

Untersuchungen über die Vorgänge beim Verzinken von Eisen

Von

HERIBERT GRUBITSCH

Aus dem Institut für anorganisch-chemische Technologie der Technischen
Hochschule in Graz

(Mit 22 Textfiguren)

(Vorgelegt in der Sitzung am 11. Februar 1932)

Problemstellung, frühere Versuche. Eigene Versuchsanordnung. Bestimmung der Löslichkeit verschiedener Eisensorten in geschmolzenem Zink in Abhängigkeit von der Temperatur. Die Struktur und Stärke von Verzinkungsschichten bei verschiedenen Temperaturen.

Unter den metallischen Schutzüberzügen von Eisen nimmt das Zink infolge seiner Stellung in der elektrochemischen Spannungsreihe der Metalle sowie infolge der Wohlfeilheit seiner Anwendung den ersten Platz ein. Von der Gesamtmenge des verzinkten Eisens werden zirka 80—85% mit Hilfe von Feuerverzinkungsverfahren verzinkt, so daß dieser Technik besondere Bedeutung zukommt.

Die Korrosionsfähigkeit von Verzinkungsüberzügen ist unter anderem wesentlich von dem Eisengehalt des Verzinkungsbades abhängig, der seinerseits durch die Löslichkeit von Eisen im geschmolzenen Zink gegeben ist. Das sehr gefürchtete Lecken, Undichtwerden eiserner Verzinkungskessel ist ebenfalls auf die Löslichkeit von Eisen in geschmolzenem Zink zurückzuführen.

Eingehendere Untersuchungen über die Temperaturabhängigkeit der Löslichkeit verschiedener Eisensorten in geschmolzenem Zink fehlten.

Die American Society for Testing Materials stellt auf empirischem Wege ermittelte Richtlinien für die Zusammensetzung von Kesselblechen auf, die zum Bau von Feuerverzinkungswannen geeignet sind. Auf Grund dieser Angaben soll ein Kohlenstoffgehalt über 0·1—0·2% C schädlich wirken, d. h. die Löslichkeit des Eisens im Zink erhöhen¹.

¹ H. BABLIK, Grundlagen des Verzinkens, Berlin, JULIUS SPRINGER, 1930 S. 124.

C. DIEGEL² bestimmte die Löslichkeit von Eisensorten mit verschiedenen Kohlenstoffgehalten in geschmolzenem Zink. Die Versuche wurden so vorgenommen, daß Eisenbleche, die teilweise mit einer Zunderhaut bedeckt waren, bestimmte Zeit in eine auf möglichst konstanter Temperatur gehaltene Zinkschmelze eingetaucht wurden, worauf der Gewichtsverlust der Bleche bestimmt wurde. Da die Temperatur der Zinkschmelze nach DIEGEL³ Angaben um ± 7 — 10° schwankte, sind die erhaltenen Werte nicht geeignet, Aufschlüsse über den Mechanismus des Lösungsvorganges zu geben. Eine Arbeit von F. HAUSMANN³ beschäftigt sich mit der Zusammensetzung und Herstellung von Verzinkungspfannen sowie mit der Löslichkeit verschiedener technischer Eisensorten im Zink. Angaben über Versuchsbedingungen und Versuchsmethodik fehlen.

Um diese Fragen aufzuklären, wurden Lösungsversuche verschiedener Eisensorten in chemisch reinem Zink in Abhängigkeit von der Temperatur durchgeführt.

In einer früheren Arbeit⁴ wurde über die Löslichkeit von Armco-Eisen, als dem technisch reinsten, kohlenstoffärmsten Eisen, in Zink Mitteilung gemacht. Nachstehend soll über die Fortsetzung dieser Arbeiten berichtet werden.

Die Versuchsanordnung war bei allen Versuchen die folgende: Verzinkte, zylindrische Eisenplättchen mit einer feinstgeschliffenen Oberfläche von 170 mm^2 und zirka 1 g Gewicht (8 mm Durchmesser bei zirka 2 mm Dicke) wurden bei einer bestimmten Temperatur in reinem, sauerstofffreiem und trockenem Stickstoff mit 10 g geschmolzenem Zink von gleicher Temperatur vereinigt und entsprechende Zeit auf der Reaktionstemperatur belassen. Das Zusammenlegen des Eisens mit dem Zinke erfolgte in einem besonderen Glasgefäß, das in meiner oben erwähnten Arbeit genau beschrieben ist. Nach beendeter Einwirkung trennte man das Zink von den Eisenplättchen durch Abfließenlassen und bestimmte den Gehalt des Zinkes an Eisen maßanalytisch. Auf diese Weise erhält man die im Zinkbade befindliche Eisenmenge.

Die Bestimmung des Gesamtgewichtsverlustes der Eisenplättchen in geschmolzenem Zink bei konstanter Temperatur und bestimmter Reaktionsdauer ergab die Gesamtmenge an gelöstem Eisen. Diese Gewichtsverluste wurden durch Rückwägen der vor

² Z. V. D. J. 57, 1913, S. 1132.

³ Drahtwelt 23, 1930, Nr. 18 vom 3. Mai 1930.

