

für Dauermagnete, daß sie der Änderung der in ihnen einmal erzeugten magnetischen Induktion möglichst großen Widerstand entgegensetzen. Sie sollen nach Aufhören des sie in den magnetischen Zustand versetzenden Feldes möglichst viel Magnetismus zurückbehalten, also mit anderen Worten großen zurückbleibenden Magnetismus \mathfrak{B}_r haben, und vor allen Dingen der Veränderung dieses zurückbleibenden Magnetismus mit der Zeit (Altern) infolge der Einwirkung äußerer magnetischer Felder, z. B. des Erdfeldes, infolge von Erschütterungen und Temperatureinflüssen möglichst großen Widerstand entgegensetzen, was mit anderen Worten möglichst große Rückhaltskraft \mathfrak{H}_c voraussetzt. Diese Anforderungen bedingen eine große Fläche zwischen der Hysteresisschleife.

Je nachdem, ob die magnetischen Materialien den unter a) oder den unter b) genannten Bedingungen entsprechen, nennt man sie magnetisch weich (a) oder magnetisch hart (b).

389. Die Schaubilder 473 bis 475 geben eine Übersicht über die gegenseitigen Beziehungen der verschiedenen magnetischen Eigenschaften bei Eisen und Eisenlegierungen. Zur Aufzeichnung der Schaubilder wurden die zahlreichen von Gumlich und Schmidt veröffentlichten Ergebnisse magnetischer Untersuchungen verwendet (L_s 7 bis 12).

Die Ergebnisse sind in den Schaubildern nach der Größe der Steinmetzchen Zahl η , die als Abszisse verwendet wurde, geordnet. Mit wachsenden Abszissen wächst also die Energievergeudung E durch Hysterisis.

Aus Abb. 471 ist ohne weiteres erkennbar, daß die Rückhaltskraft $\mathfrak{H}_c = AD$ von wesentlichem Einfluß auf die Größe der von der Hysteresisschleife eingeschlossenen Fläche, also auf die Energievergeudung E durch Hysterisis sein muß. Dies findet sich durch Abb. 473 bestätigt, in der zu den Werten von η als Abszissen die Werte von \mathfrak{H}_c als Ordinaten eingetragen sind.

Mit steigenden Werten von \mathfrak{H}_c wächst die Energievergeudung durch Hysterisis und umgekehrt.

Die einzelnen in Abb. 473 eingetragenen Versuchswerte sind durch Kreise angedeutet, und zwar bedeuten nicht ausgefüllte Kreise schmiedbare Eisenlegierungen (gewalzte Eisensorten, Dynamobleche, Flußeisen- und Stahlformgüsse, auch kohlenstoffarme Eisenlegierungen¹⁾ mit Siliziumzusätzen bis zu 4 $\frac{0}{0}$), die

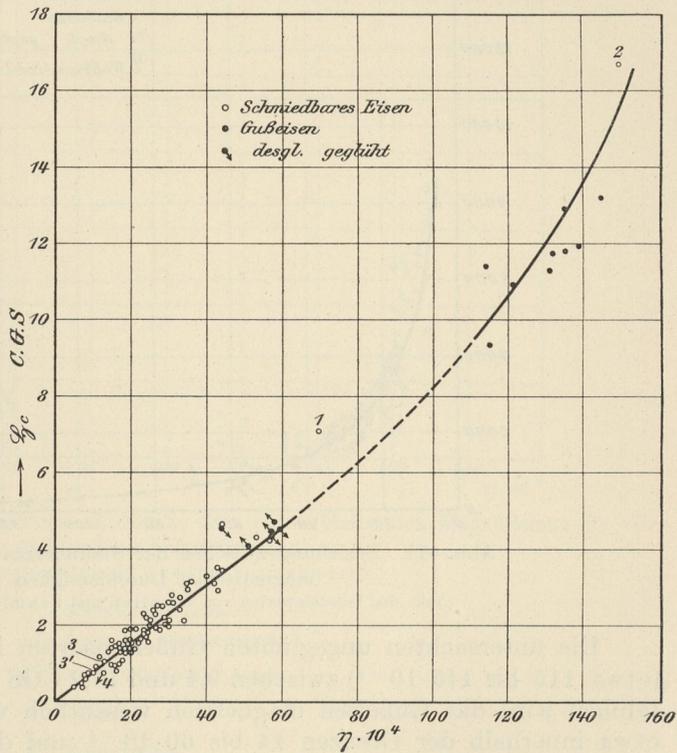


Abb. 473. Beziehung zwischen der Steinmetzzahl und der Rückhaltskraft.
(Nach den Versuchswerten von Gumlich und Schmidt zusammengestellt.)
 \mathfrak{H}_{max} etwa 150.

