

Die Erzeugung von Spannungsrissen in Stahl durch flüssiges Zink

Gruppe C

Von Wilhelm Rädiker in Mülheim a. d. Ruhr

Nr. 290

Bericht Nr. 1 des Gemeinschaftsausschusses Verzinken des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute und der Forschungsgesellschaft Blechverarbeitung*)

Allgemeines über die korngrenzenschädigende Wirkung von Metallschmelzen. Hin- und Herbiegeversuche in flüssigem Zink. Biegeversuche mit kleiner Biegeschwindigkeit. Zug- und Dauerzugversuche in flüssigem Zink. Wirkung der Temperatur. Verhalten der verschiedenen Stahlsorten.

Unsere technischen Stähle können durch die Anwesenheit geringer Mengen von geschmolzenen Metallen auf ihrer Oberfläche bei der Verformung rotbrüchig werden. H. Schottky, K. Schichtel und R. Stolle¹⁾, die diese Erscheinung zuerst eingehend untersuchten, stellten fest, daß Blei, Silber, Wismut und Kadmium keinen Rotbruch erzeugen, während Stahl bei Einwirkung von Zinn, Zink und Antimon von 1000° ab interkristallin bricht. Inzwischen sind aber an ordnungsgemäß beheizten Zinkkesseln häufig interkristalline Brüche bei Temperaturen weit unter 1000° beobachtet worden²⁾, so daß die älteren Feststellungen berichtigt werden müssen. Diese Frage ist deshalb von großer betrieblicher Wichtigkeit, weil mit ihr offenbar eine Reihe schwer erklärbarer Schwierigkeiten beim Betreiben feuerbeheizter Zinkbäder zusammenhängen. Dies war auch der Anlaß für die nachstehend beschriebenen Untersuchungen.

Neben dem Einfluß der Temperatur war es dabei wünschenswert, auch denjenigen der mechanischen Zugspannungen und der Stahllegierung mit zu berücksichtigen. Der Einfluß von Legierungszusätzen zum Zinkbad mußte aus Gründen der Arbeitseinsparung zunächst unberücksichtigt bleiben. Sämtliche Versuche wurden mit eisen-gesättigtem Reinzink im Ausgangszustand (nach Möglichkeit 99,99 % Zn) durchgeführt.

Die geprüften Stähle sind in *Tafel 1* zusammengestellt. Zu der Auswahl ist zu sagen, daß die weichste, unlegierte

Tafel 1. Zusammensetzung der untersuchten Stähle

Kurzbezeichnung	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Al %	Cr %	Cu %	Ni %	Nb %	Ta+ Nb %
Armco	0,04	0,0	0,04	0,012	0,027	0,003	0,07	0,24	0,0	0,006	—
B I unsilziiert	0,16	0,0	0,48	0,030	0,035	0,003	0,08	0,16	0,09	0,005	—
B I silziiert	0,11	0,22	0,52	0,028	0,034	0,015	0,06	0,22	0,00	0,004	—
Cu-Ni-Stahl	0,19	0,46	1,07	0,039	0,033	0,18	0,25	0,93	0,91	0,005	—
Chrom-Nickel-Stahl 18/8/2	0,14	0,53	0,37	n.b.	n.b.	Mo 1,98	17,5	0,20	10,6	n.b.	0,95

Stahlsorte, das Armcoeisen, lange Zeit für den Bau von Zinkpfannen empfohlen wurde. Offenbar hat es sich für kleinere Einheiten auch gut bewährt. Bei großen Kesseln waren die Erfahrungen häufig nicht so gut, so daß man wieder auf die weiche, unsilziierte Kesselblechsorte I übergang, die sich gegenüber Armcoeisen durch die höhere Warmfestigkeit unterscheidet. Der hier untersuchte Versuchswerkstoff stammt aus der Wand eines großen Zinkkessels, der nach einer mittleren Durchsatzmenge wegen Undichtwerdens aus dem Betrieb gezogen wurde. Die silziierte Kesselblechgüte I unterscheidet sich von der vorgenannten nur durch ihren höheren Siliziumgehalt und die damit zusammenhängende, etwas höhere Festigkeit. Zum Bau von Zinkkesseln ist sie nicht zu empfehlen, da durch den Siliziumgehalt die flächige Angreifbarkeit durch die Zinkschmelze ganz erheblich verstärkt wird.

*) Vorgetragen in der Hauptversammlung des Gemeinschaftsausschusses Verzinken des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute und der Forschungsgesellschaft Blechverarbeitung am 26. September 1952 in Bad Homburg v. d. Höhe.

¹⁾ Arch. Eisenhüttenw. 4 (1930) S. 541/47.

²⁾ Rädiker, W., und R. Haarmann: Stahl u. Eisen 59 (1939) S. 1217/27.