⁴ H. GRUBITSCH, Stahl und Eisen 51, 1931, S. 1113.

dem Versuche gewogenen Plättchen bestimmt, nachdem der Zinküberzug nach den Methoden von O. BAUER⁵ bzw. I. A. AUPPERLE⁶ abgelöst wurde. Beide Methoden lieferten ausgezeichnete Resultate. Auch bei längerem Verweilen der Plättchen in den Ablösungsflüssigkeiten blieb die gelöste Eisenmenge weit unter der Fehlergrenze, die durch Temperaturschwankungen sowie Schwankungen in der Größe der Oberfläche der Plättchen bedingt war und die maximal (im Temperaturintervall von 475—520°) 3% betrug.

Besonderer Wert wurde auf genaueste Temperaturregelung auf $\pm 1.5\%$ C und entsprechend genaue Temperaturmessung gelegt.

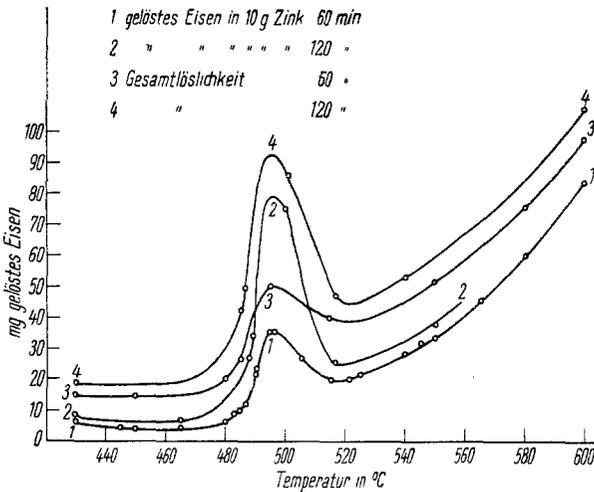


Fig. 1. Löslichkeit von Armco-Eisen in Zink.

Die Angaben über die Prozentgehalte von Eisen im Zink bzw. Milligramme gelöstes Eisen beziehen sich stets auf eine Eisenoberfläche von $170 \pm 5 \text{ mm}^2$ bei Verwendung von 10.0 g Zink.

Wie bereits in meiner früheren Mitteilung ausgeführt wurde, hat man bei der Löslichkeit von Armco-Eisen in chemisch reinem Zink strenge zwischen drei Temperaturzonen zu unterscheiden, innerhalb welcher die Änderung der Löslichkeit bei Änderung der Temperatur sowie der Versuchsdauer nach bestimmten Prinzipien verläuft. Fig. 1 läßt diese Verhältnisse erkennen. Die Kurven 1 und 2 entsprechen den Eisengehalten des Zinkbades bei einer Einwirkungsdauer von einer bzw. zwei Stunden. Kurven 3 und 4

⁵ Mitt. Materialprüf.-Amt 32, 1914, S. 456.

⁶ Proceedings Am. Soc. Testing Materials 15 (II), 1915, S. 119.

geben den Eisenverlust in Milligrammen an, welchen die Plättchen bei einer Einwirkungsdauer bei einer bzw. zwei Stunden erlitten haben, also diejenige Eisenmenge, welche in die Verzinkungsschicht gegangen ist, plus derjenigen Menge, die sich im Zinkbade gelöst hat.

Wie aus den Kurven hervorgeht, ist die Löslichkeit von Armco-Eisen in chemisch reinem Zink von 430—475° nahezu konstant. Durch zahlreiche Versuche konnte bei 450° ein geringerer Eisengehalt des Zinkbades wie bei 430° (Kurven 1, 2) festgestellt werden, während die Gesamtlöslichkeit des Eisens (Kurven 3, 4) langsam ansteigt. Diese Erscheinungen werden in anderem Zusammenhange eingehend besprochen werden. Von 475—495° steigt die Löslichkeit sehr stark an, erreicht bei 495° ein Maximum, um bei 515—520° durch ein Minimum zu gehen. In diesem Temperaturintervall von 475—520° ist die Löslichkeit zeitunabhängig; der Zeitkoeffizient der Löslichkeit geht bei 495°, wie sich aus früheren Versuchen ergab ⁷, ebenfalls durch ein Maximum. Oberhalb von 520° steigt die Löslichkeit mit der Temperatur normal an. Die Zeitabhängigkeit der Löslichkeit geht auf Werte zurück, die jenen im Temperaturgebiete von 430—475° entsprechen.

Besonderes Interesse verdienen die Strukturverhältnisse des Verzinkungsbelages. Ausführliche Arbeiten wurden in dieser Hinsicht von W. GÜRTLER ⁸, W. ARTHUR und W. H. WALKER ⁹, W. H. WALKER ¹⁰, H. S. RAWDON, M. A. GROSSMANN und A. N. FINN ¹¹, H. S. RAWDON ¹², H. W. FINKELDAY ¹³ und W. G. IMHOFF ¹⁴ veröffentlicht.

Bei W. G. IMHOFF finden sich Angaben über erhöhte Löslichkeit in geschmolzenem Zink bei 482° bzw. 510°, während bei 538° ein Löslichkeitsrückgang beobachtet wurde. Diese Feststellungen machte IMHOFF auf Grund metallographischer Untersuchungen.