1) Nicht ausgefüllter Kreis mit Pfeil in Abb. 473 bis 475.

ausgefüllten Kreise bedeuten Gußeisen, die ausgefüllten und mit Pfeil versehenen Kreise geglühtes Gußeisen. Die Versuchswerte reihen sich sämtlich ziemlich gut längs der gezeichneten Ausgleichsline ein. Ein und dieselbe Ausgleichsline gilt für alle die soeben angeführten Eisensorten. Bis zu Werten von $\eta = 60 \cdot 10^{-4}$ und $\xi_c = 4,5$ ist die Ausgleichsline eine Gerade, von da ab wächst ξ_c schneller als dem geradlinigen Verlauf entspricht.

Die magnetisch weichsten Eisensorten mit ξ_c zwischen etwa 0,3 und 1,6 haben η unterhalb etwa $15 \cdot 10^{-4}$, was bei $\mathcal{B}_{max} = 18000$ CGS einem Hysterisverlust E kleiner als 10000 Erg/cm entspricht. An diese magnetisch weichsten Stoffe schließen sich die magnetisch weichen Stahlgußsorten an mit η bis zu etwa $25 \cdot 10^{-4}$, also E bis zu etwa 16000 Erg/cm, und mit zugehörigen Werten von ξ_c innerhalb der Grenzen von etwa 1,6 bis 2,3 CGS.

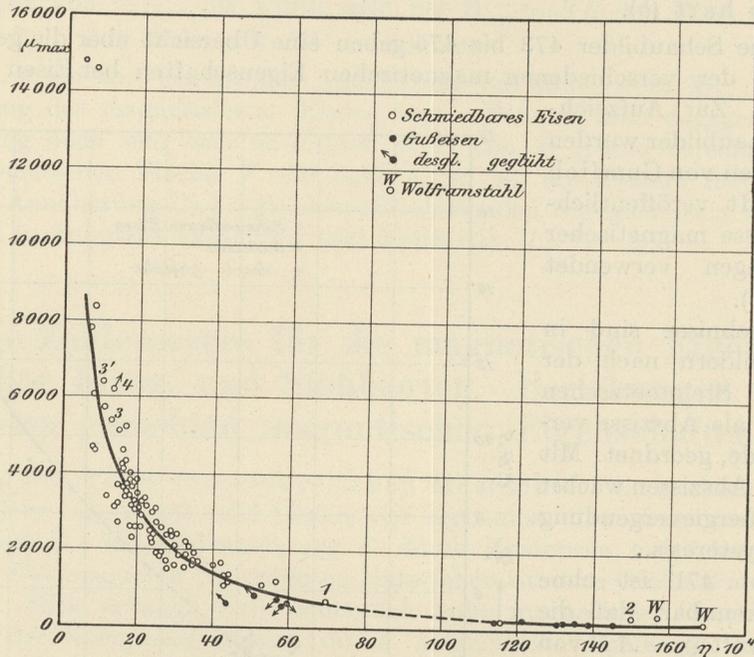


Abb. 474. Beziehung zwischen der Steinmetzzahl η und der größten magnetischen Durchlässigkeit μ_{max} .

(Nach den Versuchswerten von Gumlich und Schmidt zusammengestellt.)

Die untersuchten ungeglühten Gußeisensorten haben bei hohen Werten von η (etwa 115 bis $145 \cdot 10^{-4}$) zwischen 9,4 und 13,2 CGS liegende Werte von ξ_c . Durch Glühen wird das Gußeisen magnetisch wesentlich weicher. Die Zahl η liegt dann etwa innerhalb der Grenzen 44 bis $60 \cdot 10^{-4}$ und die Rückhaltskraft ξ_c sinkt auf 4 bis 4,7 CGS.

