

Man verwendet daher die Magnete nicht sofort, sondern überläßt sie während längerer Zeit der freiwilligen Alterung.

Man kann die Annäherung des alternden Magneten an den asymptotischen Grenzwert des zurückbleibenden Magnetismus dadurch beschleunigen, daß man den Magneten viele Stunden auf 90 bis 100 C° erhitzt. Man nennt diese Behandlung: künstliche Alterung. Durch Erschütterungen kann die künstliche Alterung unterstützt werden.

394. Nach Parshall (L_8 29) und Roget (L_8 30) wächst die Energievergeudung E des kohlenstoffarmen, magnetisch weichen Eisens mit der Zeit infolge von Erwärmung auf niedere Wärmegrade. Nach Erhitzen bis zu Wärmegraden von etwa 135 C° wächst der bei gewöhnlicher Temperatur gemessene Hysteresisverlust E anfangs rasch, später immer langsamer; bei Temperaturen bis 260 C° folgt dem anfänglichen Wachsen der Hysteresis wiederum ein Abfall. Roget fand z. B. bei einem Ring aus weichem Eisen, der auf 200 C° erhitzt wurde, bei $\mathfrak{B}_{max} = 4000$ CGS zu Beginn der Versuche $E = 830$, nach 19stündiger Erhitzung 1580 Erg und nach 5 Tagen 1420 Erg.

Gumlich (L_8 11) beobachtete in einem Falle Verschlechterung der magnetischen Eigenschaften eines geglühten Eisenringes bereits infolge Lagerung bei gewöhnlicher Temperatur, wie folgende Übersicht zeigt:

	μ_{max}	$\eta \cdot 10^4$	\mathfrak{B}_{max} für $\mathfrak{H}_{max} = 130$	\mathfrak{H}_c	\mathfrak{B}_r
1. Beobachtung. 2 Monate nach dem Glühen . . .	6700	13,5	17 810	0,82	13 680
2. Beobachtung. 8 Monate nach dem Glühen . . .	4450	13,9	17 710	0,88	10 280

D. Einfluß der Vorbehandlung des Materials auf die magnetischen Eigenschaften.

395. Kaltrecken (293) macht das Eisen magnetisch härter, d. h. vermehrt E , \mathfrak{H}_c , \mathfrak{B}_r und vermindert μ . Ewing fand folgende Zahlen bei einem Draht aus kohlenstoffarmem Eisen, der um 10% seiner Länge kaltgestreckt wurde:

	μ_{max} bei \mathfrak{H}	\mathfrak{H}_c
vor dem Kaltstrecken	3080	2,6
nach „ „	670	11,0
		4,5

Da beim Auf- und Zurollen von Blechtafeln, bei der Verladung und beim Transport durch unvorsichtige Verletzungen oder Drücke sehr leicht unbeabsichtigtes örtliches Kaltrecken eintreten kann, so muß man Dynamobleche vor solchen Einwirkungen sorgfältig schützen, wenn man die magnetischen Eigenschaften nicht verschlechtern will (L_8 11). Auch beim Herausschneiden von Probestreifen und -ringen aus den Blechtafeln zum Zweck der Probenahme für die magnetische Prüfung kann örtliches Kaltrecken mit seinen Folgeerscheinungen eintreten, und zwar je nach dem Grade der Vorsicht, mit der diese Arbeit ausgeführt wird, in stärkerem oder schwächerem Maße (Gumlich, L_8 11).

Inwieweit Reckspannungen (301 bis 307) die magnetischen Eigenschaften beeinflussen, ist noch nicht festgestellt.

Da, wie früher erwähnt (314), auch beim Warmrecken, je nach der Endtemperatur, bei der das Recken vor sich ging, ähnliche, wenn auch schwächere Wirkungen wie beim Kaltrecken im Material zurückbleiben und die magnetischen Eigenschaften verschlechtern können, so ist es erklärlich, daß Glühen in der Regel die magnetischen Eigenschaften gegenüber denen des warmgerekten (geschmie-

deten und gewalzten) Materials verbessert. Auch der Einfluß des Kaltreckens läßt sich durch das Glühen beseitigen.