Arbeiten über die Abhängigkeit der Löslichkeit von der Struktur des Verzinkungsbelages und der Temperatur sind mir nicht bekannt geworden.

Im folgenden sollen diese Erscheinungen näher besprochen werden. Die in den Gefügebildern beobachteten Legierungsbestand-

⁷ H. GRUBITSCH, l. c.

⁸ Intern. Zeitschr. f. Metallographie 1, 1911, S. 353.

⁹ Am. Inst. of Metals 6, 1912, S. 82.

¹⁰ Journal Industr. Engeneering Chemistry 4, 1912, S. 397.

¹¹ Chemical and metallurgical Engeneering 20, 1919, S. 530.

¹² Proceedings Am. Soc. Test. Mat. 18 (I) 1918, S. 216.

¹³ Proceedings Am. Soc. Test. Mat. 26 (II), 1926, S. 304.

¹⁴ Iron Age 125, 1930, S. 294, 633, 933.

Kurve 3 in Fig. 2 gibt die Eisengehalte der Legierungsschichten für eine Einwirkungsdauer von zwei Stunden an. Bei Vergleich der Kurven 2 und 3 ist ersichtlich, daß mit steigender Einwirkungsdauer die Schichtdicke bis zu einer Höchsttemperatur von 490° stark zunimmt, wobei der Eisengehalt des Zinkbades bis zirka 475° nahezu konstant bleibt. Eine besonders starke Zunahme der Schichtdicke erfolgt bei 490° , wie aus Fig. 4 zu entnehmen ist. Bei 495° nimmt die Schichtdicke sehr stark ab (Fig. 5), wobei der Eisengehalt des Zinkbades einen Höchstwert erreicht. Bei weiterer Temperaturerhöhung steigt die Schichtdicke wieder bis 510° an, während der Eisengehalt des Zinkbades sinkt. Über 510° steigt die Löslichkeit stetig an, während die Schichtdicke langsam abnimmt. Diese ausgesprochene Wechselwirkung zwischen der Schichtdicke der Legierungsschichten und dem Eisengehalt des Zinkbades ist besonders bemerkenswert.

Bis 475° bietet die zusammenhängende Legierungsschichte besonders bei Verzinkungswannen einen Schutz gegen den korrodierenden Einfluß des Zinkes. Diese Schichte wächst nach E. J. DANIELS¹⁹ bis 480° durch Diffusion von Zink durch die Legierungsschichte, analog der Bildung und dem Wachstum dichter Metalloxydhäute.

Oberhalb dieser Temperatur bricht die Legierungsschichte auf, wobei der Eisengehalt des Zinkbades oberhalb 495° proportional der Zeit wächst, während die Legierungsschichte an Dicke nicht wesentlich zunimmt. Gelöstes Eisen wandert in das Zinkbad ab, so daß kontinuierliche Auflösung des Eisens erfolgt. Oberhalb 520 — 530° ändern sich diese Verhältnisse neuerdings, indem bei erhöhter Reaktionsdauer der größte Teil des gelösten Eisens in die Schmelze wandert, während die Schichtdicke der Legierungsschichten nur wenig zunimmt.

Zur Gefügeuntersuchung wurden die verzinkten Eisenplättchen quer geschnitten, geschliffen, poliert und mit einer Lösung von 1%iger Salpetersäure in Amylalkohol geätzt.

Die Schlibfbilder, Fig. 3—8, zeigen die Strukturen der Legierungsschichten bei verschiedenen Reaktionstemperaturen und bei einer Verzinkungsdauer von einer Stunde. Bei allen Bildern befinden sich links die Eisenbasis, in der Mitte die Legierungsschichten, die nach rechts in Zink übergehen.

¹⁹ Z. ang. Chemie 44, 1931, S. 900.

Der Rand des Eisens gegen die Legierungsschichten besteht aus einer stark eisenhaltigen, durch Diffusion entstandenen Eisen-Zink-Legierung. Diese Diffusionsschicht ist besonders bei kohlenstoffreicheren Stählen gut zu beobachten. Darauf folgt gegen rechts eine einheitliche Legierungsschicht, der man die Zusammensetzung FeZn_3 zuschreibt. Des weiteren folgt eine Schicht der mutmaßlichen Zusammensetzung $\text{FeZn}_3 + \text{FeZn}_7$, die gegen das Zinkbad allmählich in FeZn_7 -Kristalle übergeht. Den Abschluß gegen das Zinkbad bildet eine Schicht reiner FeZn_7 -Kristalle, die sich langsam ablösen und in das Bad hinausschwimmen. Es ist selten, sämtliche Schichten bei einem Schliff zu erkennen. Die Schicht der Zusammensetzung $\text{FeZn}_3 + \text{FeZn}_7$ besteht gewöhnlich aus langen, dicht aneinandergereihten, spießigen Kristallen, die



Fig. 3. Armco-Eisen, 1 Stunde bei 445° verzinkt. 125 fach vergrößert.



