

Versuche an gespritzten Metallschichten

Vom Hofe, Hans
Hofmann, Wilhelm
Suchan, Günther

Veröffentlicht in:
Abhandlungen der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft Band 2, 1950,
S. 175-184



Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig

Versuche an gespritzten Metallschichten

Von **Hans v. Hofe, Wilhelm Hofmann und Günther Suchan**

Mit 11 Abbildungen

Vorgelegt von Herrn **O. Schmitz**

Abstract: Steel was sprayed upon a steel shaft and this cut into cylindrical samples. By annealing the discs in hydrogen and in vacuum between 900 and 1200°C, diffusion between the base steel and the coat was observed. By this the adhesive resistance to tension and shear increased. — Two steel discs were sprayed with brass on one side, and one brass side laid upon the other. Then the double samples were pressed in the tensile testing machine of Amsler and the shortening measured by mirror reading. From these measurements, and the analogous ones made upon two steel samples without coating, resulted the elastic and plastic shortening of the layer itself. In a similar manner samples of cast iron, sintered iron and sprayed steel without a basis were examined and the graphs of elastic and plastic compression compared. Sprayed steel showed a brittle rupture like cast iron, the compression tension reaching at least 85 kg/mm².

Im Metallspritzverfahren, das auf eine Erfindung von Schoop zurückgeht, wird mit Hilfe einer sogenannten Spritzpistole das in Pulver-, Draht- oder Bandform zugeführte Material durch eine Schweißflamme, im Lichtbogen oder induktiv geschmolzen und durch einen Preßluftstrom auf den zu metallisierenden Gegenstand geschleudert. Praktische Bedeutung haben bisher nur die Drahtspritzpistolen erlangt. Die Haftung des Überzuges wird durch eine besondere Vorbereitung des Werkstückes erzielt. Bewährt hat sich das Sandstrahlen, das Aufschneiden eines Gewindes oder Einhobeln von Riefen. Diese Aufräuhung der Oberfläche ist notwendig, da zwischen der Spritzschicht und dem Untergrund kein metallischer Verbund, sondern nur eine mechanische Verklammerung erzielt wird. Das Verfahren hat sich für Korrosionsschutzüberzüge eingebürgert. Die Schutzwirkung kann durch Imprägnieren mit organischen Stoffen verbessert werden, da die Metallüberzüge keineswegs dicht sind. Die Schichten besitzen gute Verschleißfestigkeit. Daher machen verschiedene Betriebe die verschlissenen Lagerstellen von Stahlwellen durch Aufspritzen von Stahl wieder verwendungsfähig. Einige Firmen empfehlen das Verfahren zur Auskleidung von Lagerschalen und zum Ausspritzen von Zylinderlaufbuchsen. Ein weiteres Anwendungsgebiet ist das Dichten von Lunkern und Rissen.

Über die technologischen Eigenschaften solcher „dünnen Schichten“, insbesondere die Dichte und Haftung in Abhängigkeit von den Spritzbedingungen, geben die Arbeiten von Schenk¹⁾, Everts^{2, 3, 4)} und Thormann⁵⁾ Aufschluß. Matting⁶⁾ bezeichnet Schichten von über 0,5 mm als „dick“. Er weist darauf hin, daß diese „dicken“ Schichten in ihren Eigenschaften, insbesondere ihrem Spannungszustande, noch vollkommen unbekannt sind. In der vorliegenden Arbeit haben wir uns das Ziel gesetzt, die Kenntnis der Metallspritzschichten nach zwei Richtungen hin zu erweitern. Es sollte geklärt werden, inwieweit die Haftung durch Wärmebehandlung verbessert

werden kann. Bei der Entwicklung der hierzu notwendigen Prüfeinrichtungen entstand weiterhin das Bedürfnis, das Verhalten von Spritzschichten und anderen porösen Werkstoffen im Druckversuch zu verfolgen, da das Schrifttum hierüber kaum Anhaltspunkte liefert.

