

Der Angriff eisengesättigter Zinkschmelzen auf manganhaltiges Eisen

Von Hans-Joachim Wiester in Duisburg-Huckingen und Dietrich Horstmann in Düsseldorf

Mitteilung aus dem Max-Planck-Institut für Eisenforschung; Abhandlung 627

Bericht Nr. 14 des Gemeinschaftsausschusses Verzinken des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute und der Forschungsgesellschaft Blechverarbeitung

Bestimmung der Temperatur- und Zeitabhängigkeit des Angriffs von Zinkschmelzen auf manganhaltiges Eisen mit bis zu 9,3 % Mn.

Die Beeinflussung des Zinkangriffs auf Eisen durch Mangan ist bereits von E. Scheil und H. Wurst¹⁾ sowie von H. Grubitsch²⁾ untersucht worden. E. Scheil und H. Wurst stellen fest, daß der Zinkangriff durch steigende Mangangehalte im Eisen verstärkt wird und der Höchstwert des Angriffs, der bei fast manganfreiem Weicheisen bei 500° liegt³⁾, mit zunehmendem Mangangehalt zu tieferen Temperaturen verschoben wird. Dagegen findet H. Grubitsch, daß der Zinkangriff auf Eisen mit 3 bis 10 % Mn nur unwesentlich stärker ist als der auf Weicheisen, und

dem Feinschleifen bei 800° im Vakuum ausgeglüht und nachfolgend langsam im Ofen abgekühlt wurden. Die Güsse mit 0,16 bis 4,09 % Mn zeigten nach dieser Behandlung ein rein ferritisches Gefüge mit geringen Ausscheidungen von Zementit auf den Korngrenzen (*Bild 1*). Bei den Stählen mit 6,57 und 9,29 % Mn lag dagegen wegen der Herabsetzung der Umwandlungspunkte durch den hohen Mangangehalt die Glüh Temperatur bereits im γ -Gebiet. Durch die Herabsetzung der kritischen Abkühlungsgeschwindigkeit durch Mangan trat die Umwandlung bei diesen

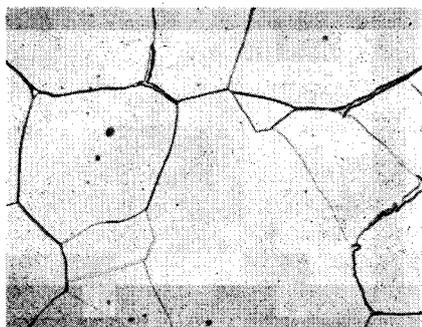


Bild 1 4,09 % Mn

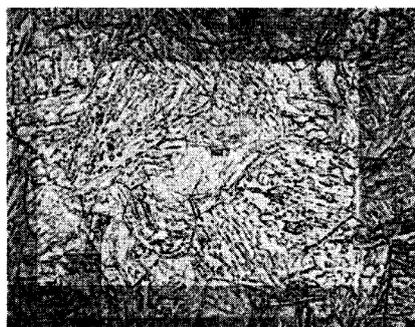


Bild 2 6,57 % Mn

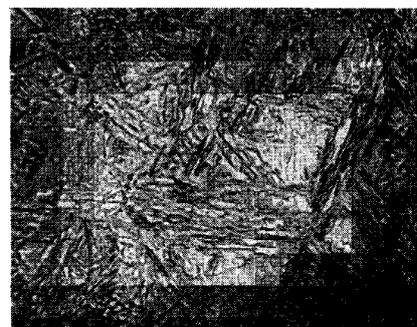


Bild 3 9,29 % Mn

Bilder 1 bis 3. Gefüge der Eisen-Mangan-Legierungen nach der Wärmebehandlung (800°/Ofen). rd. 350:1 (Original 500:1)

daß kein Höchstwert des Angriffs im Temperaturgebiet um 500° auftritt. Diese einander widersprechenden Ergebnisse ließen es wünschenswert erscheinen, den Einfluß von Mangangehalten bis zu 10 % im Eisen auf Art und Größe des Zinkangriffs über den ganzen Temperaturbereich von 430 bis 540° eingehend nachzuprüfen.

Die Untersuchung wurde in der gleichen Art durchgeführt, wie sie bereits eingehend beschrieben wurde³⁾. Die Zusammensetzung der verwendeten Eisen-Mangan-Legierungen, die als 12-kg-Versuchsgüsse im Hochfrequenzofen erschmolzen wurden, ist in *Tafel 1* wiedergegeben. Aus den

Stählen trotz der langsamen Abkühlung erst in der Zwischenstufe oder in der Martensitstufe ein. Daher zeigte der Stahl mit 6,57 % Mn ein aus Zwischenstufengefüge und Martensit bestehendes Gefüge (*Bild 2*), der Stahl mit 9,29 % Mn ein fast rein martensitisches Gefüge (*Bild 3*). Da wegen der Herabsetzung der Umwandlungspunkte durch Mangan ein wirksames Weichglühen nicht möglich war und eine gewisse Anlaßwirkung bereits durch das Verzinkungsbad bewirkt wird, wurde auf eine Anlaßbehandlung verzichtet.