So zeigte z. B. nach Benedicks (*L_s 31*) ein Flußeisen mit 0,08% Kohlenstoff nach dem Warmschmieden (das vermutlich bis zu verhältnismäßig niedrigen Temperaturen fortgesetzt wurde) und nach dem Glühen folgende Werte:

	$\eta \cdot 10^4$	ξ_c
nach dem Warmschmieden . . .	27	1,8
desgl. und nach dem Glühen . .	19	1,1

396. Das Glühen. Leider herrscht über die Art, wie das Glühen des magnetisch weichen Eisens durchzuführen ist, damit die besten magnetischen Eigenschaften erzielt werden, durchaus noch nicht die Klarheit, die angesichts der Wichtigkeit des Gegenstandes zu wünschen wäre. Man weiß, daß Glühen bei 800 C° oder darüber verbunden mit darauffolgender möglichst langsamer Abkühlung in der Regel die magnetischen Eigenschaften verbessert. Man weiß, daß wiederholtes Ausglühen unter Umständen zu einer weiteren Verbesserung, unter Umständen aber auch wieder zu einer Verschlechterung führt. Welche Glüh-temperatur, welche Glühdauer und welche Art der Abkühlung durch die verschiedenen Temperaturgebiete für die einzelnen Materialien die besten Ergebnisse liefert, ist nicht bekannt, wenn vielleicht auch einige Erzeuger magnetisch weicher Materialien hierüber besondere, aber geheim gehaltene Erfahrungen haben möggen.

Gumlich (*L_s 8*) neigt der Ansicht zu, daß die Wirkung des Glühens hauptsächlich auf der Verringerung des Gehaltes an Gasen und Kohlenstoff im Material beruht. In Abs. 363 hatten wir gesehen, daß Eisensorten auch nach weitgehender Verarbeitung durch Schmieden und Walzen noch verhältnismäßig große Mengen Gas, insbesondere Wasserstoff, eingeschlossen enthalten. Der Wasserstoff kann selbst in sehr geringen Mengen eine ähnliche Wirkung auf das Eisen ausüben wie größere Mengen Kohlenstoff (s. Wasserstoffkrankheit II B). Seine Rolle als magnetisch härtender Stoff würde deswegen vollständig in den Rahmen des Einflusses passen, den der Wasserstoff in metallurgischer Hinsicht auf das Eisen ausübt. Elektrolytisch niedergeschlagenes Eisen enthält je nach der Art der Herstellung unter Umständen ganz erhebliche Mengen Wasserstoff gelöst, die ihm eine große mineralogische Härte erteilen können. Dieser Wasserstoffgehalt drückt sich in den magnetischen Eigenschaften deutlich aus. Durch Glühen bei 800 C° in der Luftleere wird der Wasserstoff zu einem großen Teile ausgetrieben. Die magnetischen Eigenschaften werden infolgedessen wesentlich verbessert. Gumlich gibt die nachstehenden Zahlen an. Sie beziehen sich auf Elektrolyteisen, das nach Franz Fischers Verfahren hergestellt worden ist. Es enthielt 0,02% C, 0,004% Si, 0,008% Mn, 0,008% P und 0,001% S.

	B_r	ξ_c	μ_{max}	$\eta \cdot 10^4$	ξ_0
Elektrolyteisen, ungeglüht	11440	2,82	1850	30,8	1725
desgl. geblüht	10850	0,37 ₅	14600	7,8	1725

Die von Gumlich gefundene Verschlechterung der magnetischen Eigenschaften von Dynamoblechen nach Abbeizen mit Säure dürfte auch auf die Wirkung des Wasserstoffs zurückzuführen sein. Beim Beizvorgang wird Wasserstoff an der Oberfläche des Eisens aufgelöst, und als Folge davon tritt die sogenannte „Beizbrüchigkeit“ auf (II B). Gumlich fand bei einem Dynamoblech:

	B_r	ξ_c	μ_{max}	E
nicht geblüht	8800	2,39	1840	16200
einmal geblüht	12400	1,49	4320	10200
dreimal geblüht	12550	1,91	3290	14200
gebeizt und abgeschmirgelt . .	12360	2,34	2390	17900