Vorversuche

Das Metallspritzverfahren wird von den Braunschweigischen Kohlenbergwerken bei der Wiederherstellung abgelaufener Wellen von Elektromotoren und besonders von in staubiger Atmosphäre arbeitenden Baggern mit Erfolg eingesetzt. Im Radialschnitt einer solchen Verbindung erkennt man eine strenge Trennung von Schicht und Unterlage. Allerdings ist die Trennlinie zwischen Spritzschicht und Grundwerkstoff stellenweise nur wenig dicker als eine normale Korngrenze in diesem. Solche Stellen besonders starker



Abb. 1. Gefüge der Stahlspritzschicht mit 0,15 % C. Martensitisches Gefüge des Stahles. Oxydhäute und Hohlräume. Geätzt mit alkoholischer HNO_3 . 300:1.

Annäherung der Schichten können zweifellos schon als der Beginn eines Verbundes aufgefaßt werden. Die Spritzschicht zeigt Hohlräume und Oxydschlieren, die sich beim Aufprallen des flüssigen oder breiigen Spritzmetalles parallel der Oberfläche legten. Im geätzten Schliff erkennt man die Martensitbildung im Überzug als Folge der schnellen Abkühlung (Abb. 1). Die Schichten sind dementsprechend hart und spröde. Die in der Spritzschicht vorhandenen Schrumpfspannungen konnten durch einen einfachen Versuch nachgewiesen werden. Hierbei wurde der 0,8 mm dicke Stahlüberzug auf einer vorher sandgestrahlten Welle von 30 mm Durchmesser längs einer Mantellinie mit der Laubsäge durchgetrennt. Mit der Trennung des Ringverbandes schrumpfte die Schicht in Umfangsrichtung um ein kleines Stück zusammen. Die Haftfestigkeit gegenüber Schubkräften wird somit von den Zugspannungen überwunden. Das Vorhandensein von Schrumpfspannungen wird ferner dadurch bestätigt, daß es unmöglich ist, dickere Spritzschichten auf glatte, ebene Flächen aufzubringen. Von einer bestimmten Dicke der Schicht an heben sich die Enden von der Unterlage ab.

Eine abgelöste Schicht wurde zwei Stunden bei 1200°C in Wasserstoff geglüht und langsam im Ofen abgekühlt. Danach ließ sich die vorher spröde Schicht um zweimal 90° biegen. Die meisten Oxyde waren im Gefüge verschwunden. Die weitere Durchführung von Glühversuchen erschien somit aussichtsreich.

Gefügeänderungen durch Glühungen

Um die Versuche an einander entsprechenden Proben durchzuführen, wurden diese aus einer Welle durch Trennen gewonnen. Die Welle aus StC 22.61 mit 30 mm Durchmesser und 400 mm Länge wurde auf Maß geschlichtet, mit Quarzsand gemischter Körnung aufgeraut und mit Alkohol gereinigt. Eine 0,8 mm dicke Schicht wurde mit der Schlihapistole unter folgenden Bedingungen aufgebracht:

Gasdrücke: Azetylen 1,6 atü, Sauerstoff 1,6 atü,
Preßluft 2,2 atü.

Drahtvorschub: 0,8 m je Minute. Spritzabstand: 12 cm.

Vorschub der Pistole etwa 2 mm je Umdrehung der Welle.

Umfangsgeschwindigkeit der Welle: 3,5 m/min.

Der verwendete Draht der Westfälischen Union hatte eine Zugfestigkeit von 40—45 kg/mm² und eine Brinellhärte von 150 kg/mm². Die Analyse des Drahtes ergab einen Kohlenstoffgehalt von 0,16%, während die aufgebrauchte Schicht 0,15% C enthält. Die Vickershärte der Schicht wurde zu $H_{P_5} = 225$ kg/mm² ermittelt. Trotz der Porosität ist es somit zu einer Härtesteigerung gekommen.

Zum Zerlegen der Welle in 10 mm lange Abschnitte erwies sich das Einstecken mit dem hohlgeschliffenen Abstechstahl bis in den Haftgrund und das anschließende Durchtrennen mit der Kreissäge als zweckmäßig. Zwecks Bestimmung der Haftfestigkeit (s. unten) war die Welle vor dem Durchtrennen vorgebohrt und auf 14 mm aufgebohrt worden. Die Glühungen und das folgende Abkühlen erfolgten im Kohlerohr-Kurzschlußofen nach Tamman unter strömendem Wasserstoff, in einigen Fällen auch im Vakuum, die Glühtemperaturen lagen zwischen 900 und 1200° C, die Glühzeiten zwischen 1 und 3 h.