Zur Bestimmung des zeitlichen Ablaufs des Angriffs in Abhängigkeit von der Temperatur wurden Proben bei Versuchstemperaturen von 430 bis 540° mit Tauchzeiten zwischen 1/2 und 5 h in ein eisengesättigtes Zinkbad eingehängt. Aus dem Gewichtsunterschied der Proben vor dem Eintauchen und nach dem Abbeizen der beim Versuch gebildeten Zink- und Hartzinkschichten wurde der Eisen- bzw. Eisen-Mangan-Verlust (im folgenden kurz als Eisenverlust bezeichnet) als Gesamtmenge des mit dem Zink umgesetzten Grundmetalls bestimmt. Außerdem wurden an einer Reihe nach dem Versuch nicht abgebeizter Parallelproben Schriffe hergestellt, an denen der Gefügebau der gebildeten manganhaltigen Eisen-Zink-Legierungsschichten untersucht wurde. Bei einigen Versuchsreihen wurde auch das Wachstum der einzelnen Legierungsschichten bei verschiedenen Temperaturen durch Ausmessen der Dicke dieser Schichten in der Schriffprobe nach verschiedenen Tauchzeiten bestimmt.

Tafel 1. Zusammensetzung der für die Untersuchungen verwendeten Werkstoffe

Werkstoff	Gehalt in Gew.-%						
	C	Si	Mn	P	S	N ₂	O ₂
1	0,020	< 0,01	0,16	0,006	0,022	0,004	0,132
2	0,010	< 0,01	0,26	0,006	0,012	0,004	0,100
3	0,015	< 0,01	0,55	0,009	0,010	0,004	0,058
4	0,020	< 0,01	0,80	0,010	0,010	0,004	0,054
5	0,005	< 0,01	1,36	0,015	0,008	0,004	0,046
6	0,015	< 0,01	1,69	0,014	0,008	0,004	0,030
7	0,025	0,03	4,09	0,018	0,009	0,005	0,014
8	0,025	0,04	6,57	0,022	0,008	0,004	0,012
9	0,035	0,06	9,29	0,024	0,009	0,005	0,008

zu 13-mm-Vierkant-Stangen ausgeschmiedeten Blöcken wurden Proben von 50×10×10 mm hergestellt, die nach

¹⁾ Z. Metallkde. 29 (1937) S. 224/29.

²⁾ DRP 617 765, Österreichisches Patent 142 230.

³⁾ Horstmann, D.: Stahl u. Eisen 73 (1953) S. 659/65.

Der Eisenverlust

Wie in den vorangegangenen Arbeiten^{3) bis 5)}, die sich mit der Frage des Zinkangriffs auf Eisen beschäftigten, wurde auch bei dieser Untersuchung der Eisenverlust als Maß für die Stärke des Angriffs gewählt, da er unmittelbar die Menge des Grundmetalls angibt, die sich bei der jeweiligen Versuchstemperatur und -dauer mit dem Zink umsetzt. Beim Angriff des Zinks auf Weicheisen beobachtet man, daß der Angriff nach zwei verschiedenen Zeitgesetzen erfolgt³⁾. Während er

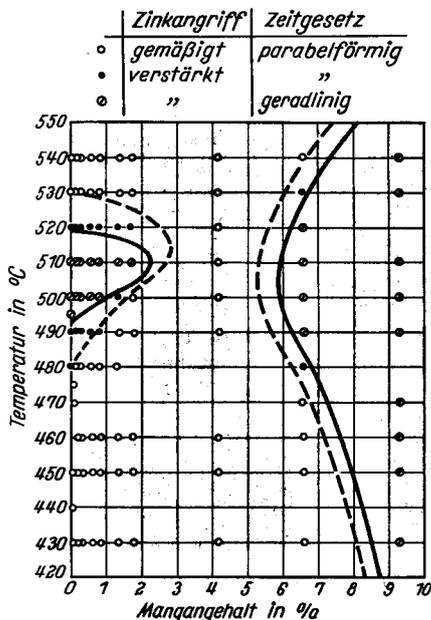


Bild 4. Abhängigkeit der unterschiedlichen Arten des Zinkangriffs vom Mangangehalt

bei höheren und tieferen Temperaturen parabolförmig mit der Zeit abklingt, beobachtet man in dem dazwischenliegenden Temperaturgebiet von 495 bis 515° einen verstärkten Zinkangriff, der geradlinig mit der Zeit fortschreitet.

Tafel 2. Festwerte des Eisenverlustes in Abhängigkeit von Temperatur und Mangangehalt
Eisenverlust-Festwerte $a = (g \cdot cm^{-2}) \cdot min^{-1} \cdot 10^{-3}$ (parabolförmiges Zeitgesetz)
Eisenverlust-Festwerte $b = (g \cdot cm^{-2}) \cdot min^{-1} \cdot 10^{-4}$ (geradliniges Zeitgesetz) (stark umrandete Teile)

Gew.-% Mn	Temperatur ° C										
	430	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540
0,008	66,0	86,9	—	117,2	144,1	363,1	7,3	5,4	625,7	235,2	257,3
0,16	73,2	95,0	106,8	—	142,5	349,6	6,8	5,6	719,5	251,0	287,1
0,26	76,8	105,1	119,1	—	155,3	341,5	5,9	5,7	721,6	266,1	300,0
0,55	99,7	133,7	138,2	—	184,6	261,0	5,4	6,1	847,3	324,9	351,2
0,80	111,9	157,5	167,3	—	218,9	280,1	3,6	6,1	919,0	373,3	438,9
1,36	159,5	198,9	225,5	—	288,1	302,0	413,1	6,4	890,0	474,9	493,4
1,69	189,3	232,4	274,1	—	—	350,4	422,8	6,4	970,5	522,4	591,3
4,09	144,2	178,3	192,4	—	—	279,8	299,1	318,8	360,9	378,3	445,4
6,57	368,1	464,9	564,1	608,9	3554,0	4,5	8,2	8,6	7,6	2734,3	1284,9
9,29	4,8	10,9	12,3	13,7	—	14,7	14,9	14,2	—	11,9	8,0