Aus der Zusammenstellung geht die verschlechternde Wirkung des Beizens deutlich hervor. Auffällig ist jedoch, daß durch das einmalige Glühen die magnetischen Eigenschaften des Bleches verbessert, durch das dreimalige Glühen aber wieder verschlechtert worden sind. Diese Wirkung kann nicht auf die Austreibung des Wasserstoffs und Oxydation des Kohlenstoffs zurückgeführt werden, denn diese hätte ja weitere Verbesserung herbeiführen müssen. Zur Erklärung wird man doch wohl die physikalische Wirkung des Glühens und Abkühlens selbst und den dadurch bedingten Einfluß auf die Korngröße oder das innere Gleichgewicht des Ferrits heranziehen müssen. Die mancherlei Wirkungen, die die Art des Glühens und Abkühlens auf die mechanischen Eigenschaften des kohlenstoffarmen Eisens ausübt, werden sich wahrscheinlich auch in den magnetischen Eigenschaften widerspiegeln. Es würde eine verhältnismäßig leichte Aufgabe sein, hierüber Klarheit zu schaffen, wenn sich ein tüchtiger Fachmann auf dem Gebiet der magnetischen Prüfung mit einem Metallurgen zu gemeinschaftlicher Arbeit zusammenfände, der die mannigfachen Einflüsse des Glühens und Abkühlens auf kohlenstoffarmes Eisen aus eigener Erfahrung gründlich kennt.

Beim Gußeisen bringt Glühen in der Regel erhebliche Verbesserung der magnetischen Eigenschaften hervor. Dies ergibt sich deutlich aus den Abb. 473 bis 475. Die ungeglühten Eisenproben sind durch schwarz ausgefüllte Kreise, dieselben Proben nach dem Glühen durch schwarze Kreise mit einem Pfeil angedeutet. Nach dem Glühen ist die Energievergeudung durch Hysteresis, die magnetische Rückhaltskraft verringert, und die Durchlässigkeit gesteigert.

Durch das Glühen kann im Gußeisen der Anteil des graphitischen Kohlenstoffs erhöht und damit die Menge des nichtgraphitischen Kohlenstoffs vermindert werden. Es ist anzunehmen, daß von den beiden Sorten Kohlenstoff, dem graphitischen und nichtgraphitischen, der erstere nur insofern Einfluß ausüben wird, als er einen Teil des Volumens des magnetisch wirksamen Eisens durch einen nicht ferromagnetischen Stoff ersetzt. Der nichtgraphitische Kohlenstoff übt dagegen dieselbe Wirkung aus, wie sie in Abs. 389 für schmiedbares Eisen angegeben ist. Er steigert η und ξ_c und vermindert μ . In dem Maße, wie seine Menge durch Ausscheidung graphitischen Kohlenstoffs beim Glühen vermindert wird, nähern sich die magnetischen Eigenschaften des geglühten Gußeisens, abgesehen von der Wirkung der übrigen in ihm enthaltenen Fremdstoffe, mehr denjenigen kohlenstoffärmerer schmiedbarer Eisensorten.

39%. Abschrecken von Temperaturen oberhalb des magnetischen Umwandlungspunktes erhöht die magnetische Härte der Eisenlegierungen ganz wesentlich. Als Beispiel seien folgende Zahlen Gumlichs (L_8 , 8) angeführt, die sich auf einen Stahl von folgender Zusammensetzung beziehen: 0,99% C, 0,10 Si, 0,40 Mn, 0,04 P, 0,07 S.

	B_r	ξ_c	μ_{max}	$\eta \cdot 10^4$	\mathfrak{B} für $\xi = 100$	\mathfrak{J} für $\xi = 100^1$)	\mathfrak{J}_0
nicht abgeschreckt . .	13000	16,7	375	150	15800	1250	1577
abgeschreckt in Wasser bei heller Rotglut .	7460	52,4	110	337	9820	775	1420

Hiernach wird also die magnetische Durchlässigkeit ganz wesentlich vermindert, der Hysteresisverlust und die Rückhaltskraft gesteigert.

Ein Vergleich der Wirkung des Abschreckens auf die Stärke der Magnetisierung \mathfrak{J} (für $\xi = 206$ CGS) und auf die Rückhaltskraft ξ_c von Eisen-Kohlenstoff-Legierungen mit verschiedenen Kohlenstoffgehalten ergibt sich aus Abb. 479.

1) $\mathfrak{J} = \frac{\mathfrak{B} - \xi}{4\pi}$ nach Gl. 3.

Hierin entsprechen die mit *a* bezeichneten Linien den geglähten, die mit *c* bezeichneten den abgeschreckten Legierungen (Benedicks, *L*₈ 31).