Als Folge der Wasserstoffglühungen wurde zunächst eine mit steigender Temperatur und Glühdauer zunehmende Kornvergrößerung festgestellt, die aber durch Normalisierung rückgängig gemacht werden kann. Die Oxyde werden mehr und mehr reduziert. Die strenge Trennung zwischen Überzug und Grundsicht im ungeglühten Zustand (Abb. 2) ist bei der 1050°-Glühung an einigen Stellen, bei der 1200°-Glühung überwiegend auf das normale Aussehen einer Korngrenze zurückgegangen (Abb. 3). Unter der Schicht hat eine Entkohlung bis in eine Tiefe von 0,3 mm stattgefunden. Bei höherer Temperatur ist die Diffusionsgeschwindigkeit des Kohlenstoffes so groß, daß eine Rückkohlung aus dem Kern einsetzt. Auch die Außenflächen der Proben, die keine Schicht tragen, zeigen diese Rückkohlung. Der Kohlenstoffgehalt steigt vom Haft-

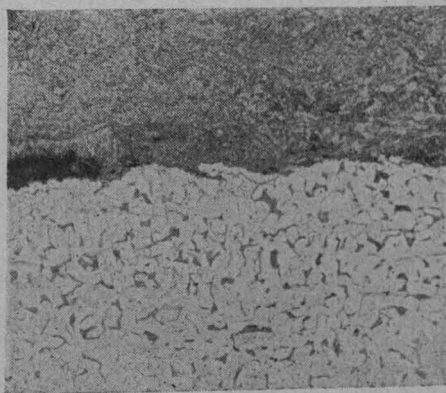


Abb. 2. Stahlspritzschicht auf Grundwerkstoff unbehandelt. Geätzt mit alkoholischer HNO_3 . 100:1.

grund nach dem Wellenkern zu an und erreicht bei der 1050°-Glühung in 1 mm Tiefe, bei der 1200°-Glühung erst in 1,5 mm Tiefe den normalen Gehalt des Grundwerkstoffes.

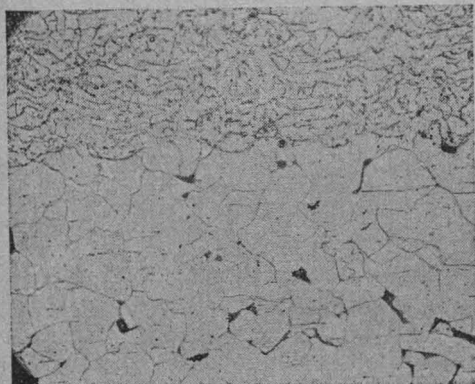


Abb. 3. Stahlspritzschicht auf Grundwerkstoff nach dreistündiger Glühung in Wasserstoff bei 1200° C. Unvollständige Entkohlung des Grundwerkstoffes. Verschwinden der Oxydschlieren in der Deckschicht. Verbund zwischen dieser und dem Grundwerkstoff. Geätzt mit alkoholischer HNO_3 . 100:1.

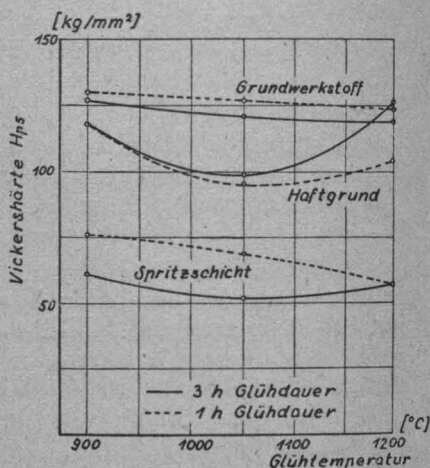


Abb. 4. Härte von Stahlschicht, Haftgrund und Grundwerkstoff in Abhängigkeit von der Glühtemperatur und Glühdauer.