Im Bereich des Übergangs von der einen Angriffsart zur anderen beobachtet man ebenfalls einen verstärkten Zinkangriff, dessen Größe jedoch parabolförmig mit der Zeit abklingt. Die gleichen Zeitgesetze gelten auch für den Angriff des Zinks auf manganhaltiges Eisen, doch werden die Temperaturgrenzen zwischen den verschiedenen Angriffsarten durch Mangan verschoben (Bild 4). Das Temperaturgebiet des verstärkten Zinkangriffs wird mit steigendem Mangangehalt zunächst verengt und bei 2,5 bis 3 % Mn völlig abgeschnürt. Bei Mangangehalten über 5 % beobachtet man, wie Bild 4 zeigt, erneut das Auftreten eines Temperaturgebietes mit verstärktem Zinkangriff, das sich mit steigendem Mangangehalt sehr stark verbreitert und sich bei 9 % Mn über das gesamte untersuchte Temperatur-

gebiet erstreckt. Bei etwa 2,5 bis 6 % Mn tritt kein verstärkter Zinkangriff nach dem geradlinigen Zeitgesetz und bei etwa 3 bis 5 % Mn auch kein verstärkter Angriff nach parabolförmigem Zeitgesetz auf.

Wie in den früheren Arbeiten^{3) bis 5)} wurden auch bei dieser Untersuchung für die von der Versuchszeit unabhängige Kennzeichnung der Stärke des Angriffs die beiden Festwerte a und b gewählt, die sich aus den Gleichungen

$$m^2 = a \cdot t$$

für den Angriff nach parabolförmigem Zeitgesetz und

$$m = b \cdot t$$

für den Angriff nach geradlinigem Zeitgesetz ergeben, worin m den nach einer bestimmten Zeit gemessenen Eisenverlust je cm^2 Oberfläche und t die Versuchszeit darstellen. Diese von der Zeit unabhängigen Eisenverlust-Festwerte sind in Tafel 2 in Abhängigkeit von der Temperatur und vom Mangangehalt des Eisens zusammengestellt. Dabei ist auf die verschiedenen Dimensionen der Festwerte a und b hinzuweisen, die sich aus den oben angeführten Gleichungen ergeben. Die Festwerte geben daher nur bei gleicher Angriffsart ein vergleichbares Maß für die Stärke des Angriffs. Ebenso wie in Bild 4 zeigt sich aus der Umrahmung der für das gleiche Zeitgesetz geltenden Werte, daß das Temperaturgebiet des verstärkten Angriffs nach geradlinigem Zeitgesetz zunächst abgeschnürt wird und bei höheren Mangangehalten erneut auftritt. Aus den Zahlenwerten ist darüber hinaus zu entnehmen, daß in den Temperaturgebieten, in denen das parabolförmige Zeitgesetz gilt, die Größe des Zinkangriffs zunächst ansteigt, bei 1,69 % Mn einen Höchstwert erreicht und dann wieder abnimmt, um bei Annäherung an das zweite Gebiet des verstärkten Angriffs nach linearem Zeitgesetz bei hohen Mangangehalten erneut sehr stark anzusteigen. Der Angriff ist aber in allen Fällen stärker als der bei Weicheisen in den betreffenden Temperaturgebieten. Auch der Tiefstwert bei 4,09 % Mn ergibt demnach keine Verringerung des Angriffs gegenüber unlegiertem Eisen.

Mangan begünstigt also in dem untersuchten Bereich durchweg mehr oder weniger stark den Angriff nach parabolförmigem Zeitgesetz, soweit dieser überhaupt in Erscheinung tritt.

Das geht auch aus Bild 5 hervor, in dem die Eisenverlust-Festwerte für den Angriff nach parabolförmigem Zeitgesetz in einem logarithmischen Maßstab in Abhängigkeit vom Kehrwert der absoluten Temperatur für verschiedene Mangangehalte aufgetragen sind. Die schon früher³⁾ festgestellte Temperaturabhängigkeit des Angriffs von reinen Zinkschmelzen auf Weicheisen ist zum Vergleich mit eingezeichnet. Wie aus diesem Bild hervorgeht, liegen die gemessenen Eisenverlust-Festwerte a in den beiden Temperaturgebieten unter- und oberhalb des Bereiches des verstärkten Angriffs auf einer durchgehenden Geraden. Das bedeutet, daß der Angriff

³⁾ Horstmann, D.: Arch. Eisenhüttenwes. 25 (1954) S. 207/13.
⁵⁾ Horstmann, D.: Arch. Eisenhüttenwes. 25 (1954) S. 527/33.

von Zinkschmelzen auf manganhaltiges Eisen genau so wie der auf Weicheisen in diesen beiden Temperaturgebieten nach dem gleichen Temperaturgesetz erfolgt. Für diese Geraden gilt die Gleichung

$$a = A \cdot e^{-\frac{B}{T}}$$

wobei a den von der Temperatur abhängigen Festwert des Eisenverlustes, T die absolute Temperatur und A und B