Fig. 4. Armco-Eisen, 1 Stunde bei 485° verzinkt. 125 fach vergrößert.

senkrecht zur Eisenoberfläche orientiert sind. Verzinkte Kanten haben zufolge dieser eigentümlichen Orientierung der Kristalle einen außerordentlich dünnen Zinkbelag in der Richtung der Diagonale.

Leider besitzen wir noch keine Ätzmethoden, die ein eindeutiges Erfassen der einzelnen Gefügebestandteile gestatten.

Fig. 3 und 4 zeigt die Struktur der Verzinkungsschichten von Armco-Eisen bei 445° und 485° . Bei Fig. 3 folgt auf das Eisen eine nur stellenweise sichtbare, sehr dünne Schicht von FeZn_3 . Darauf folgt eine breite, helle, sehr wenig differenzierte Schicht, die in lange, spießige Kristalle übergeht. Diese beiden Schichten dürften aus $\text{FeZn}_3 + \text{FeZn}_7$ bestehen, wobei die Konzentration an FeZn_7 gegen das Zinkbad hin ansteigt. Auf diese Schicht folgt eine Reihe größerer, unregelmäßiger Kristalle von

FeZn_7 , die den Abschluß gegen das Zinkbad bilden. Bei Fig. 4 treten diese Verhältnisse in verstärktem Maße in Erscheinung. Der dunkle Streifen zwischen dem Eisen und der Legierungsschichte ist ein Riß, der während des Polierens entstand. Die Doppelschichte aus $\text{FeZn}_3 + \text{FeZn}_7$ ist bedeutend stärker geworden. Die Kristalle, die den Abschluß gegen die Schmelze bilden, sind sehr langgestreckt, pallisadenähnlich angeordnet. Von dieser „Pallisadenschichte“ stoßen sich kleine Kriställchen von FeZn_7 ab, die in die Schmelze abwandern.

Fig. 5 zeigt die Struktur bei 495° . Das Bild hat sich vollkommen geändert. Auf das Eisen folgt wieder eine sehr schmale, einheitliche Schichte, doch die Pallisadenschichte ist bloß andeutungsweise zu erkennen; sie ist in eine große Zahl kleiner Kristalle

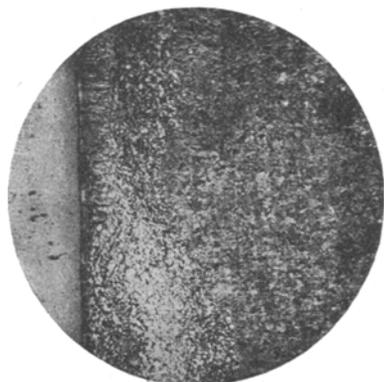


Fig. 5. Armco-Eisen, 1 Stunde bei 495° verzinkt. 125fach vergrößert.

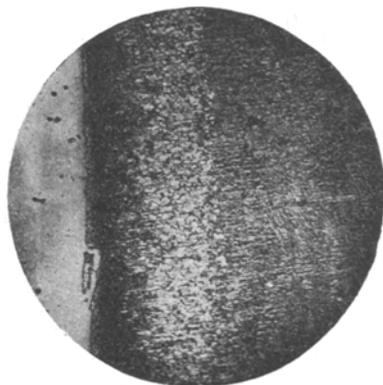


Fig. 6. Armco-Eisen, 1 Stunde bei 515° verzinkt. 125fach vergrößert.

aufgelöst, die in die Zinkschmelze hinausschwimmen. Die Dicke der Schicht ist, wie schon erwähnt, bedeutend geringer geworden. Dieses Bild entspricht dem Höchstwerte der Löslichkeit in Fig. 1, Kurve 3. Es findet bei 495° ein Aufbrechen der schützenden Legierungsschichten statt, so daß das flüssige Zink fast direkt mit dem Eisen in Reaktion treten kann. Dadurch ist der Löslichkeitshöchstwert zu erklären, da das Zink bei niedrigeren Temperaturen nur durch Diffusion durch die Legierungsschichten auf das Eisen einwirken konnte, während bei 495° eine ungehemmte Einwirkung stattfindet.

Bei höheren Temperaturen schließt sich das Gefüge wieder zu einer zusammenhängenden Legierungsschichte, wodurch die Löslichkeit des Eisens im Zink wieder erheblich herabgesetzt wird. Die Fig. 6 (515°), 7 (565°) und 8 (585°) zeigen diese Verhältnisse.

Es tritt wieder eine Art Pallisadenschichte auf, von deren Oberfläche reichlich FeZn_7 -Kristalle an die Schmelze abgegeben werden. Man erkennt deutlich, daß die Dicke der Legierungsschichten mit steigender Temperatur abnimmt, während die Menge der abgestoßenen Kristalle zunimmt.

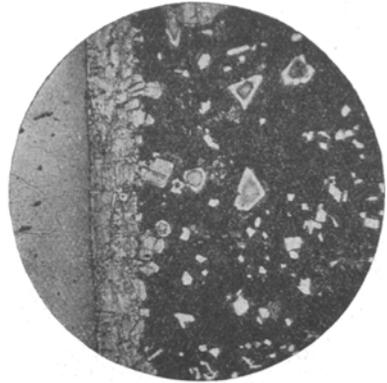


Fig. 7. Armco-Eisen, 1 Stunde bei 565° verzinkt. 125 fach vergrößert.

