerns.)

Einige Messungen über den Fließdruck von Metallen in tiefen Temperaturen.

Von **R. Holm** und **W. Meissner** in Berlin-Charlottenburg.

Mit 2 Abbildungen. (Eingegangen am 26. Januar 1932.)

Versuchsordnung für Messungen in tiefen Temperaturen nach der Kugeldruckmethode zur Bestimmung der Berührungsfläche von Kontakten, die bis zum Fließdruck belastet sind. Messungen an Au, Pt, Ag, Pb, Sn, Cu. Form der Eindrücke. Diskussion der Resultate.

Anlässlich einer Untersuchung über das Verhalten von Kontakten in tiefen Temperaturen¹⁾ entstand die Frage nach dem Fließdruck der verwendeten Metalle bei den niedrigen Temperaturen. Es galt nämlich, die Berührungsfläche der bis zum Fließdruck belasteten Kontakte aus der Last zu berechnen. Wir führten einige Messungen nach der Kugeldruckmethode aus.

Die Meßanordnung ist in Fig. 1 veranschaulicht. W ist ein ungleich-armiger Waagebalken, der von dem Gestell G getragen wird. A ist eine Arretiervorrichtung. Bei E_1 trägt der Balken eine Schale für Gewichte, bei E_2 einen Neusilberdraht. An letzterem hängt unten eine kleine Schale, in deren Mitte, durch eine Vertiefung dort fixiert, eine Stahlkugel K von 2,5 mm Durchmesser, wie sie in Kugellagern verwendet wird, ruht.

R ist ein an G befestigtes 30 cm langes Neusilberrohr. Durch zwei Öffnungen in dessen Wandung kann der Schlitten S ein wenig oberhalb von K eingeschoben werden. Der Schlitten trägt auf seiner unteren Seite das Probestück p . Wenn man die belastete Waage entarretiert, so wird K gehoben und gegen das Probestück p gedrückt. Wählt man die Last P groß genug, so wird praktisch

die belastete Waage entarretiert, so wird K gehoben und gegen das Probestück p gedrückt. Wählt man die Last P groß genug, so wird praktisch

¹⁾ R. Holm u. W. Meissner, ZS. f. Phys. 74, 715, 1932.

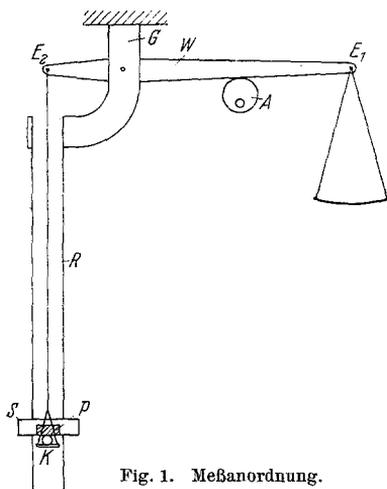


Fig. 1. Meßanordnung.

in der ganzen Berührungsfläche zwischen K und p (eine Kreisfläche mit dem Radius a) der Fließdruck f erreicht, und annähernd gilt:

$$P = f\pi a^2. \tag{1}$$

Die Fläche πa^2 ist nachträglich als bleibender Eindruck mikroskopisch ausmeßbar. Auf Grund der Bestimmung von P und a berechnet man f .

Für die Untersuchungen in tiefen Temperaturen wurde das Rohr R nebst Probestück und Kugel entweder in flüssigen Stickstoff oder in flüssigen Wasserstoff getaucht. R war aus Neusilber hergestellt, um die Wärmezufuhr zur Kühlflüssigkeit klein zu halten.

Zwei Meßreihen wurden ausgeführt:

Meßreihe I mit nicht genau definierten Probestücken.

Meßreihe II mit Probestücken aus dem für die betreffenden Kontakte verwendeten sehr reinen Material.

Die Probestücke wurden in ihrer Fassung getempert.

Bei allen Messungen war die Zeit, während welcher der Kugeldruck wirkte, 1 Minute.

Die Meßresultate sind in Tabelle 1 zusammengefaßt.

Tabelle 1.

Metall	Meßreihe	Temp. abs.						Tiefe t mm	Temp. abs.		
		293°		77°		20°			293°	77°	20°
		p kg	$2a$ mm	p kg	$2a$ mm	p kg	$2a$ mm		f in 10^3 kg/cm ²		
Au, Polykrist.	I	5	0,55	15	0,83				2,1	2,8	
	I	2,5	0,38	5	0,50				2,2	2,6	
Au, Polykrist.	II	2,5	0,50	5	0,57	10	0,69*	0,04	1,3	1,96	2,7
Au, Einkrist.	II	2,5	0,44	5	0,57	10	0,69*		1,64	1,96	2,7
Pt	II	5	0,464	7,5	0,29	25	0,345		3,0	11,4	26,7
Ag	I	2,5	0,75			25	(0,40)		0,57		(20)
	I	1	0,474						0,57		
Pb	I	1	0,572	6	0,96	5	(0,815)		0,39	0,83	(0,96)
	I			2,5	0,582					0,94	
Pb	II	1	0,67	2,5	0,72	10	(0,85)*	0,085	0,28	0,62	(1,76)
Sn	I	1	0,38	20	0,736	25	(0,54)*	0,03	0,89	4,7	(10,9)
	II	1	0,53	2,5	0,374	10	0,48*		0,45	2,3	5,5
Cu	II	2,5	0,40			5	0,40		2,0		4,0
	II					10	0,56*				4,1

Die eingetragenen Werte $2a$ sind Mittelwerte von Ausmessungen des Eindruckes in mindestens zwei zueinander senkrechten Richtungen. Die einzelnen Messungen streuen meistens nur um 1%, in Ausnahmefällen bis zu 5% um das Mittel. Unsichere Messungen sind in Klammern gesetzt.