Bei dem Kupfer-Nickel-Stahl handelt es sich um eine schwachlegierte Stahlsorte mit hoher Warmfestigkeit. Man hat ihn bisher nicht zum Bau von Zinkkesseln herangezogen. Seine Einordnung in die geplante Untersuchungsreihe sollte auch nur der Klärung grundsätzlicher Fragen dienen.

Das gleiche gilt für den hochlegierten austenitischen Chrom-Nickel-Stahl (18 % Cr, 8 % Ni, 2 % Mo, 1 % Ta + Nb). Seine Einbeziehung in die Untersuchungsreihe erfolgte nur deshalb, weil über die Einwirkung von Zink auf diese Stähle überhaupt noch nichts Sicheres bekannt ist.

Die Versuche wurden bei 425°, d. h. kurz oberhalb des Zinkschmelzpunktes begonnen und bis zur oberen Temperaturgrenze von 500° durchgeführt. Der dazwischenliegende Bereich wurde in drei gleiche Teile geteilt, so daß die Prüfung vorwiegend bei folgenden vier Temperaturen durchgeführt wurde: 425, 450, 475 und 500°. Wenn aus Gründen der Vereinfachung nur bei einer Temperatur gearbeitet werden konnte, wurde 475° gewählt.

Ergebnis der Vorversuche

In überzeugender Weise geht die schädigende Wirkung des flüssigen Zinks aus der Biegezahl von Hin- und Herbiegeproben an Thomasbandeisen hervor (*Tafel 2*). Die Bänder

Tafel 2. Zahl der Hin- und Herbiegungen bis zum Bruch

Werkstoff	Thomasstahl	Siemens-Martin-Stahl
Bei 20° an Luft	26	42
Bei 475° im Salzbad	53	75
Bei 475° im Zinkbad	1	2

wurden innerhalb des Bades mit einer besonders hierfür hergestellten Zange gebogen. Diese ermöglichte nur einen verhältnismäßig großen Biegehalbmesser von 25 bis 30 mm.

Diese Zahlen sagen aber über das Verhalten des Stahles unter lang andauernden Zugbeanspruchungen in flüssigem Zink nichts aus.

Bei der Korrosion des Stahles durch wäßrige Lösungen gibt es nun einen ähnlichen, mehr oder weniger langsam auf den Korngrenzen verlaufenden Zerstörungsvorgang, der unter der Bezeichnung „Laugensprödigkeit“ weithin bekannt ist. Zu seiner Erforschung sind die sogenannten Bügelproben entwickelt worden, das sind Stahlstreifen, die nach einer formenden Biegung federnd eingespannt und dann dem Angriff des zerstörenden Mittels ausgesetzt werden.

Diese Art der Prüfung war beim flüssigen Zink nicht möglich, denn durch die hohe Badtemperatur trat eine verhältnismäßig schnelle Entspannung der Prüfstücke durch Kriechen ein. Deshalb wurde eine abgeänderte Prüfmethode nach den *Bildern 1 und 2* entwickelt. Die U-förmige Probe, bei der der innere Abstand der Schenkel 30 mm betrug, ist mit der Schraube S 1 in den Rahmen eingespannt. Sie taucht mit dem unteren Teil in das beheizte Zinkbad ein. Durch die rechts befindliche Schraube S 2 kann die Probe oben zusammengedrückt werden. Dies geschah nun so, daß alle 10 min bei einer Umdrehung der Schraube der Schenkelabstand der Probe um 1 mm verringert wurde. Wenn die Probe nicht riß, berührten sich die Schenkel nach etwa 4 bis 5 h.

Ein erster Versuch, der an vier verschiedenen Werkstoffen vorgenommen wurde, ergab, daß bei ungekerbten Proben keine riß (Bild 3). Wurden die Proben auf dem

nungen, die zur Rißbildung führen, lassen sich aus der Biegeprobe nicht ableiten, da es unmöglich ist, die Spannungen im Kerbgrund zu berechnen oder zu messen.

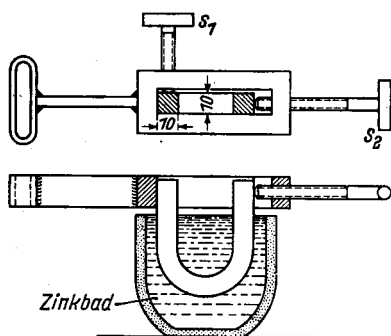


Bild 1. Vorrichtung zur Prüfung von Stahlproben im Zinkbad bei mechanischer Verformung