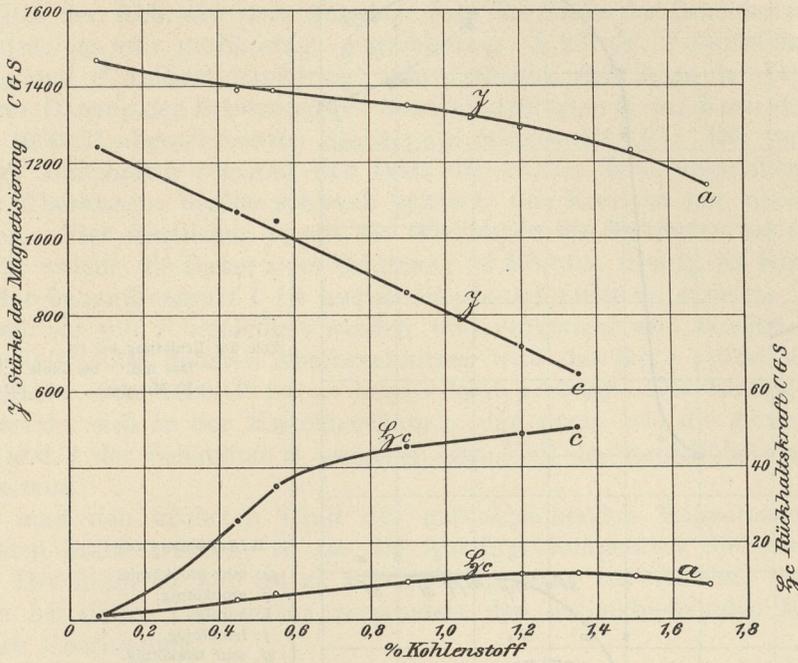
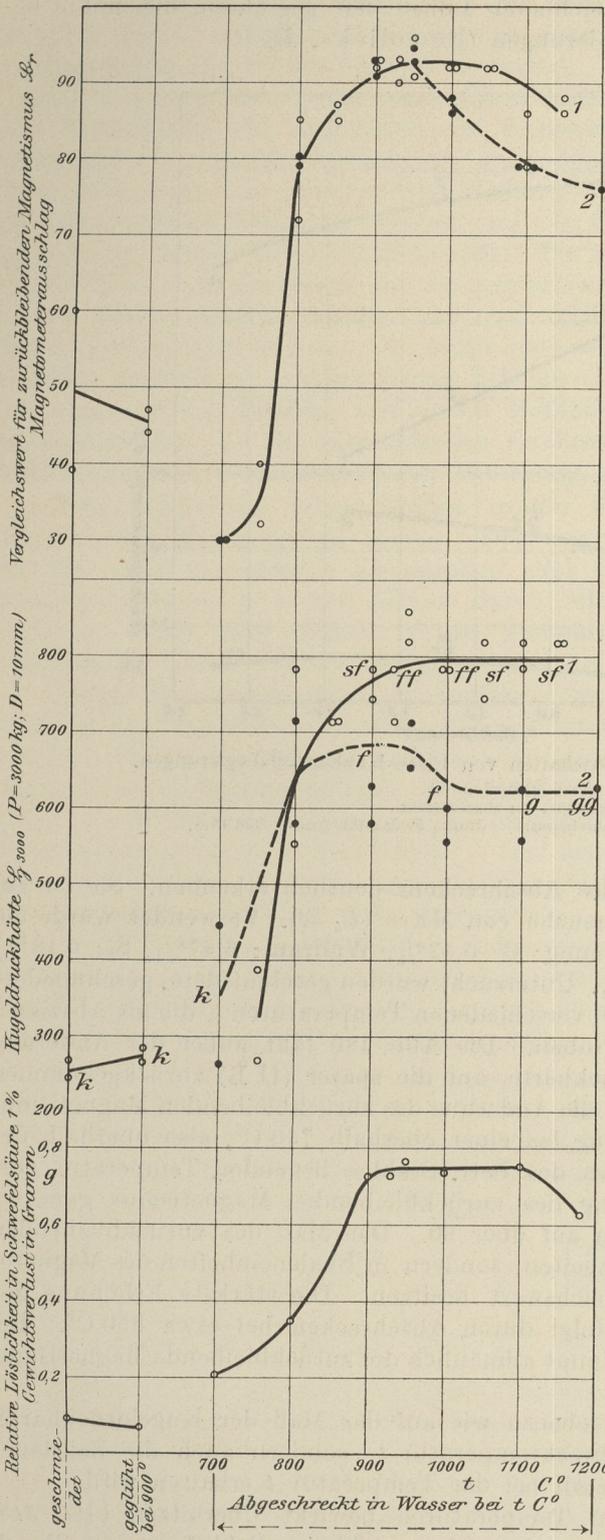