Die gemessenen Eindrücke hatten im allgemeinen ziemlich scharfe Ränder, so wie man sie von Härtemessungen nach der Kugeldruckmethode kennt. Aber Ausnahmen hiervon bildeten die durch Sterne bezeichneten Messungen bei 20° abs. Bei ihnen waren die Ränder sanft abgerundet (Fig. 2) und die Mitte des kugelkalottförmigen Eindruckes A war tiefer versenkt, als seiner Größe entsprechend. Die betreffende mikroskopisch bestimmte Tiefe t ist in der Tabelle in drei Fällen angegeben. Bei den Einkristallen war außerdem der Eindruck nicht kreisrund, sondern er besaß vier deutliche Ecken.

Als Beispiel für die Fälle mit abgerundetem Rand betrachten wir die Messung II am Blei. Die Tiefe $t = 0,085$ mm würde bei dem Kugeldurchmesser von 2,5 mm einem Eindruckdurchmesser von $2\sqrt{2,5 \cdot 0,085} = 0,92$ mm

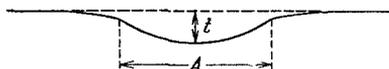


Fig. 2. Eindrücke bei 20° abs.

entsprechen. Bis zur stärksten Krümmung des Randes ist der Durchmesser A (siehe Fig. 2) aber nur gleich 0,85 mm gemessen worden. Von dieser Stelle aus findet dann ein ganz allmählicher Übergang zur unveränderten ebenen Oberfläche des Metallstückes statt. Der größte Durchmesser, bis zu dem eine Deformation stattgefunden hat, läßt sich im Mikroskop nicht mit Sicherheit feststellen. Natürlich muß er entsprechend Fig. 2 erheblich größer als der Durchmesser 0,92 mm der Kugelkalotte sein. Für den vorliegenden Fall kommt es aber nur auf die wirkliche Berührungsfläche, die den Kontakt bildet, an; deren Durchmesser muß entsprechend Fig. 2 sogar kleiner als 0,85 mm sein.

Diskussion der Meßresultate. Zwei Tatsachen fallen in der Tabelle 1 sofort auf:

1. Der Fließdruck wächst mit sinkender Temperatur stark an, am stärksten bei Silber, verhältnismäßig wenig bei Gold.

2. Die Verfestigung bei Bearbeitung macht sehr viel aus. Darum ergibt die Meßreihe II am ausreichend getemperten Gold für die Zimmertemperatur auffallend kleine f -Werte.

Die verwischten Ränder der bei den tiefsten Temperaturen erhaltenen Eindrücke verdienen eine besondere Beachtung. Sie machen den Eindruck, als ob eine Oberflächenschicht des Metalles zäher als das tiefer liegende Material ist, oder es während des Versuches wurde. Eine kleine Holunderkugel würde, auf der Caseinhaut von gekochter Milch ruhend, einen ähnlichen Eindruck geben. Wie aus dem eben behandelten Beispiel, Messung II an Pb, hervorgeht, reicht der bei 20° abs. gemessene Durchmesser A über denjenigen Teil der Vertiefung hinaus, der sich anscheinend nach der Kugeloberfläche verformt hat, d. h. der betreffende Durchmesser A ist größer als derjenige der Berührungsfläche. Es ist nicht ausgeschlossen, daß er bis zu 30 oder 40% größer war, die Berührungsfläche also bis zu zweimal kleiner war, als für die Tabelle berechnet wurde.

Wir veröffentlichen die obigen Messungen nicht zusammen mit den Kontaktuntersuchungen, für die sie zunächst ausgeführt wurden, sondern in einer besonderen Mitteilung, um sie den Interessenten zugänglicher zu machen. Wir haben aber nicht die Absicht, sie gegenwärtig weiter zu führen, unterlassen daher naheliegende Erweiterungen und versuchen auch nicht unsere Befunde zu erklären. Denn die einfache Versuchsmethode, die verwendet wurde, weil sie gerade die Größen lieferte, die für die Kontaktwiderstandsmessungen gebraucht wurden, ist zum Studium der physikalischen Grunderscheinung, d. h. des Fließens, nicht besonders geeignet; hierfür sind Methoden, wie sie von Polanyi und Schmid verwendet wurden, besser¹⁾.

¹⁾ Vgl. z. B. W. Meissner, M. Polanyi u. E. Schmid, ZS. f. Phys. **66**, 477, 1930.