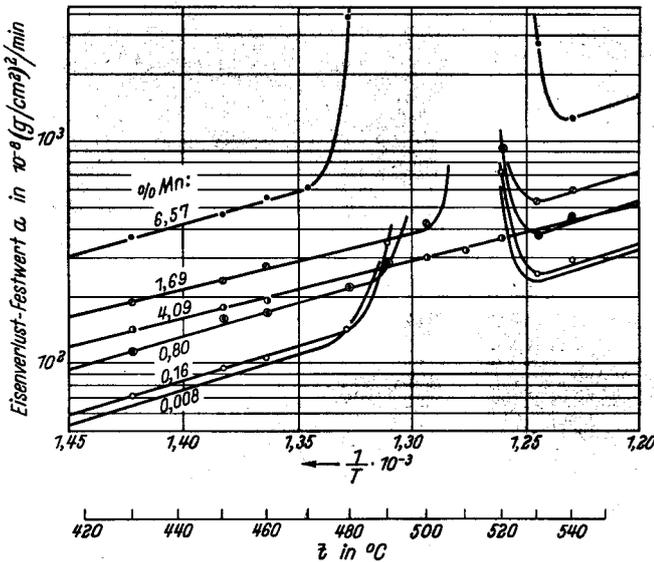


Bild 5. Eisenverlust-Festwert bei parabelförmigem Zeitgesetz in Abhängigkeit vom Kehrwert der absoluten Temperatur bei verschiedenen Mangangehalten

zwei in diesem Falle vom Mangangehalt des Eisens abhängige Festwerte bedeuten. Diese beiden Festwerte A und B lassen sich aus dem Verlauf der logarithmischen Geraden für verschiedene Mangangehalte im Eisen aus jeweils zwei Wertepaaren berechnen, wobei der Ursprung der Geraden durch den Festwert A und das Steigungsmaß durch den Festwert B bestimmt wird. Das Ergebnis dieser Berechnung in Bild 6 und 7 zeigt, daß diese beiden Größen mit zunehmendem Mangangehalt zunächst stetig kleiner

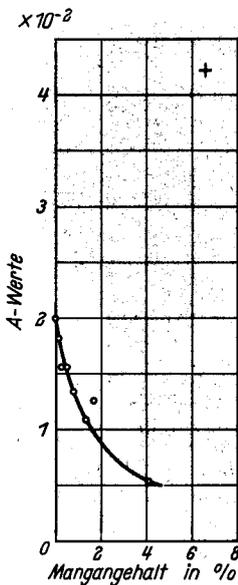


Bild 6. A-Werte in Abhängigkeit vom Mangangehalt

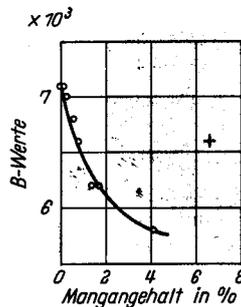


Bild 7. B-Werte in Abhängigkeit vom Mangangehalt

werden. Bei 6,57 % Mn treten dann plötzlich höhere Werte auf. Diese Unstetigkeit im Verlauf der A - und B -Werte erklärt sich aus dem eingangs geschilderten Unterschied im Gefügestand des Grundmetalls, ist daher nur mittelbar auf den Einfluß des Mangangehaltes zurückzuführen. Während bis zu 4 % Mn das Gefüge aus beinahe spannungsfreiem Ferrit besteht (Bild 1), tritt bei 6,57 % Mn ein durch Umklappkristallisation gebildetes, aus Zwischenstufengefüge

und Martensit bestehendes Gefüge auf (Bild 2). Die aus der Umwandlung sich ergebende Verspannung des Gefüges, die bei den verhältnismäßig niedrigen Temperaturen des Zinkbades noch nicht aufgehoben wird, bewirkt ganz allgemein eine Verstärkung des Zinkangriffs, vermutlich durch eine Beschleunigung der dabei ablaufenden Diffusionsvorgänge. Dieser Einfluß des Umwandlungsgefüges tritt in verstärktem Maße bei dem Stahl mit 9,59 % Mn in Erscheinung, der ein fast rein martensitisches Gefüge aufweist (Bild 3). Bei diesem tritt im ganzen Temperaturbereich nur der verstärkte Angriff nach geradlinigem Zeitgesetz auf, so daß er in den Bildern 5 bis 7 nicht miterscheint.

Die Eisenverlust-Festwerte b für den Angriff nach geradlinigem Zeitgesetz sind für die beiden Gebiete, in denen diese Angriffsart auftritt, in Bild 8 und 9 in Abhängigkeit von der Temperatur aufgetragen. Der Rückgang des Angriffs nach dieser Angriffsart und die Einschränkung ihres Temperaturbereiches bei Mangangehalten bis zu 1,69 % kommt in dieser Darstellung besonders deutlich zum Ausdruck (Bild 8). Die Temperatur des Höchstwertes des Angriffs, der bei Weicheisen bei 500° liegt, wird durch Manganzusätze zum Eisen zu etwas höheren Temperaturen verschoben, so daß der Höchstwert bei 1,69 % Mn bei etwa 510° liegt. Im zweiten Bereich des geradlinig mit der Zeit fortschreitenden Angriffs bei hohen Mangangehalten (Bild 9) nimmt der Angriff mit steigendem Mangangehalt sehr stark zu. Zugleich wird der Temperaturbereich dieser Angriffsart stark verbreitert. Der Höchstwert des Angriffs verschiebt sich mit dem Mangangehalt nur unwesentlich, nämlich von 505° bei 6,57 % Mn zu 500° bei 9,29 % Mn. Es ist anzunehmen, daß das Auftreten dieses zweiten Gebietes eines verstärkten Gebietes ein verstärktes, geradlinig mit der Zeit fortschreitenden Zinkangriffs vor allem auf das bei diesen hohen Mangangehalten auftretende durch Umklappkristallisation gebildete Gefüge zurückzuführen ist. Ob die in diesem Gebiet mit zunehmendem Mangangehalt eintretende Verstärkung des Angriffs auf zunehmende Gitterverspannung des Grundgefüges oder auf sonstige durch den Mangangehalt bedingte Nebenwirkungen zurückzuführen ist, bleibt offen.