Abb. 479. Magnetische Eigenschaften von Eisen-Kohlenstoff-Legierungen.
(Nach Benedicks.)
a: gegläht; *c*: abgeschreckt.
Stäbe: 20 cm lang, 0,8 cm Durchmesser. Größte Feldstärke $\mathfrak{H}_{max} = 206$ CGS.

Abb. 480 läßt die Wirkung des Abschreckens deutlich erkennen. Sie ist zusammengestellt auf Grund der Versuche von Mars (*L*₈ 32). Verwendet wurde ein Stahl von folgender Zusammensetzung: C: 0,57%, Wolfram: 5,47%, Si: 0,18%, Mn: 0,26%, P: 0,018%, S: 0,016%. Untersucht wurden geschmiedete, geschmiedete und bei 900 C^o geglähte, ferner bei verschiedenen Temperaturen *t*, die als Abszissen gezeichnet sind, abgeschreckte Proben. Die Abb. 480 läßt außer der Änderung der Löslichkeit sowie der Kugeldruckhärte, auf die später (II B) zurückgekommen werden muß, in ihrem oberen Teil die Änderung des zurückbleibenden Magnetismus erkennen. Sobald die Abschreckung bei einer oberhalb 740 C^o, also oberhalb des magnetischen Umwandlungspunktes des betr. Stahles liegenden Temperatur vorgenommen wird, steigt der Betrag des zurückbleibenden Magnetismus ganz erheblich von 30 Vergleichseinheiten auf über 80. Das Maß des zurückbleibenden Magnetismus ist nicht in CGS-Einheiten, sondern in Skaleneinheiten des Magnetometers angegeben, die nur Vergleichswert besitzen. Die stärkste Erhöhung des zurückbleibenden Magnetismus erfolgt durch Abschrecken bei etwa 950 C^o. Bei weiter steigender Abschreckhitze nimmt allmählich der zurückbleibende Magnetismus wieder ab.

Auf die Größe des letzteren, ebenso wie auf das Maß der Kugeldruckhärte, ist nicht nur die Höhe der Abschrecktemperatur *t*, sondern auch die Zeitdauer von Einfluß, während der das Metall bei der Temperatur *t* erhalten wird.

Längeres Erhitzen bei hohen Temperaturen bewirkt Überhitzen (317, 318) unter Ausbildung größerer Körnung, die sich sowohl im Schliß wie im Bruch bemerkbar macht. Die Wirkung steigt mit der Höhe der Temperatur *t*, bei der die Glühung erfolgt, und mit der Zeitdauer *z* der Erhitzung. Die gröbere Körnung



Zeit der Erhitzung bei t° :
 fast null bei Linie 1;
 10 Minuten „ „ 2.

Bruchaussehen:
 gg: sehr grobkörnig.
 g: grobkörnig.
 k: körnig.
 f: feinkörnig.
 sf: sehr feinkörnig.
 ff: äußerst feinkörnig.

Temperatur t vor dem Abschrecken 5 Minuten lang erhalten.

Analyse des Stahls:
 C: 0,57 Proz., W: 5,47 Proz.,
 Si: 0,18 „ P: 0,018 „
 Mn: 0,26 „ S: 0,016 „

Haltepunkte:
 A_c : 740 $^{\circ}\text{C}$. A_r : 690 $^{\circ}\text{C}$.
 Spezifisches Gewicht:
 geschmiedet: 8,13; abgeschreckt: 8,03.

Festigkeitseigenschaften:

	σ_S at	σ_B at	δ_x Proz.	q Proz.
Geschmiedet	8900	11100	7,6	34
Geglüht bei 700°	6100	9000	9,3	46
Abgeschreckt in Öl bei 700°	7100	9500	11,5	15
Abgeschreckt in Wasser bei 930 $^{\circ}\text{C}$	—	13500	—	—

Abb. 480. Einfluß der Abschreckhitze auf den zurückbleibenden Magnetismus, die Kugeldruckhärte und die Säurelöslichkeit von Wolfram-Magnetstahl.