Die Härte der Schicht nimmt zunächst durch die Umwandlung des Martensits ab. Eine weitere Abnahme mit der Temperatur und Zeit der Glühbehandlung ist auf die fortschreitende Reduktion der Oxyde zurückzuführen. Die Härte des Grundwerkstoffes sinkt mit zunehmender Kornvergrößerung. Die Zone unter der Schicht zeigt zunächst einen Härteabfall durch Entkohlung und mit weiter steigender Temperatur und Glühdauer einen Wiederanstieg durch Rückkohlung (Abb. 4).

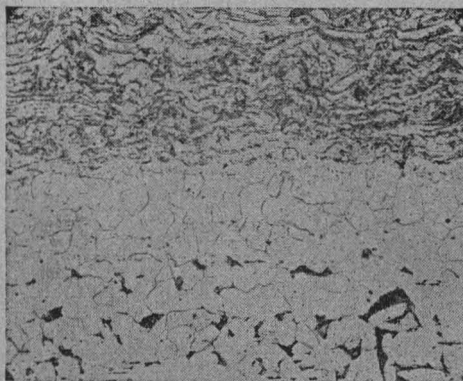


Abb. 5. Stahlspritzschicht auf Grundwerkstoff nach zweistündiger Glühung im Vakuum bei 1050°. Verbund zwischen Grundwerkstoff und Überzug. Entkohlung in der Unterlage, Auflösung der Oxyde in der anschließenden Zone der Deckschicht. Ätzung in alkoholischer HNO_3 . 100:1.

Die Vakuumglühung war durch Undichtigkeiten des Tammanofens etwas beeinträchtigt. Daher hat in die Kammer eindringender Sauerstoff zu einer Entkohlung an den Oberflächen der Probe geführt. Wie Abb. 5 zeigt, sind die Oxydschlieren fast vollständig erhalten. Eine gute Auflösung der Oxyde ist in einer etwa 0,03 mm dicken Schicht über dem Haftgrund zu erkennen. Dem gegenüber steht eine entkohlte Zone des Grundwerkstoffes von 0,2 mm. Es kann angenommen werden, daß hier eine Reaktion zwischen dem Sauerstoff der Eisenoxyde der Schicht und dem Kohlenstoff der γ -Mischkristalle des Grundwerk-

stoffes zur Entkohlung beigetragen hat. Der Verbund ist bei dieser Temperaturbehandlung wahrscheinlich besser als bei der Wasserstoffglühung. Die Härte der Schicht ist wegen der erhaltenen Oxyde mit $H_{75} = 125 \text{ kg/mm}^2$ bedeutend höher als bei dem vergleichbaren Versuch unter Wasserstoff.

Verbesserung der Haftfestigkeit durch das Glühen

Die Haftfestigkeit der Schicht gegenüber Zugkräften könnte in exakter Weise durch Ausnützung der Zentrifugalkraft bis zum Abreißen des Überzuges bestimmt werden. Es war im Rahmen der Arbeit nicht möglich, die erforderlichen hohen Umfangsgeschwindigkeiten zu erreichen. Daher wurde an die Spritzschicht eine Vorrichtung angelötet und die Haftung der Schicht am Grundwerkstoff in der Zerreißmaschine bestimmt (Abb. 6). Der Zuganker aus Stahl trägt zur Erleichterung der Weichlötung eine Hartlotschicht. Für die Zwischenglieder werden beiderseits drei Kettenglieder eingesetzt, um eine gleichmäßige Belastung der Haftfläche zu erreichen. Die Lötung wurde mit einem Lot von 42% Pb und 58% Bi durchgeführt. Der Schmelzpunkt liegt bei 120°C . Die Probekörper wurden mit einem Bunsenbrenner langsam auf diese

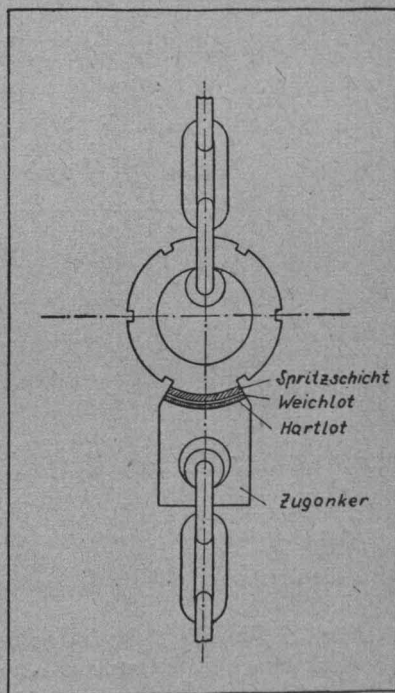


Abb. 6. Vorrichtung zur Bestimmung der Haftfestigkeit der Spritzschicht gegenüber Zug.