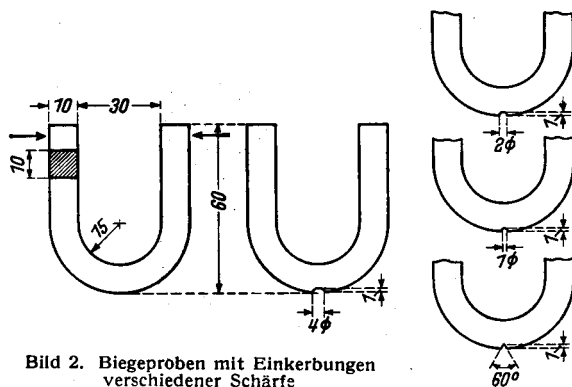


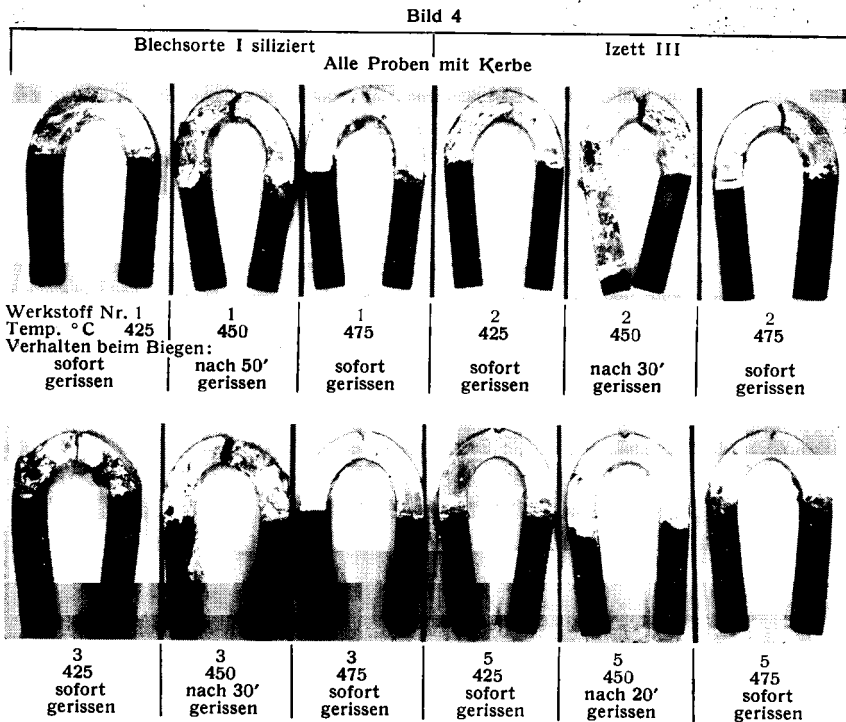
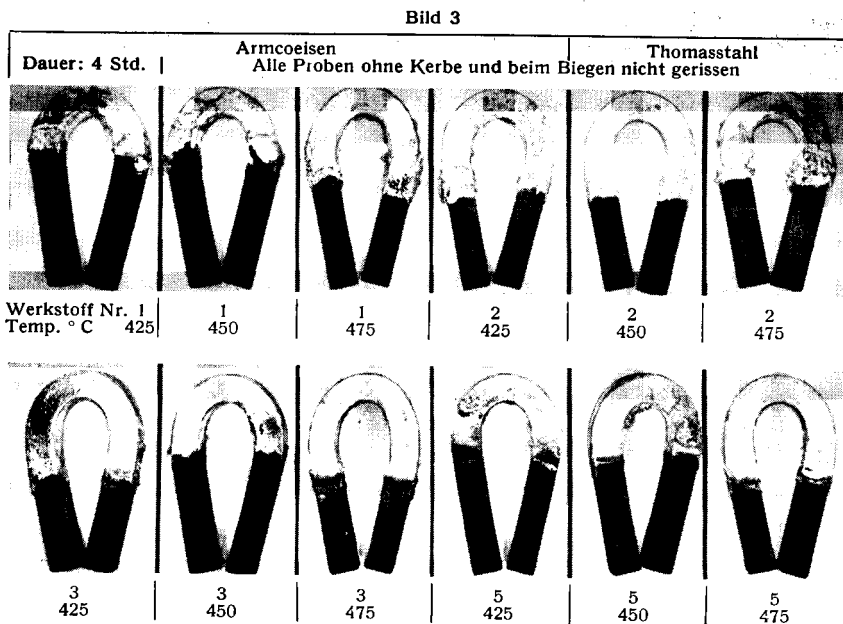
Bild 2. Biegeproben mit Einkerbungen verschiedener Schärfe

hat nun zu einem Brechen der Proben geführt. Jedoch war weder im ungekerbten noch im gekerbten Zustand eine Unterscheidungsmöglichkeit nach Werkstoffen und den angewendeten Temperaturen gegeben.