Fig. 8. Armco-Eisen, 1 Stunde bei 585° verzinkt. 125 fach vergrößert.

Des weiteren wurden Lösungsversuche mit Eisen verschiedenen Kohlenstoffgehaltes durchgeführt, deren Analysen nachstehend angeführt sind:

	C	Si	Mn	P	S	Cu
Armco	0·011	0·002	0·017	0·005	0·028	0·04
I	0·09	0·20	0·45	0·033	0·01	—
II	0·12	0·022	0·37	0·071	0·028	0·02
III	0·11	0·008	0·40	0·058	0·020	0·20
IV	0·29	0·20	0·52	0·031	0·020	—
V	0·50	0·19	0·61	0·035	0·013	—
VI	0·87	0·20	0·81	0·030	0·015	—

Die Löslichkeit von Eisen I mit 0·09% C zeigt Fig. 9.

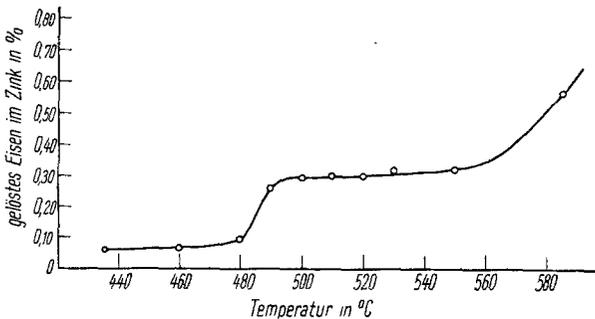


Fig. 9. Löslichkeit von Stahl I (0·09% C) in 10 g Zink bei 1 Stunde Einwirkungsdauer.

Bis 495° gleichen die Verhältnisse vollkommen jenen beim Armco-Eisen. Dagegen steigt die Löslichkeit von 495 — 550° langsam an. Über 550° tritt auch hier ein rascher Angriff des Eisens auf. Es hat sich gezeigt, daß die Löslichkeit des Eisens, besonders bei kohlenstoffreichen Stählen in hohem Maße von der Struktur des Eisens abhängig ist. Diese Erscheinungen werden bei der Be-

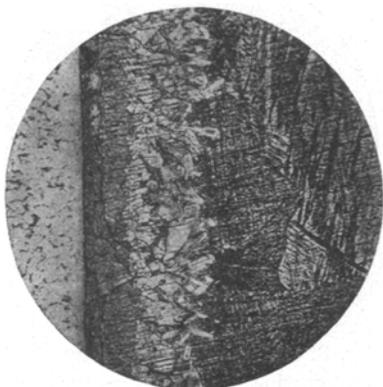


Fig. 10. Stahl I mit 0·09 % C, 1 Stunde bei 460° verzinkt. 125fach vergrößert.

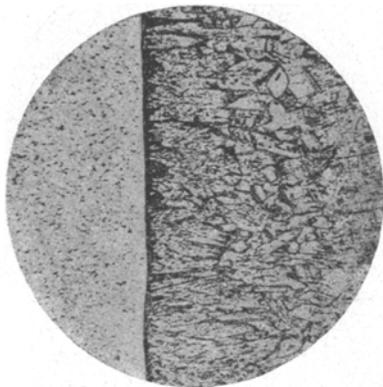


Fig. 11. Stahl I mit 0·09 % C, 1 Stunde bei 480° verzinkt. 125fach vergrößert.

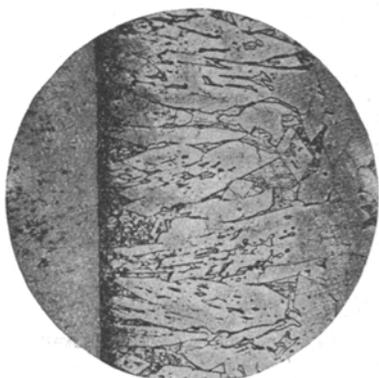


Fig. 12. Stahl I mit 0·09 % C, 1 Stunde bei 490° verzinkt. 125fach vergrößert.

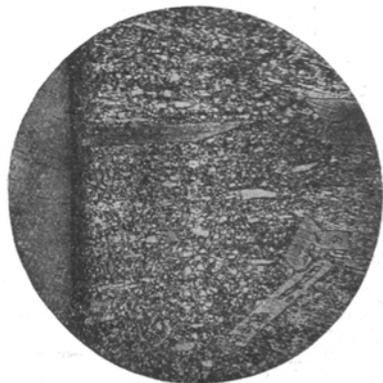


Fig. 13. Stahl I mit 0·09 % C, 1 Stunde bei 495° verzinkt. 125fach vergrößert.

sprechung von Stahl VI näher erörtert. Die untersuchten Eisensorten I bis V waren rein perlitisch-ferritischer Natur.

Die Fig. 10—17 zeigen das Gefüge des verzinkten Stahles I bei verschiedenen Verzinkungstemperaturen und eine Stunde Einwirkungsdauer.