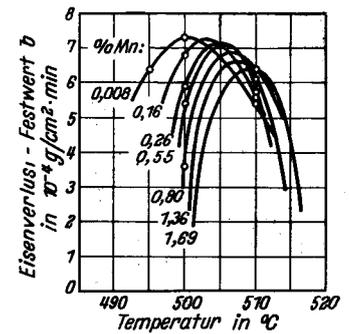


Bild 8. Eisenverlust-Festwerte im ersten Gebiet des geradlinig fortschreitenden Angriffs bei verschiedenen Mangangehalten

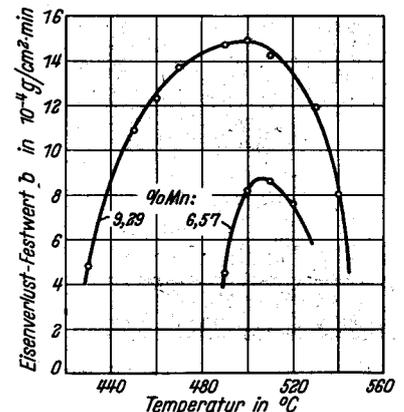


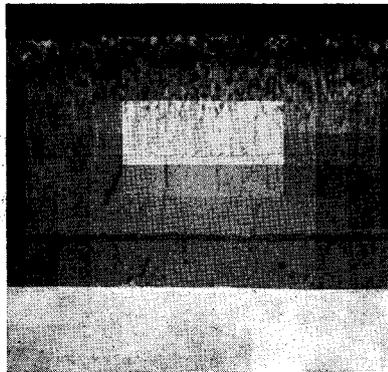
Bild 9. Eisenverlust-Festwerte im zweiten Gebiet des geradlinig fortschreitenden Angriffs

Gefügebau und Wachstum der Eisen-Zink-Legierungsschichten

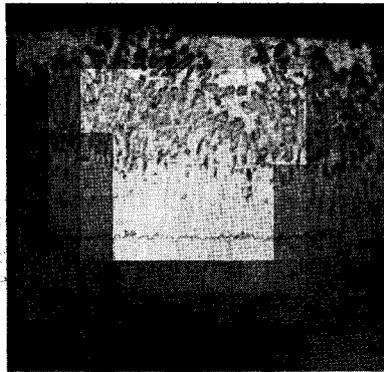
In den Temperaturgebieten mit parabelförmig abklingendem Zinkangriff beobachtet man ebenso wie beim Angriff des Zinks auf manganfreies Eisen, daß sich auf der Eisenoberfläche festhaftende Eisen-Zink-Legierungsschichten bilden, während diese im Temperaturgebiet des geradlinig mit der Zeit fortschreitenden Angriffs fast vollständig auseinander-

reißen. Als Beispiel für den Aufbau der Eisen-Zink-Legierungsschichten ist in den *Bildern 10a bis 10g* das Gefüge von Legierungsschichten wiedergegeben, die bei parabelförmig mit der Zeit abklingendem Zinkangriff auf Eisen mit verschiedenen Mangangehalten bei verschiedenen Temperaturen gewachsen sind. Danach lassen die so gebildeten Legierungsschichten keinen Einfluß des Mangangehaltes auf ihren Auf-

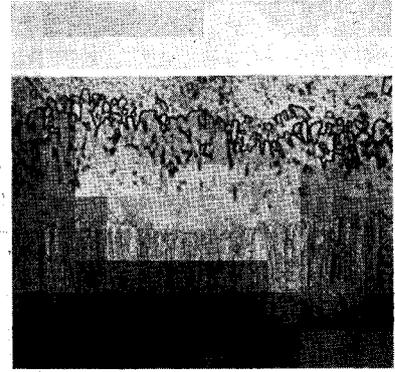
der verstärkte Angriff ebenso wie bei Weicheisen dadurch bedingt ist, daß sich wegen der Behinderung der peritektischen Umwandlung $\delta_1 + \text{Schmelze} \rightleftharpoons \zeta$ keine festhaftenden Legierungsschichten bilden, sondern daß die unmittelbar aus der Schmelze gebildeten ζ -Kristalle ins Zinkbad abschwimmen und die darunter gebildete δ_1 -Schicht fast vollständig auseinanderreißt⁶⁾. Ein Einfluß des Mangans