Der nächste Versuch, dies durch Veränderung der Kerbschärfe zu erreichen, wurde mit Kerbdurchmessern von 4, 2 und 1 mm durchgeführt (Bild 2). Die Kerbtiefe betrug in allen Fällen 1 mm. Außerdem wurde die ungekerbte und die mit Scharfkerb versehene Probe mitgeprüft. Die Prüftemperatur betrug einheitlich 450°. Die hierbei geprüften Werkstoffe waren: 1. Armcoeisen, 2. Thomasstahl, 3. Blechsorte I, siliziert, und Blechsorte III in Izett-Güte. Das Ergebnis ist in Bild 7 zusammengefaßt. Aufgeschrieben wurde der Schenkelabstand, bei dem die ersten Rißbildungen eintraten. Je größer diese Zahl ist, um so empfindlicher ist somit der Werkstoff. Die Zusammenstellung zeigt nun, daß beim Armco- und Thomasstahl und bei der ungekerbten Probe überhaupt keine Risse aufgetreten sind. Bei den Blechsorten I und III hat der 4-mm-Kerb und danach der Spitzkerb die häufigsten Rißbildungen erzeugt.

Aus den beiden geschilderten Probenreihen kann man die nachstehenden allgemeinen Folgerungen ziehen.

1. In dem Temperaturbereich zwischen 425 und 500° ist das Auftreten von interkristallinen Rissen durch flüssiges Zink möglich. Die Ergebnisse lassen jedoch keine Rückschlüsse auf eine beschleunigende oder verzögernde Wirkung der Temperaturhöhe zu.
2. Das Nichtbrechen vieler ungekerbter Proben beweist andererseits, daß gewisse Spannungen (und die von ihnen erzeugten Verformungen) ohne schädigende Verletzungen vertragen werden. Weitere Folgerungen, besonders über die Höhe der Zugspan-



Bilder 3 und 4. Biegeproben in flüssigem Zink gebogen; Werkstoff 1 = Armcoeisen, 2 = Thomasstahl, 3 = Blechsorte I, siliziert, 5 = Izett III

3. Das unterschiedliche Verhalten der gekerbten und ungekerbten Proben beweist aber, daß die Höhe der Spannung auf die Rißbildung offenbar von großem Einfluß ist.

Wenn man also in der Erkenntnis über die Gesetzmäßigkeiten der Rißbildung vorwärtskommen will, muß man

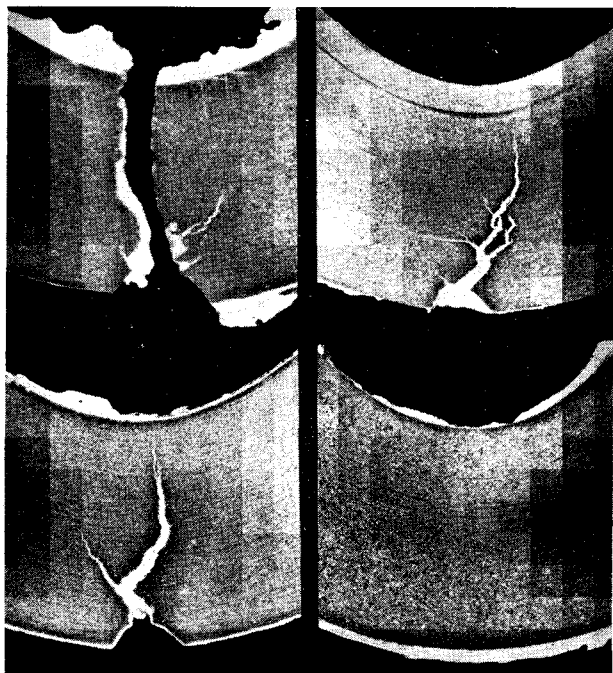
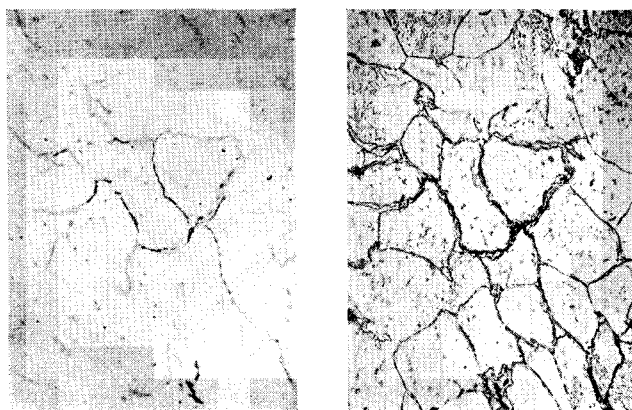


Bild 5. Schliff durch Risse aus Proben der Bilder 3 und 4 (rd. 2:1)

genauere Prüfbedingungen schaffen, bei denen einmal die Spannungen gleichmäßig über den ganzen Querschnitt verteilt sind und zum anderen auch mit den übrigen Einflußgrößen genau gemessen werden können.