Der Kreis 2 mit der Abszisse $\eta = 150 \cdot 10^{-4}$ und der Ordinate 16,7 entspricht einem Stahl Nr. 2 mit etwa 1% Kohlenstoff (0,1% Si, 0,4% Mn, 0,04% P und 0,07% S). Der Kreis 1 mit der Abszisse $70 \cdot 10^{-4}$ und der Ordinate 7,1 gibt die Eigenschaften eines Stahles Nr. 1 mit 0,56% Kohlenstoff (bei 0,18% Si, 0,29% Mn, 0,076% P und 0,035% S) wieder. Die mit 3 und 3' bezeichneten Punkte der Abb. 473 entsprechen einem schwedischen Holzkohleneisenblech, und zwar 3 ungeglüht, 3' geglüht. Seine chemische Zusammensetzung ist: C: 0,03; Si: 0,006; Mn: 0,03; P: 0,099; S: 0,002%. Aus der Lage der Punkte 1, 2 und 3 in Abb. 473 folgt:

Durch den steigenden Kohlenstoffgehalt wird sowohl η als auch ξ_c gesteigert, das Material wird also magnetisch härter.

Abb. 474 erläutert die Beziehung zwischen der Steinmetzschen Zahl η und dem Höchstwert der magnetischen Durchlässigkeit μ_{max} (vgl. auch Abb. 472). Die Ausgleichsline hat hyperbelähnlichen Verlauf.

Mit zunehmendem η , also mit steigendem Energieverlust durch Hysterisis, nimmt μ_{max} im allgemeinen ab und nähert sich asymptotisch einem in der Nähe von 100 gelegenen Werte.

Der Ausgleichsline schmiegen sich mit genügender Genauigkeit außer den schmiedbaren Eisensorten auch die Gußeisensorten (geglüht und ungeglüht) an.

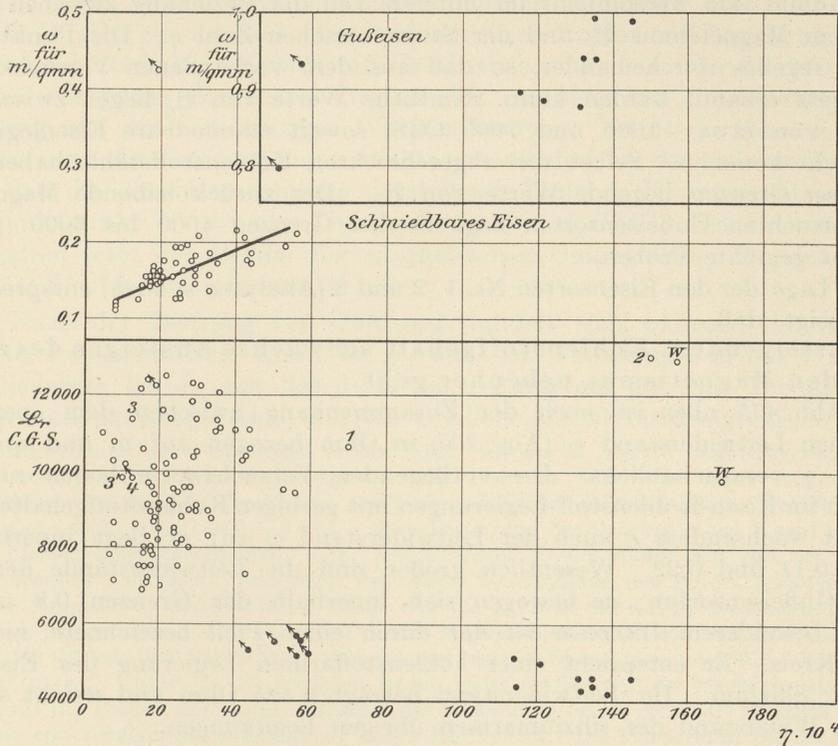


Abb. 475. Beziehung zwischen der Steinmetzzahl η , dem zurückbleibenden Magnetismus \mathfrak{B} , und dem elektrischen Leitwiderstand ω . (Nach den Versuchswerten von Gumlich und Schmidt.)