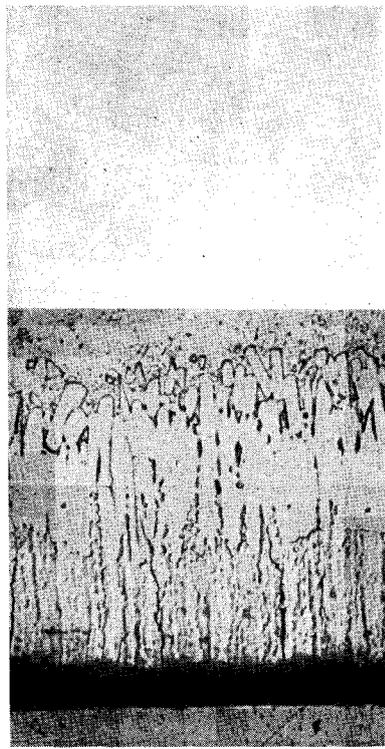
a) 0,80 % Mn, 450° 200:1



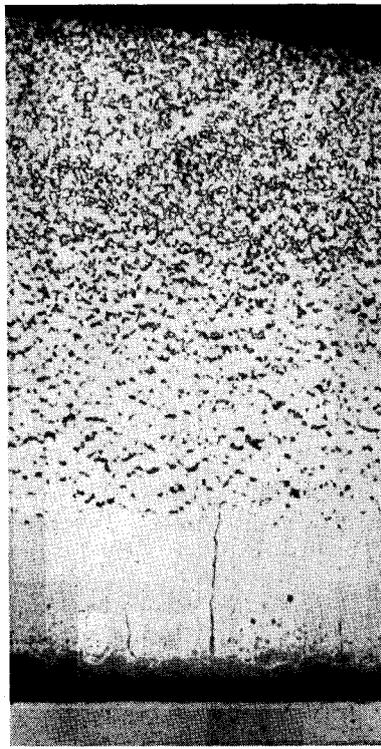
b) 4,09 % Mn, 450° 200:1



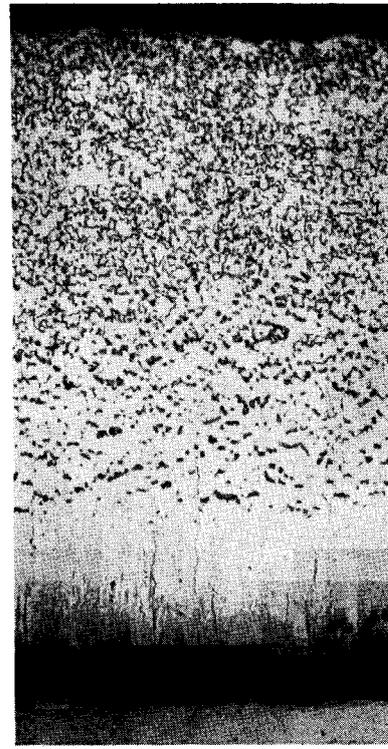
c) 6,57 % Mn, 450° 200:1



d) 4,09 % Mn, 500° 200:1



e) 0,80 % Mn, 540° 200:1



f) 4,09 % Mn, 540° 200:1

Bilder 10a bis f

Gefüge der Eisen-Zink-Legierungsschichten bei verschiedenen Mangangehalten und Tauchtemperaturen nach einer Tauchzeit von 1 Stunde

bau erkennen. Sowohl bei niedrigen als auch bei hohen Mangangehalten zeigt sich bei Temperaturen unterhalb der Umwandlungstemperatur $\delta_1 + \text{Schmelze} \rightleftharpoons \zeta$ das Dreischichtengefüge, bestehend aus der Γ -, δ_1 - und ζ -Schicht (*Bilder 10a bis 10d*). Oberhalb der Umwandlungstemperatur, die mit steigendem Mangangehalt von 530 bis auf etwa 500° bei 9,29 % Mn erniedrigt wird, fällt die ζ -Phase weg, da sie nicht mehr beständig ist. Man beobachtet dann nur noch ein Zweischichtengefüge aus der Γ - und δ_1 -Phase (*Bilder 10e bis 10g*). Auch hier ist kein Einfluß des Mangangehaltes auf die Ausbildung der Legierungsschichten zu erkennen.

In den *Bildern 10h und 10i* sind Beispiele für den Gefügebau der Eisen-Zink-Legierungsschichten im Temperaturbereich des verstärkten geradlinig mit der Zeit fortschreitenden Angriffs wiedergegeben. Diese lassen erkennen, daß

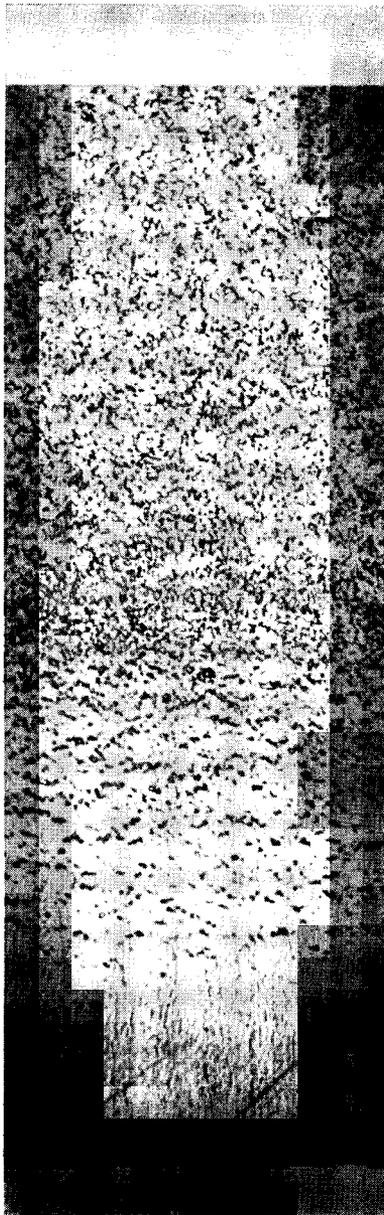
auf diese Vorgänge kann sich einmal aus einer Veränderung der Bildungsgeschwindigkeit der ζ -Phase, zum anderen aus der Veränderung der Diffusionsbedingungen ergeben. Bei niedrigen Mangangehalten wird offenbar die Bildung der ζ -Phase durch das Mangan erleichtert, so daß das Gebiet des verstärkten geradlinig fortschreitenden Angriffs abgeschnürt wird. Bei hohen Mangangehalten überwiegt demgegenüber der Einfluß der durch den Wechsel im Gefügebau stark veränderten Diffusionsbedingungen, so daß hier erneut ein mit dem Mangangehalt zunehmend verstärkter geradlinig fortschreitender Angriff auftritt.

Im Bereich des parabelförmig mit der Zeit abklingenden Angriffs lassen sich auf Grund der bekannten Dichten (7,36 für die Γ -Phase und 4,26 für die δ_1 -Phase) und der mittleren Eisengehalte (24,4 für die Γ -Phase und 9,5 für die

⁶⁾ Horstmann, D.: Arch. Eisenhüttenwes. 25 (1954) S. 215/19.