Der zuletzt genannten Forderung entspricht am besten der bewährte Zerreißversuch. Daher wurde zunächst versucht, Zerreißversuche in flüssigem Zink durchzuführen.



Ungeätzt Geätzt
Bild 6. Durch flüssiges Zink erzeugte Rißbildung in Stahl

Die dabei gesammelten Erfahrungen mögen — soweit sie allgemeinere Bedeutung haben — hier kurz angeführt werden. Eine unmittelbare Füllung der Warmzerreißöfen mit flüssigem Zink ist zu gefährlich, da das Metall die stärker beheizten Ofenwände anfrißt und bei Berührung mit den stromführenden Heizwicklungen zu Kurzschlüssen führen kann. Deshalb wurde über die gewöhnlich hergestellte Zerreißprobe ein röhrenförmiger Mantel geschoben und unten angeschweißt (Bild 8). Dieser Mantel wird nach dem Zuschweißen des unteren Endes mit Zink vollgegossen. Nach den inzwischen gemachten Erfahrungen ist zu emp-

fehlen, daß der Durchmesser des Mantels zweckmäßig etwas größer als in Bild 8 gewählt wird, damit bei Aufzehrung des Zinks durch die Hartzinkbildung auch nach längerer Prüfdauer noch eine genügend große Menge an flüssigem Metall übrigbleibt.

Die erkaltete Probe wird danach in einen gewöhnlichen Salzbad-Warmzerreißofen eingebaut und auf einer Zerreißmaschine belastet.

Die bekannten Nitrat-Nitrit-Salzschnmelzen eignen sich nicht als Wärmeübertrager, da sie sich unter Umständen mit

Auftreten der ersten Risse bei einem Schenkelabstand $a =$

Werkstoff	Kerbdurchmesser in mm				
	∞	4	2	1	$<0,5$
Armco	0	0	0	0	0
Thomasstahl	0	0	0	0	0
BI siliziert	0	7	2	0	6
MIII Jzett	0	15	10	5	9

0 = keine Risse aufgetreten



Bild 7. Erzeugung von Rissen beim Biegen in flüssigem Zink

dem Zink umsetzen und dann zu heftigen Verbrennungen führen können. Notwendig wird es also sein, eine Schmelze zu finden, die bei 400° flüssig bleibt, mit dem Zink keine Umsetzungen eingeht und keine Bestandteile verdampfen oder verflüchtigen läßt, die belästigend oder stark korrodierend auf die Metallteile der Zerreißmaschine einwirken. Man kann sich auch dadurch helfen, daß man die Mäntel nach oben hin verlängert, so daß die Salzschnmelze mit dem flüssigen Zink nicht mehr in Berührung kommt. Eine geringe Oxydation des Zinks muß aber dabei in Kauf genommen oder durch Abdecken mit Holzkohlepulver möglichst klein gehalten werden. Nicht bewährt haben sich Schmelzen mit Zinkchlorid als Grundstoff, z. B. 60 % ZnCl_2 , 36 % KCl , 4 % SiCl_4 . Sie haben in einzelnen Fällen das Wachstum des Hartzinks so sehr gefördert, daß sich am Probenkopf und sogar noch an den Einspannstäben hutförmige Hartzinkansammlungen von beträchtlicher Größe bildeten (Bild 9).

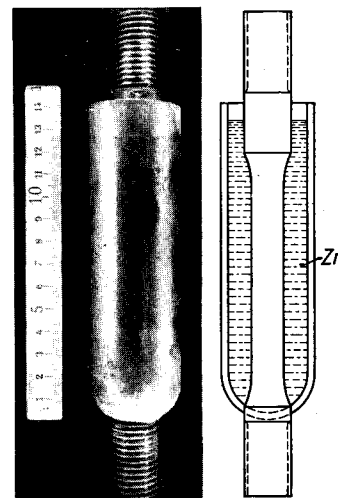


Bild 8. Probenform für Zugversuche in flüssigem Zink

Die mit der beschriebenen Probenform durchgeführten Kurzzeit-Zugversuche ergaben bereits eine Reihe wertvoller Erkenntnisse. In Bild 10 sind die Ergebnisse zusammengefaßt. Die oberen ausgezogenen Linien bezeichnen den Verlauf der Warmfestigkeit im Temperaturbereich zwischen 425 und 500° bei Prüfung in einer nichtangreifenden Salzschnmelze oder in Luft. Die gestrichelten Linien bezeichnen die gleichen Prüfergebnisse beim Zerreißversuch im flüssigen Zink. In allen Fällen bemerkt man eine deutliche Verschwächung, die beim Armcoeisen und bei dem austenitischen 18/8-Stahl am geringsten ist, während sie bei den Kesselblechen und dem Kupfer-Nickel-Stahl erhebliche Werte annimmt.