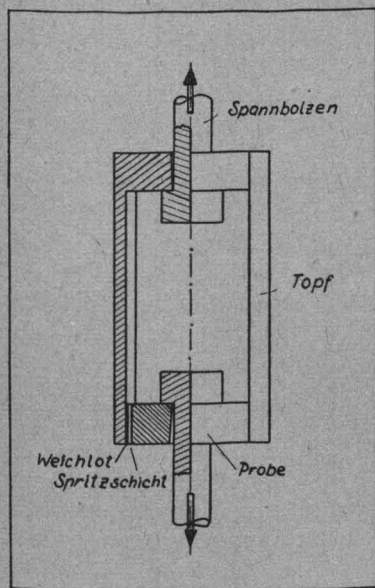


Abb. 7. Vorrichtung zum axiellen Abziehen der Spritzschicht.

Temperatur erwärmt, damit Temperaturspannungen nicht zu einem Loslösen der Schicht führten. Eine gute Lötung konnte nur unter Zuhilfenahme von Lötwasser erzielt werden. Die Temperatur von 120°C reicht gerade noch aus, das überschüssige Lötwasser zu verdampfen. Es ist bei der Ausführung darauf zu achten, daß kein Lötwasser von den Seiten oder durch die Schicht bis an den Haftgrund dringt und damit die Haftfestigkeit beeinträchtigt.

Dazu ist es notwendig, die äußerste Zone der Schicht mit Schmirgelleinen abzuschleifen und damit zu verschmieren.

Die Haftfestigkeit gegenüber Schubkräften wurde in der in Abb. 7 dargestellten Vorrichtung durch axiales Abziehen der Spritzschicht in der Zerreißmaschine bestimmt. Die scheibenförmige durchbohrte Probe ist mit zwei gegenüberliegenden Segmenten in die Vorrichtung, wie oben beschrieben, weich eingelötet.

Die Haftfestigkeiten konnten an den unbehandelten Proben nicht festgestellt werden. Im Schrifttum findet man für die Zugfestigkeit der Haftung

Angaben zwischen 0,2 und 0,4 kg/mm². Die aus Abb. 8 ersichtliche Steigerung auf einen Mittelwert von 0,66 kg/mm² bei einstündiger und einen solchen von 1,22 kg/mm² bei dreistündiger Glühung bei 900° stellt daher einen guten Erfolg dar. Wird die Glühung bei 1050° C durchgeführt, so können die Schichten nicht mehr abgelöst werden, da dann vorher die Lötung abreißt, deren Festigkeit bei etwa 2 kg/mm² liegt. Eine Steigerung der Haftfestigkeit gegenüber Schubkräften durch das Glühen ist zweifellos auch vorhanden, wengleich die im Schrift-

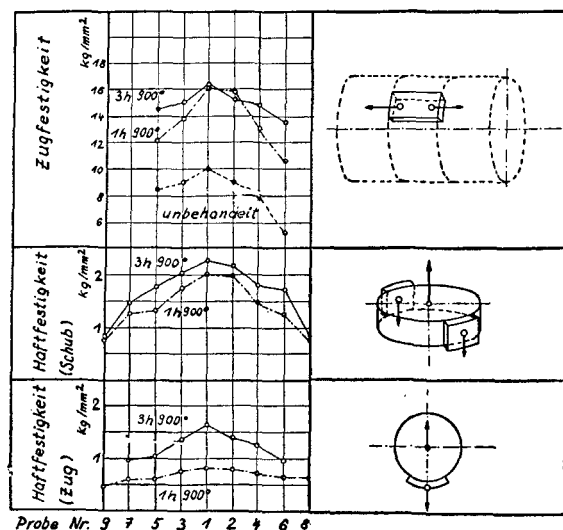


Abb. 8. Beeinflussung der Haftfestigkeit von Stahlspritzschichten und der Zugfestigkeit abgelöster Schichten durch Glühungen.

tum für den ungeglühten Zustand angeführten Werte dies kaum erkennen lassen.