Fig. 10 zeigt das Gefüge bei 460° . Bei diesem wie bei den folgenden Bildern erkennt man deutlich die helle Zinkdiffusions-

schichte, in welcher der Perlit nahezu vollkommen verschwunden ist.

Die Dicke der Legierungsschichten nimmt bei 480° (Fig. 11) und 490° (Fig. 12) beträchtlich zu, wobei die Kristalle der Pallisadenschichte sehr stark anwachsen. Bereits bei 495° (Fig. 13) hat sich diese Pallisadenschichte nahezu vollkommen in sehr



Fig. 14. Stahl I mit 0·09 % C, 1 Stunde bei 500° verzinkt. 125fach vergrößert.

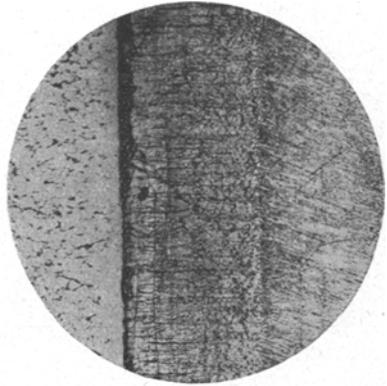


Fig. 15. Stahl I mit 0·09 % C, 1 Stunde bei 530° verzinkt. 125fach vergrößert.

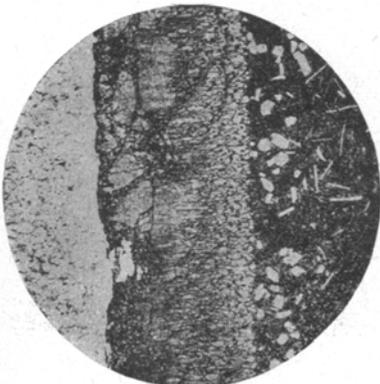


Fig. 16. Stahl I mit 0·09 % C, 1 Stunde bei 570° verzinkt. 125fach vergrößert.

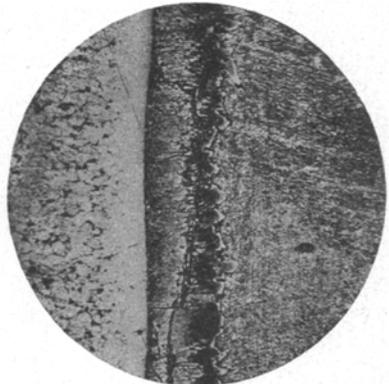


Fig. 17. Stahl I mit 0·09 % C, 1 Stunde bei 600° verzinkt. 125fach vergrößert.

kleine Kriställchen aufgelöst. Einzelne spießige, große Kristalle der Struktur von 490° (Fig. 12) sind im Gefügebild noch zu sehen. Die an das Eisen direkt angrenzende Schichte, die vermutlich aus FeZn_3 besteht, beteiligt sich nicht an diesen Gefügeänderungen. Dieses in Auflösung begriffene Gefüge bleibt bis 520° erhalten (Fig. 14). Zwischen 520° und 530° schließt sich dasselbe wieder, wie es auch bei dem Armco-Eisen beobachtet wurde; bei 530°

(Fig. 15) tritt neuerdings ein regelmäßiges Pallisadengefüge auf, dessen Dicke mit steigender Temperatur (Fig. 16, 17) abnimmt.

Beim Vergleiche dieser Gefügebilder, wie auch solcher von Stählen mit 0.29 und 0.50% C mit denjenigen von Armco-Eisen ergibt sich, daß die Verzinkungsstrukturen perlitischer Stähle bis zu einem Kohlenstoffgehalt von zirka 0.6% C bloß temperatur-

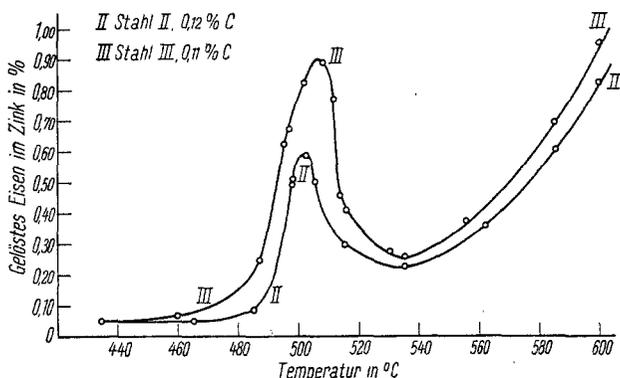


Fig. 18. Löslichkeit der Stähle II und III in 10 g Zink bei 1 Stunde Einwirkungsdauer

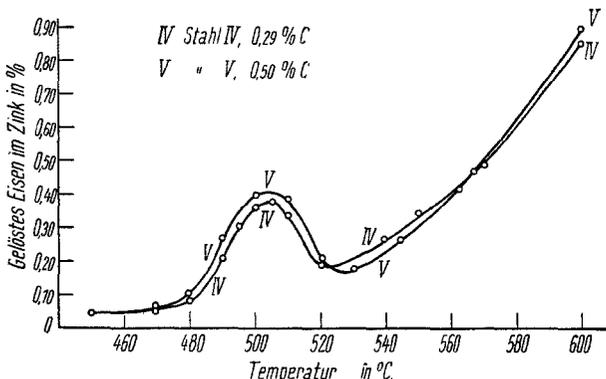


Fig. 19. Löslichkeit der Stähle IV und V in 10 g Zink bei 1 Stunde Einwirkungsdauer.

abhängig und bei gleicher Einwirkungsdauer für bestimmte Temperaturen, die den ausgezeichneten Punkten der Löslichkeitskurven entsprechen, besonders charakteristisch sind. Man ist in der Lage, aus dem Gefügebild auf die Verzinkungstemperatur zu schließen.