Im unteren Teil des Bildes werden die entsprechenden Werte der Brucheinschnürung miteinander verglichen. Gerade diese Größe ist besonders geeignet, die Wirkung des



Bild 9. Hartzinkbildungen am Einspannkopf oberhalb der Zerreißprobe

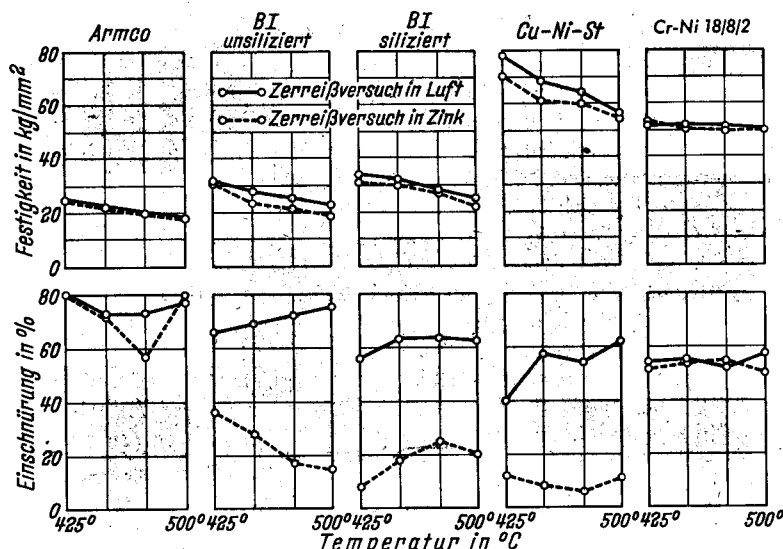


Bild 10
Festigkeits- und Einschnürungswerte von Stählen beim Zerreißen in Luft und Zink

flüssigen Zinks deutlich zu machen, weil sich jede Verschwächung auf den Korngrenzen zunächst in verringerter Einschnürung äußert. Auch hier ist festzustellen, daß Armcoeisen und der Austenitstahl die geringsten Schädigungen erfahren haben.

In gleicher Weise wird auch die Dehnung beeinträchtigt. Leider ist ihre Ermittlung bei der gewählten Prüfart etwas

schwierig. Jedoch sind aus einer früheren, unveröffentlichten Untersuchung die in *Tafel 3* zusammengestellten Ergebnisse kennzeichnend.

Bei den bisherigen Betrachtungen wurde die Zeit als Einflußgröße außer acht gelassen und nur festgestellt, daß

Tafel 3
Ergebnisse von Zerreißversuchen an Thomas-Bandstahl
Stahl: 0,06% C, 0,37% Mn, 0,047% P, 0,029% S, 0,08% Cu, 0,013% N,

Prüf-temperatur	In Luft			In flüssigem Zink		
	Festigkeit kg/mm ²	Dehnung %	Einschnürung %	Festigkeit kg/mm ²	Dehnung %	Einschnürung %
20°	47,6	25,0	67,6	29,7	23,2	37,3
425°	30,3	54,2	80,0	27,0	18,5	22,5
450°	27,0	54,2	77,6			

bei genügend hohen Spannungen die Ribbildung in erstaunlich kurzer Zeit auftreten kann.

Die nächste Versuchsreihe wurde daher mit geringeren Belastungen und entsprechend längeren Prüfzeiten durch-

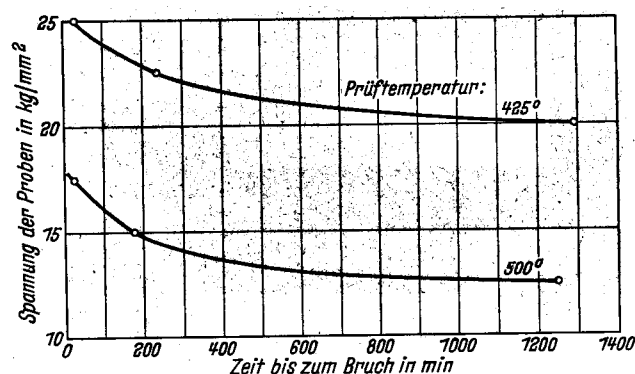


Bild 11. Abhängigkeit der Lebensdauer von Zugproben in flüssigem Zink von der mechanischen Spannung und der Temperatur

geführt. Gewöhnliche Zerreißmaschinen sind für derartige Versuche nicht geeignet. Die Maschine muß vielmehr in der Lage sein, jeden Lastabfall, der durch ein allmähliches Fließen oder eine schnellere Längung der Proben zustande kommt, selbsttätig wieder auszugleichen. Einige Herstellerwerke liefern zu diesem Zweck Vorrichtungen, die eine ständig gleichbleibende Belastung sichern; diejenigen der Werke Losenhausen und Mohr & Federhaff wurden erprobt; andere wurden nicht benutzt.