δ_1 -Phase) aus der Dicke der Γ - und der δ_1 -Schicht von der Temperatur abhängige Festwerte des Eisengehaltes berechnen (Tafeln 3 und 4). Diese Festwerte sind in Bild 11 in einem logarithmischen Maßstab in Abhängigkeit von dem Kehrwert der absoluten Temperatur

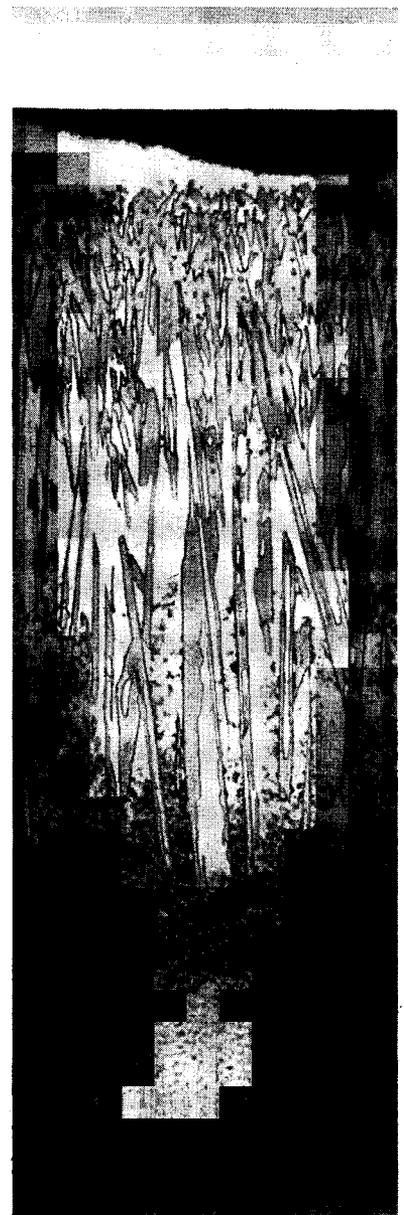
aufgetragen. Zum Vergleich sind die Festwerte des Eisenverlustes in diese Bilder mit eingezeichnet. Es zeigt sich, daß in den Temperaturbereichen des gemäßigten parabelförmig mit der Zeit abklingenden Angriffs die Festwerte des Eisengehaltes der Γ -Schicht und der δ_1 -Schicht ebenso



g) 6,57% Mn, 540° 100:1



h) 0,80% Mn, 500° 200:1



i) 6,57% Mn, 500° 200:1

Bilder 10g bis i

Gefüge der Eisen-Zink-Legierungsschichten bei verschiedenen Mangangehalten und Tauchtemperaturen nach einer Tauchzeit von 1 Stunde

Tafel 3. Festwerte des Eisengehaltes der Γ -Schicht a' ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$) $\cdot \text{min}^{-1} \cdot 10^{-10}$ in Abhängigkeit von der Temperatur und dem Mangangehalt

Gew.-% Mn	Temperatur °C										
	430	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540
0,80	7,3	9,2	10,7	—	13,5	8,5	Γ -Schicht fehlt	5,6	24,6	26,8	
4,09	18,1	23,0	23,6	—	—	31,9	38,3	42,1	45,0	53,7	52,9
6,57	13,6	16,3	18,7	23,5	5,6	Γ -Schicht fehlt			10,9	48,1	

Tafel 4. Festwerte des Eisengehaltes der δ_1 -Schicht a'' ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$) $\cdot \text{min}^{-1} \cdot 10^{-10}$ in Abhängigkeit von der Temperatur und dem Mangangehalt

Gew.-% Mn	Temperatur °C										
	430	450	460	470	480	490	500	510	520	530	
0,80	53,5	75,0	100,9	—	156,6	168,0					
4,09	61,1	107,6	127,4	—	—	217,2	258,1				
6,57	158,4	275,0	328,1	386,3	426,3						

Bei höheren Temperaturen schwimmen Teile der δ_1 -Schicht ab

wie die Eisenverlust-Festwerte auf einer Geraden liegen. Aus diesen logarithmischen Geraden, für die die Gleichungen

$$a' = A' \cdot e^{-\frac{B'}{T}} \text{ für die } \Gamma\text{-Schicht}$$

und

$$a'' = A'' \cdot e^{-\frac{B''}{T}} \text{ für die } \delta_1\text{-Schicht}$$

gelten, lassen sich für das Wachstum dieser Schichten die nur vom Mangangehalt abhängigen Festwerte A' , A'' , B' und B'' berechnen. Das Ergebnis dieser Berechnung ist in den Bildern 12 und 13 in Abhängigkeit vom Mangangehalt aufgetragen. Wie die entsprechenden Festwerte für den Eisenverlust fallen diese Größen mit steigendem Mangangehalt zunächst ab und steigen bei einem Mangangehalt von 6,57% entsprechend der Veränderung des Grundgefüges

plötzlich wieder an. Bild 11 zeigt ferner, daß die logarithmische Gerade der Festwerte des Eisengehaltes der Γ -Schicht und die der Eisenverlust-Festwerte zueinander parallel verlaufen, während die der δ_1 -Schicht ein anderes