Für die Festigkeit abgelöster Stahlspritzschichten in sich gibt Matting⁶⁾ als Höchstwert 5,5 kg/mm² an. An unbehandelten Schichten wurden hier im Mittel 8,3 kg/mm² festgestellt. Durch das Verschwinden der Oxyde und Hohlräume bei der Glühung und den teilweise erreichten metallischen Verbund der Schichtteile untereinander ist die Zugfestigkeit bei einstündiger Glühung bei 900° im Mittel auf 13,6, bei dreistündiger Glühung im Mittel auf 14,9 kg/mm² gestiegen. Diese Werte liegen bereits im Bereich der niederen Gußeisensorten.

Es erscheint zunächst zweifelhaft, ob die erreichte Verbesserung der Haftung durch das Glühen praktisch ausgenutzt werden kann. Im Falle des Aufspritzens abgelaufener gehärteter Wellen scheidet eine gewöhnliche Glühung daran, daß die normalen Anlaßtemperaturen beim Härten nicht überschritten werden dürfen. Hier könnte allein die Hochfrequenzglühung der Spritzschicht einen gewissen Erfolg versprechen.

Druckversuche an aufgespritzten Schichten und anderen Werkstoffen mit inneren Fehlstellen

Für die Druckversuche wurden je zwei zylindrische Probekörper mit den in Abb. 9 eingetragenen Abmessungen hergestellt. Die Proben aus St 60.11 wurden mit den Stirnflächen genau senkrecht zur Zylinderachse plangeschliffen: Eine dieser Flächen wurde gesandstrahlt, anschließend 1,5 mm stark mit Messing 63 aufgespritzt und wieder plangeschliffen. Die Schichtdicke betrug nach dem Schleifen 1,21 mm. Je zwei dieser Probekörper wurden mit der Spritzschicht aufeinandergelegt und in einer Amsler Universalzerreißmaschine in Stufen von 250 kg zunehmend zusammengepreßt. Die Messung der Stauchungen erfolgte mit der Spiegeleinrichtung nach Martens.

Um die Stauchungen der Messingspritzschicht von denjenigen des Stahles zu trennen, wurden Probekörper aus Stahl mit den gleichen Abmessungen ohne und mit Trennflächen untersucht. Diese Messungen dienen gleichzeitig der Ermittlung des Einflusses der Trennflächen und der Eichung der Feinmeßeinrichtung durch Bestimmung des E-Moduls von Stahl. Die Druckkräfte wurden von 500 zu 500 kg gesteigert, zwischendurch entlasteten wir immer wieder, um auch die plastische Verformung erfassen zu können. Es wurde ein E-Modul von 20 100 kg/mm² für Stahl festgestellt. Der Einfluß der Trennflächen erwies sich somit als unbedeutend. Aus den an den Verbundkörpern gemessenen Gesamtstauchungen und plastischen Stauchungen erhielt

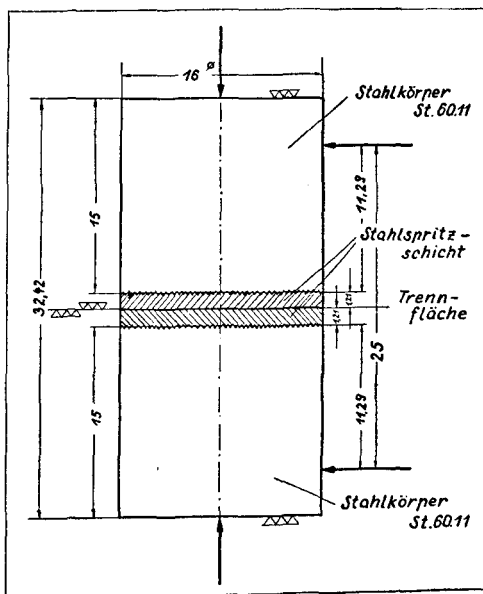


Abb. 9. Probenanordnung zur Stauchungsmessung an aufgespritzten Schichten. An Stelle der eingezeichneten Stahlspritzschicht wurde eine Messingschicht aufgebracht.