Die Diagramme in Fig. 18 und 19 zeigen die Löslichkeiten der Stähle II, III, IV und V. Alle Stähle besitzen rein perlitisches

Gefüge. Die außerordentlich hohe Löslichkeit des Stahles III im Temperaturgebiete von 475—520° ist vielleicht auf den relativ hohen Kupfergehalt von 0.20% Cu zurückzuführen. Nähere Versuche sollen durchgeführt werden.

Beim Vergleiche der Löslichkeitskurven der bis jetzt besprochenen Stähle fällt auf, daß die im Zinkbade befindlichen Eisenmengen für die Stahlsorten unter 0.6% C bei Temperaturen unter 480° und über 530° ähnliche Werte aufweisen, wie aus Fig. 20 hervorgeht. Außerdem sind in dieser Abbildung auch die Löslichkeiten von Stahl VI mit 0.87% C mit perlitischem, sorbitischem und martensitischem Gefüge enthalten.

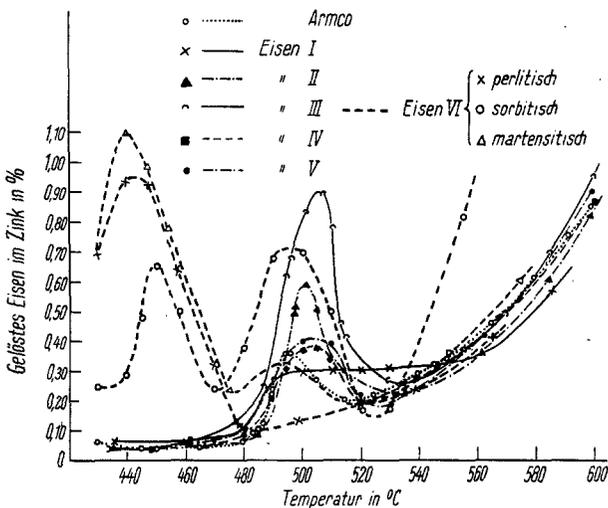


Fig. 20. Löslichkeiten verschiedener Stähle in 10 g Zink bei 1 Stunde Einwirkungsdauer.

Das Löslichkeitsmaximum im Temperaturgebiete von 480° bis 530° ist vom Kohlenstoffgehalt weitgehend unabhängig.

Ganz andere Löslichkeitswerte wurden bei einem eutektoiden Stahl VI mit 0.87% C gefunden. Der Löslichkeitsverlauf ist sehr stark von der Struktur des Stahles abhängig und von den bisher beschriebenen Lösungskurven im Temperaturgebiete bis 530° vollkommen verschieden.

Die Löslichkeit des Stahles VI im Anlieferungszustand mit einem perlitisch-sorbitischen Gefüge zeigt Fig. 21, Kurve 1, für 10 g Zink und eine Einwirkungsdauer von einer Stunde.

Hier tritt außer dem bereits bekannten Löslichkeitsmaximum

bei 495° ein weiteres bei 450° auf. Die Löslichkeit über 530° steigt mit zunehmender Temperatur sehr stark an.

Vollkommen im Einklang mit diesen Ergebnissen stehen die mikrographischen Befunde. Die Verzinkungsstruktur beim ersten Löslichkeitsmaximum von 450° besitzt eine gewisse Ähnlichkeit mit der bekannten Struktur bei 495°.

Die Gefügebilder bei 480° bzw. 490° entsprechen in Übereinstimmung mit den Löslichkeitskurven vollkommen den früher besprochenen Strukturen. Sehr deutlich ist bei allen Gefügebildern die helle Diffusionsschichte des Zinkes in das Eisen zu erkennen, wobei der Perlit nahezu vollkommen zerstört wurde. Bei den Versuchen mit dem Stahl VI fand immer eine deutliche Kohlen-

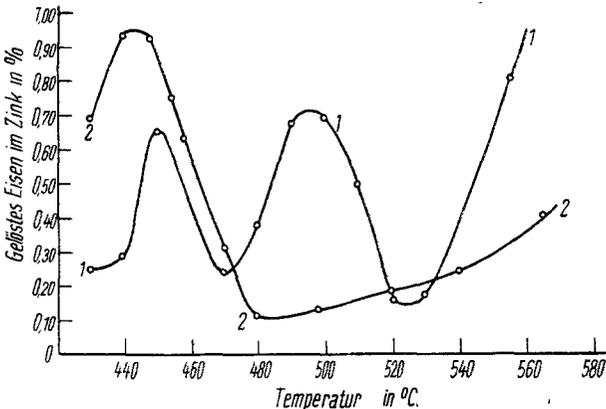


Fig. 21. Löslichkeit von Stahl VI mit 0.87% C in 10 g Zink bei 1 Stunde Einwirkungsdauer.

stoffausscheidung statt. Der Kohlenstoff konnte durch Verbrennen und Einleiten der Verbrennungsprodukte in Barytwasser identifiziert werden.