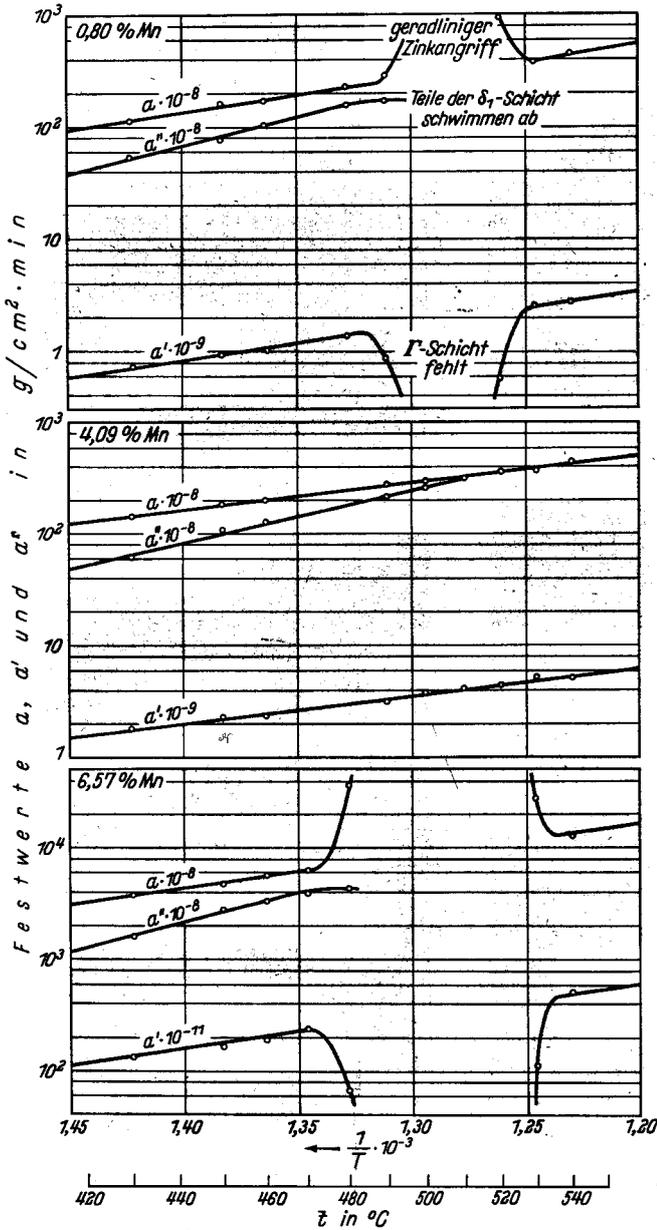


Bild 11. Eisenverlust-Festwerte (a) und Eisengehalt-Festwerte der Γ -Schicht (a') und der δ_1 -Schicht (a'') in Abhängigkeit vom Kehrwert der absoluten Temperatur bei geradlinigem Zeitgesetz

Steigungsmaß besitzt. Dies bedeutet, daß die Diffusion in der Γ -Schicht auch bei Anwesenheit von Mangan im Eisen die Geschwindigkeit des Gesamtangriffs bestimmt. Dieser Zusammenhang wird auch dadurch belegt, daß in den Tem-

peraturgebieten, in denen höhere Eisenverlust-Festwerte festgestellt worden sind, niedrigere Festwerte des Eisengehaltes der Γ -Schicht gefunden werden.

Für den praktischen Verzinkungsbetrieb könnte das Fehlen eines geradlinig mit der Zeit fortschreitenden verstärkten Zinkangriffs im kritischen Temperaturbereich die Verwendung eines so legierten Werkstoffes als gegen eine

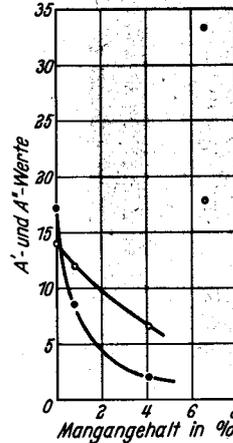


Bild 12. A' - und A'' -Werte in Abhängigkeit vom Mangangehalt

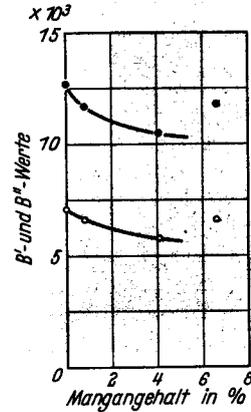


Bild 13. B' - und B'' -Werte in Abhängigkeit vom Mangangehalt

Überhitzung unempfindlichen Kesselbaustoff vorteilhaft erscheinen lassen. Dem steht jedoch als Nachteil gegenüber, daß im gesamten Gebiet des parabelförmig fortschreitenden Angriffs mit einer Verstärkung des Angriffs durch den Mangangehalt gerechnet werden muß (s. Tafel 2).

Zusammenfassung

Untersuchungen über den Angriff eisengesättigter Zinkschmelzen auf manganhaltiges Eisen mit bis zu 9,29 % Mn zeigen, daß bis zu Gehalten von 1,69 % Mn der parabelförmig mit der Zeit fortschreitende Angriff des Zinks mit steigendem Mangangehalt verstärkt wird, um bei 4,09 % Mn wieder schwächer zu werden. Der Angriff ist aber in allen Fällen stärker als der bei fast manganfreiem Weicheisen in den betreffenden Temperaturgebieten. Der Temperaturbereich des geradlinig mit der Zeit fortschreitenden verstärkten Angriffs, der sich bei Weicheisen von 495 bis 515° erstreckt, wird mit steigendem Mangangehalt zunächst verengt und schließlich abgeschnürt, so daß bei 3 bis 5 % Mn kein geradlinig fortschreitender verstärkter Zinkangriff mehr auftritt. Bei Mangangehalten über 6 % tritt, bedingt durch das wegen des hohen Mangangehaltes aus Zwischenstufengefüge oder Martensit bestehende Grundgefüge und den Einfluß der sich hieraus ergebenden Gefügeverspannung auf die Diffusionsvorgänge, erneut ein verstärkter geradlinig mit der Zeit fortschreitender Zinkangriff auf, dessen Temperaturbereich sich mit weiter ansteigendem Mangangehalt so stark verbreitert, daß bei 9,29 % Mn nur noch diese Angriffsart beobachtet wird.