man durch Subtraktion der an den Stahlkörpern ermittelten Werte unter Berücksichtigung der verschiedenen Meßlängen die entsprechenden Werte der Schicht allein. Die Gesamtstauchungen, die plastischen und elastischen Stauchungen der Spritzschicht sind in ihren absoluten Beträgen und auf die Ausgangsdicke bezogen in Abb. 10 dargestellt. Ungeachtet der mäßigen Genauigkeit der Messungen dürften diese Kurven das grundsätzliche Verhalten der Spritzschicht richtig wiedergeben.

Die elastische Stauchung ist im Bereich bis 10 kg/mm² sehr groß und geht dann in eine Gerade über, die einem Elastizitätsmodul von 6100 kg/mm² entspricht (Messing E = 8000 kg/mm²). Der niedrige E-Modul von 1000 bis 1500 kg/mm² bei kleinen Belastungen ist wohl zum kleineren Teil eine Folge der geringen Dichte des Materials. Ausschlaggebend müssen hier elastische

und Stauchung. Darüber hinaus beginnt der Werkstoff zu kriechen und die Stauchkurve zeigt einen deutlichen Knick. Man muß annehmen, daß in dem hierauf folgenden plastischen Gebiet eine Verdichtung des Sintereisens stattfindet. Der Kriechvorgang ist nach etwa 3 min praktisch beendet. Der elastischen Stauchung entspricht ab etwa $\sigma = 7 \text{ kg/mm}^2$ ein E-Modul von 11000 kg/mm^2 , unabhängig von der Spannung. Im unteren Bereich ist der E-Modul noch kleiner, wofür die oben gegebene Erklärung gelten kann.

Die Gesamtstauchung bei gespritztem Stahl verläuft fast linear, die elastische Stauchung ähnlich. Die elastische Gerade entspricht einem E-Modul von 9200 kg/mm^2 . Da das Gefüge martensitisch ist, dürfte die plastische Stauchung eine Folge von Brüchen einzelner kleiner Teile sein. Der niedrige E-Modul kann auch hier ähnlich wie oben gedeutet werden. Die Druckfestigkeit des Probekörpers war 85 kg/mm^2 . Bei dieser Last zersprang die Probe plötzlich diagonal zu den Spritzebenen in zwei Teile. Bei einer weiteren Probe trat unter einer Spannung von 102 kg/mm^2 noch kein Bruch ein.

Ein Vergleich der drei Werkstoffe ist an Hand der Ergebnisse für die Gesamtstauchung ϵ_g , das Verhältnis ϵ_e/ϵ_p von elastischer zu plastischer Stauchung und den Elastizitätsmodul im Bereich der Druckspannungen von $0-7 \text{ kg/mm}^2$ möglich.

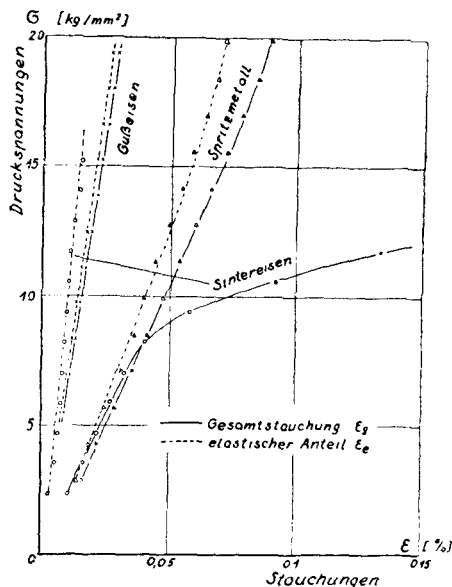


Abb. 11. Stauchkurven von Probekörpern aus Gußeisen, Sintereisen und gespritztem Stahl.