Fig. 21, Kurve 2, zeigt die Löslichkeit des Stahles VI bei körnig-perlitischem Gefüge. Dieses Gefüge wurde durch vierstündiges Glühen bei 700° und darauffolgendes, langsames Abkühlen im Ofen erzielt. Eine Änderung des Kohlenstoffgehaltes wurde hier wie auch bei den anderen Proben dadurch vermieden, daß die Wärmebehandlung an Stäben von 20 mm Durchmesser durchgeführt wurde, die sodann auf 8 mm Durchmesser abgedreht wurden.

Fig. 22 zeigt die Löslichkeit desselben Eisens von sehr feinkörnig martensitischem Gefüge, wie es durch Erhitzen auf 725° und Ablöschen im siedenden Wasser erhalten wurde. Aus Kurve 1

ist die Abhängigkeit der im Zinke gelösten Eisenmenge von der Temperatur zu entnehmen, während Kurve 2 den durch Ablösung mit Arsen-Schwefelsäure ermittelten Gesamtgewichtsverlusten der Eisenplättchen entspricht. Kurve 3 gibt die in den Legierungsschichten vorhandene Eisenmenge an. Der allgemeine Verlauf derselben ist der Kurve 2 in Fig. 2 sehr ähnlich.

Löslichkeitsversuche bei Anwendung von Verzinkungszink, das neben 1·4% Blei 0·09% Eisen und 0·08% Aluminium enthielt, haben bei sonst gleichen Versuchsbedingungen für Armcoeisen und die Stähle I und II ergeben, daß die Löslichkeit derselben zirka 50—80% höher war, als bei der Verwendung von chemisch reinem Zink. Der Charakter der Löslichkeitskurven änderte sich nicht wesentlich.

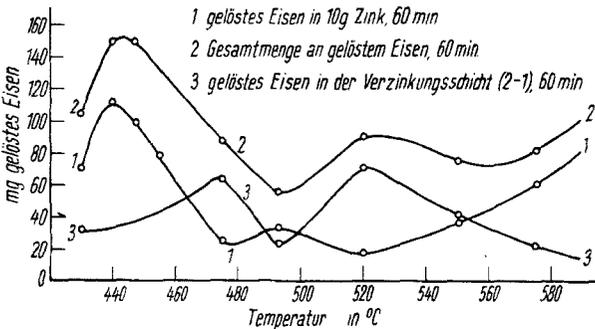


Fig. 22. Löslichkeiten von martensitischem Stahl VI mit 0·87% C bei 1 Stunde Einwirkungsdauer.

Nach H. BABLIK^{20, 21} wird die Löslichkeit von Eisen in aluminiumhaltigem Zink wesentlich vermindert, während E. J. DANIELS²² zu den entgegengesetzten Resultaten kommt. Diese Frage soll demnächst bearbeitet werden.

Über weitere Versuche, betreffend den Einfluß von Legierungsbestandteilen des Eisens, wie Mangan, Chrom und Nickel, auf dessen Löslichkeit in geschmolzenem Zink, sowie über die Abhängigkeit der Biegefähigkeit verzinkter Bleche von der Struktur des Zinkbelages soll später berichtet werden.

Z u s a m m e n f a s s u n g.

1. Die Löslichkeit von Stählen verschiedenen Kohlenstoffgehaltes in geschmolzenem Zink in Abhängigkeit von der Tempe-

²⁰ Stahl und Eisen 46, 1926, S. 844.

²¹ Grundlagen des Verzinkens S. 91.

²² l. c.

ratur wird besprochen. Es werden Lösungskurven für perlitische Stähle bis zu einem Kohlenstoffgehalt von 0·6% aufgestellt, die untereinander ähnlichen Verlauf aufweisen. Im Temperaturintervall von 480 bis 520° besteht ein Löslichkeitsmaximum, dessen Größe schwankt, aber offenbar von dem Kohlenstoffgehalt weitgehend unabhängig ist.

2. Die Stärke der Legierungsschichten wird aus den Lösungskurven gefolgert. Die metallographische Untersuchung bestätigt diese Folgerungen.

3. Die Struktur des Verzinkungsbelages ist bei perlitischen Stählen bis zu einem Kohlenstoffgehalt von 0·6% scharf temperaturabhängig und für einzelne Temperaturen sehr charakteristisch. Es bestehen Zusammenhänge zwischen der Löslichkeit des Eisens im Zink und zwischen der Struktur der Verzinkungsschichten in Abhängigkeit von der Temperatur.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, dem Institutsvorstande Herrn Prof. Dr. G. Jantsch für sein Interesse an der vorliegenden Arbeit bestens zu danken. Auch der Firma Gebrüder Böhler & Co. A.-G., Gußstahlfabrik in Kapfenberg, bin ich für die Anfertigung der Stahlproben I, IV, V, VI zu besonderem Danke verpflichtet.