(Nach Mars.)

ist auch nach dem Abschrecken noch ausgeprägt, so daß die Körnung im Bruch der abgeschreckten Stahlproben um so gröber ausfällt, je stärker der vorausgegangene Grad der Überhitzung war. In der Schaulinie für Kugeldruckhärte in der Mitte der Abb. 480 sind Angaben über die Größe des Bruchkorns gemacht. Es bedeutet: *gg* sehr grobkörnig, *g* grobkörnig, *k* körnig, *f* feinkörnig, *sf* sehr feinkörnig und *ff* äußerst feinkörnig. Man erkennt, daß längs der Linie 1 (möglichst kurze Dauer *z* der Erhitzung bei den Temperaturen *t*) das Korn des zwischen 900 und 1000 C° abgeschreckten Stahles am feinsten ist (*ff*). Bei weiterer Steigerung der Temperatur *t* macht sich trotz der kurzen Erhitzungsdauer *z* die Wirkung des Überhitzens bereits schwach geltend; das Korn ist nur noch als *sf* zu bezeichnen. Viel deutlicher treten die Wirkungen des Erhitzens bei der Linie 2 zutage, für welche die Dauer *z* der Erhitzung 10 Minuten betrug. So feine Körnung wie bei der Behandlungsart 1 ist hierbei überhaupt nicht zu erzielen. Das feinste Korn kann nur mit *f* bezeichnet werden und entspricht der Abschreckhitze von 900 bis 950 C°. Bei höheren Abschreckhitzen wird das Korn gröber und bei der Abschreckhitze von 1200 C° ist es bereits sehr grob *gg*. Der Einfluß der Überhitzung macht sich in der Kugeldruckhärte und auch, wie die Abweichung der Linien 1 und 2 der Schaulinie \mathfrak{B} , zeigt, in dem Maß des zurückbleibenden Magnetismus geltend.

Will man den höchsten Grad des zurückbleibenden Magnetismus bei dem vorliegenden Stahl erzielen, so ist die Abschrecktemperatur 900 bis 950 C° zu wählen. Der Stahl ist nur bis zu dieser Temperatur zu erhitzen, jedes längere Verweilen bei dieser Temperatur vermindert den zurückbleibenden Magnetismus infolge der Überhitzung.

Die starke Steigerung des zurückbleibenden Magnetismus durch geeignete Abschreckung, wie sie sich in Abb. 480 kundgibt, ebenso die Steigerung der magnetischen Rückhaltskraft ist der Grund, warum man zur Herstellung von Dauermagneten ausschließlich abgeschreckte Stähle verwendet, und zwar entweder abgeschreckte Eisen-Kohlenstoff-Legierungen, oder zur weiteren Steigerung des zurückbleibenden Magnetismus Eisen-Kohlenstoff-Legierungen mit bestimmten Legierungszusätzen wie Wolfram, Chrom, Wolfram und Chrom gleichzeitig usw. (400).

Wesentlich ist bei der Herstellung der Dauermagnete nicht nur der Betrag des unmittelbar nach der Magnetisierung des Magneten feststellbaren zurückbleibenden Magnetismus, sondern vor allen Dingen der Betrag, der längere Zeit nach erfolgter Magnetisierung noch meßbar ist, und der Grad der Unveränderlichkeit dieses zurückbleibenden Magnetismus. Es treten Alterungserscheinungen unter Änderung dieser Größe ein. Derjenige Stahl ist der geeignetste für Dauermagnete, der bei größtem Betrag an zurückbleibendem Magnetismus diesen auch mit dem geringsten Verlust auf die Dauer festhält.

E. Einfluß der chemischen Zusammensetzung der Eisenlegierungen auf ihre magnetischen Eigenschaften.

a) Magnetisch weiche Materialien.

1. Schmiedbare Eisenlegierungen.

398. Der Einfluß des Kohlenstoffgehaltes ist bereits in Abs. 389 dargelegt worden. Im allgemeinen macht der Kohlenstoff (gleiche Vorbehandlung der Legierung vorausgesetzt) das Eisen magnetisch härter, indem er die Hysterisis und die magnetische Rückhaltskraft steigert und die magnetische Durchlässigkeit vermindert. Abb. 479, die auf Grund der Versuche von Benedicks (L_8 31) zusammengestellt ist, läßt den Einfluß des Kohlenstoffs auf \mathfrak{B}_r und die Stärke der