	ϵ_g %	ϵ_e/ϵ_p	E kg/mm^2
Gußeisen	0,096	13,2	7100
Sintereisen	0,32	0,35	8500
Stahlspritzmetall	0,35	7,5	2300

Die Gesamtstauchung ist demnach bei Sintereisen und Spritzmetall fast gleich und 3,5mal so groß wie bei Gußeisen. Zeigt Stahl-Spritzmetall noch ein überwiegend elastisches Verhalten, so ist Sintereisen ein ausgesprochen plastischer Werkstoff. Ein Bruch war hier auch bei 50%iger Stauchung nicht zu erzielen, während bei Gußeisen und Stahlspritzmetall der Bruch plötzlich eintrat. Es ist anzunehmen, daß geglühtes Stahlspritzmetall sich in seinem Verhalten demjenigen von Sintereisen nähert.

Zusammenfassung

Eine Welle aus Stahl wurde mit einem Spritzüberzug aus Stahl versehen und in scheibenförmige Prüfkörper zerlegt. Diese Proben erfuhren Glühungen in Wasserstoff und im Vakuum bei Temperaturen zwischen 900 und 1200°. Mit steigender Glühtemperatur in Wasserstoff zeigte sich im Gefüge eine Abnahme der Oxydeinschlüsse und zunehmender Verbund zwischen dem Überzug und der Unterlage. Dementsprechend nahm die Haftfestigkeit gegenüber Zug- und Schubkräften zu. Die durch die Martensitbildung beim Spritzen und durch die Oxydeinschlüsse bedingte Sprödigkeit verschwindet beim Glühen, die Schichten werden in sich fester und zäher.

Je zwei mit Messing bespritzte Stahlkörper wurden mit der Schichtseite aufeinandergelegt und dem Druckversuch bei gleichzeitiger Messung der Stauchungen im Spiegelgerät unterworfen. Durch Vornahme des gleichen Versuches an reinen Stahlproben konnten die elastischen und plastischen Stauchungen der Messing-Spritzschicht gewonnen werden. Bemerkenswert erschien namentlich die Kurve der elastischen Stauchung. Sie zeigt bei kleinen Lasten einen Verlauf entsprechend $E = 750 \text{ kg/mm}^2$, der in erster Linie auf elastische Verschiebungen und Biegungen der Schichtteilchen zurückgeführt wird. Bei höheren Lasten nähert sich der E-Modul mit 6000 kg/mm^2 dem Wert für kompaktes Messing.

Ähnliche Versuche wurden an Körpern aus Gußeisen, Sintereisen und gespritztem Stahl ohne Unterlage durchgeführt. Während Grauguß sich wie erwartet verhielt, bog die Stauchkurve von Sintereisen oberhalb einer Druckspannung von etwa 7 kg/mm^2 im Sinne großer plastischer Stauchungen ab. Demgegenüber verlief die Stauchkurve des spröden gespritzten Stahles in dem untersuchten Bereich ungefähr linear. Der E-Modul betrug nur etwa 2300 kg/mm^2 , was ähnlich wie oben gedeutet wurde. Die Druckfestigkeit lag über 85 kg/mm^2 .

Den Braunschweigischen Kohlenbergwerken Helmstedt sind wir für die Überlassung der Spritzeinrichtung zu Dank verbunden.

Literatur

- 1) G. Schenk, Über die Haftfähigkeit und Dichte der nach dem Schoopschen Metallspritzverfahren hergestellten Schutzschichten, Diss. Berlin (1933).
- 2) A. Kessner u. T. H. Everts, Die Härte gespritzter Metallschichten, Z. Metallkde. Bd. 27 (1935), S. 104.
- 3) T. H. Everts, Die Dichtigkeit gespritzter Metallüberzüge, ebenda Bd. 28 (1936), S. 143.
- 4) derselbe, Die Haftfähigkeit gespritzter Metallüberzüge aus Zink, Stahl und V2A, ebenda Bd. 29 (1937), S. 63.
- 5) H. U. Thormann, Untersuchungen über das Metallspritzverfahren nach Schoop, Diss. Stuttgart (1934).
- 6) Matting u. Hefft, Oberflächenbehandlung zur Herstellung von Überzügen, Maschinenbau — Der Betrieb, Bd. 14 (1935).