Der Versuch spielte sich nun so ab, daß die in den Öfen eingebauten Proben nach dem Erreichen der Temperatur unter Zugspannung gesetzt wurden. Die Zeit, die von der Lastaufgabe bis zum Reißen der Probe verstrich, wurde der Einfachheit halber Lebensdauer genannt. Die Lebensdauer ist somit die Zeit, in der die Ribbildung den Querschnitt so weit einengt, daß der Rest die aufgetragene Belastung nicht mehr trägt und infolgedessen reißt. Dieser Wert wurde als Maßstab für die Zerstörungswirkung der Zinkschmelze benutzt, d. h., die Zerstörungswirkung der Zinkschmelze wurde für um so nachhaltiger beurteilt, je kürzer die Lebensdauer der untersuchten Stahlprobe war.

Die Ergebnisse der nächsten Versuchsreihe, die zur Klärung der wichtigsten allgemeinen Beziehungen zwischen Temperatur, Belastung und Lebensdauer dienen, sind in *Bild 11* wiedergegeben. Das Verhältnis zwischen mechanischer Spannung und Lebensdauer ist offenbar nach Art der bekannten Wöhlerlinien zu beschreiben. Auf dem unteren Teil der Linien genügt somit eine gringe Herabsetzung der Spannung, um eine erhebliche Verlängerung der Lebensdauer zu erreichen. Auch der Temperatureinfluß ist erheb-

lich. Am vorteilhaftesten ist das Schaubild der Abhängigkeiten im doppeltlogarithmischen Maßstab (Bild 12), weil gerade hier die zu sehr langer Lebensdauer gehörigen Zugspannungen und Temperaturen noch erfaßt werden können.

Wie Bild 12 zeigt, vermindert sich bei gleicher Spannung die Lebensdauer auf etwa ein Zehntel ihres ursprünglichen

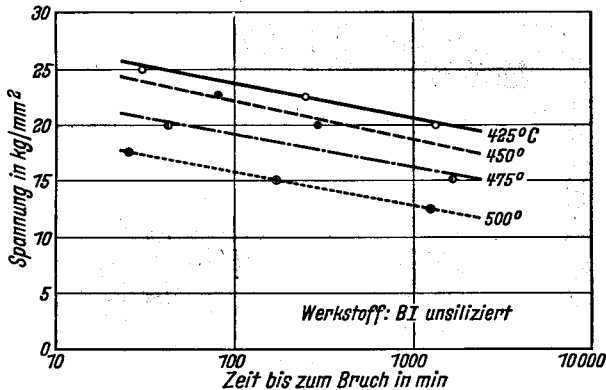


Bild 12. Lebensdauer von Dauerzugproben in flüssigem Zink in Abhängigkeit von Spannung und Temperatur

Wertes, wenn die Temperatur von 475 auf 500° gesteigert wird. Nicht ganz so groß sind die Unterschiede beim Übergang von 425 auf 450 und von 450 auf 475°.

Die Verringerung der Zugspannungen und der Temperatur sind somit offensichtlich wirksame Mittel zur Bekämpfung von Rißerscheinungen an Zinkkesseln. Leider kann man ihre Temperatur aus Wirtschaftlichkeitsgründen nicht allzusehr absenken. Ungünstige örtliche Überhitzungen können aber hiernach offensichtlich zu beschleunigter Rißbildung führen und sollten deshalb möglichst vermieden werden.

Nunmehr ist die Frage zu klären, wieweit die verschieden legierten Stähle sich bei dem geschilderten Zinkangriff untereinander unterscheiden und welcher der beständigste Stahl ist. Hierbei ergibt sich die Notwendigkeit, den Umfang der Prüfungen auf ein erträgliches und durchführbares Maß herabzusetzen. Zweckmäßigerweise schlägt man den folgenden Weg ein:

In der geschilderten Art werden zunächst Kurzerreißeversuche in flüssigem Zink bei den vier Temperaturen 425, 450, 475 und 500° durchgeführt. Die Ergebnisse werden mit denjenigen, die in Luft oder nicht angreifenden Salzschnmelzen erreicht wurden, verglichen.

Die Dauerversuche werden nur bei der Temperatur von 475° durchgeführt.

Begreiflicherweise liegt die Spannungs-Lebensdauer-Linie des Stahles mit bester Beurteilung am höchsten. (Für den Betrieb wäre gleichlaufend damit die Frage zu prüfen, in welchem Umfang der so ermittelte höherwertige Stahl auch gegen den Flächenangriff des Zinks beständig ist.) Bild 13 gibt einen ungefähren Überblick über die Größenordnung der Beziehungen zwischen Lebensdauer und Spannung bei den verschiedenen legierten Stählen bei 475°. Eingetragen sind wieder die Last-Lebensdauer-Linien der erwähnten vier Stähle (Armco, Blechsorte I, unsiliziert und siliziert, und Kupfer-Nickel-Stahl).

Man könnte einwenden, daß die mitgeteilten Versuche zu kurzzeitig sind und daß die Bemessung der Lebensdauer nach Minuten einen zu großen Abstand von den Betriebsforderungen ergibt. Dieser Einwand würde dann berechtigt sein,

wenn man vermuten müßte, daß das mitgeteilte Zeit-Lebensdauer-Gesetz bei längeren Belastungszeiten nicht mehr gilt und man mit vorzeitigen Brüchen rechnen müßte. Die bis zur Drucklegung fortgesetzten Beobachtungen lassen aber eher das Gegenteil vermuten: Die Lebensdauer bei kleinen Belastungen war häufig länger, als man nach dem Beginn bei hohen Belastungen erwarten sollte. Schließlich ist noch auf eine Schwierigkeit hinzuweisen, die bei einer langzeitigen Durchführung der Versuche auftritt und diese erschwert. Allmählich wandelt sich nämlich der gesamte Zinkinhalt des Mantels in Hartzink um. Da Hartzink einen über 500° liegenden Schmelzpunkt hat, erzeugt es auch keine interkristalline Brüchigkeit. Man kann deshalb feuerverzinnte Proben bei den erwähnten hohen Temperaturen langfristig auf Zug beanspruchen ohne interkristalline Brüche zu erhalten. Das Zink ist, wie es ja auch betriebsmäßig im Galvanealing-Verfahren durchgeführt wird, in Hartzink umgewandelt und damit unschädlich geworden. Bei kurzzeitigen Zerreißeversuchen kann dagegen eine Beeinträchtigung der Dehnungs- und Einschnürungswerte eintreten.

Außerdem sind die Versuche da ungenau und verlieren für den Betrieb an Bedeutung, wo die flächige Abzehrung schneller verläuft als die Wachstumsgeschwindigkeit der interkristallinen Risse. Daß sich in dieser Richtung gerade

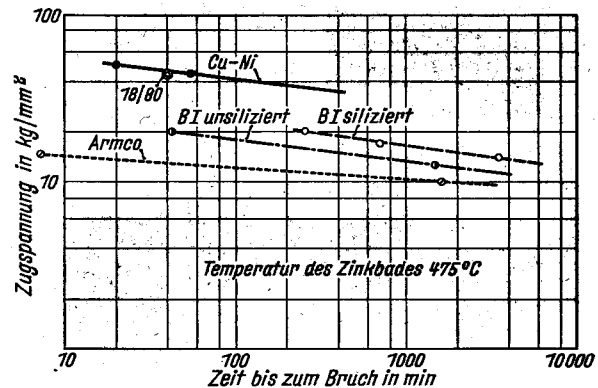


Bild 13. Lebensdauer verschieden legierter Stähle in flüssigem Zink in Abhängigkeit von der Zugspannung

die Stähle, die der Rißbildung am meisten widerstehen, wieder ungünstig verhalten, wurde gelegentlich beobachtet. Dabei zeigten einige Stähle bei anfänglich großer Beständigkeit mit höherer Temperatur eine ganz erhebliche Zunahme der Abzehrung.

Zusammenfassung

Die Entstehung von interkristallinen Rissen durch Einwirkung von flüssigem Zink auf Stahl wurde untersucht.

Bereits bei Hin- und Herbiegung, bei zügigen Biegeversuchen und beim Kurzerreißeversuch wurden Schäden festgestellt. Das flüssige Zink vermag somit sehr schnell eine zerstörende Wirkung auf den Korngrenzen auszuüben.

Bei Langzeit-Zugversuchen trat auch unterhalb der Festigkeit ein einschnürungsloser Bruch nach mehr oder weniger langer Zeit ein. Die Lebensdauer war um so größer, je kleiner die Zugspannung war. Bei gleicher Temperatur ist die Abhängigkeit zwischen Zugspannung und Lebensdauer im doppeltlogarithmischen Maßstab eine gerade Linie. Bei erhöhter Temperatur erniedrigt sich die Lebensdauer erheblich.

Auf gleiche Zugspannung bezogen, haben diejenigen Stähle die höhere Lebensdauer, die auch die höhere Warmfestigkeit zeigen.