- Schmiedbares Eisen.
- ♂ Desgl. mit Silizium legiert.
- W Desgl. mit Wolfram legiert.
- Gußeisen.
- ♂ Desgl. gegläht.

Die den beiden hochgekohlten Stählen Nr. 1 und 2 entsprechenden Kreise liegen ebenfalls in genügender Nähe der Ausgleichsline. Nach dem Abschrecken wird der Hysterisisverlust solcher Stähle sehr groß. η wächst bei Stahl Nr. 1 auf $270 \cdot 10^{-4}$ und für Nr. 2 auf $337 \cdot 10^{-4}$. Die zugehörigen Werte von μ_{max} sind bzw. 170 und 110. Die entsprechenden Punkte würden sonach auf der Verlängerung der Schaulinie in Abb. 474 liegen.

Die Lage der Punkte 1, 2 und 3 zeigt dabei, daß mit steigendem Gehalt an Kohlenstoff die magnetische Durchlässigkeit der Eisen-Kohlenstoff-Legierungen abnimmt.

Die oben aufgestellte Beziehung, daß mit steigender Hysterisis μ_{max} abnimmt, ist nicht als strenges Gesetz aufzufassen. Die Abb. 474 läßt z. B. erkennen, daß

die Punkte sich z. T. ziemlich beträchtlich von der Ausgleichslinie entfernen, so daß es nicht schwer fällt, Materialien aus der Zusammenstellung herauszufinden, die im Gegensatz zu dieser Regel trotz hoher Zahl η größeres μ_{max} haben, als andere Stoffe mit geringerer Steinmetzscher Zahl η .

Daraus folgt, daß ein Material bezüglich seines magnetischen Verhaltens nicht etwa durch die Zahl η allein gekennzeichnet wird, sondern daß zu seiner genauen Kenntnis die ganze \mathfrak{H} , \mathfrak{B} -Linie erforderlich ist, aus der sich ja die Werte für η , \mathfrak{H}_c , \mathfrak{B}_r , μ_{max} ergeben.

Schaubild 475 versinnlicht im unteren Teil die Beziehung zwischen zurückbleibendem Magnetismus \mathfrak{B}_r und der Steinmetzschers Zahl η . Die Punkte liegen ziemlich regellos durcheinander, so daß aus dem vorhandenen Versuchsmaterial kein Gesetz erkannt werden kann. Sämtliche Werte von \mathfrak{B}_r liegen zwischen den Grenzen von etwa 13000 und 7000 CGS, soweit schmiedbare Eisenlegierungen in Betracht kommen. Selbst die abgeschreckten Kohlenstoffstähle haben innerhalb dieser Grenzen liegende Werte von \mathfrak{B}_r . Der zurückbleibende Magnetismus der untersuchten Gußeisensorten liegt in den Grenzen 4000 bis 6000 (geglühte und nicht geglühte Proben).

Die Lage der den Eisensorten Nr. 1, 2 und 3 (Analysen s. oben) entsprechenden Punkte zeigt, daß

mit steigendem Kohlenstoffgehalt schwaches Ansteigen des zurückbleibenden Magnetismus nebenher geht.

In Abb. 475 oben ist noch der Zusammenhang zwischen dem spezifischen elektrischen Leitwiderstand ω (Abs. 400) in Ohm bezogen auf m und qmm und der Zahl η veranschaulicht. Die vorliegenden Versuchswerte lassen nur einen Schluß zu für Eisen-Kohlenstoff-Legierungen mit geringen Kohlenstoffgehalten. Hier steigt mit wachsendem η auch der Leitwiderstand ω an; er liegt innerhalb der Grenzen 0,11 und 0,22. Wesentlich größer sind die Leitwiderstände der untersuchten Gußeisensorten; sie bewegen sich innerhalb der Grenzen 0,8 und 1,0.

Von besonderem Interesse ist der durch einen Pfeil bezeichnete, nicht ausgefüllte Kreis. Er entspricht einer kohlenstoffarmen Legierung des Eisens mit etwa 3% Silizium. Ihr Leitwiderstand beträgt 0,425 Ohm und weicht stark ab von dem Widerstand der siliziumarmen übrigen Legierungen.

Die Größen η , μ_{max} , \mathfrak{H}_c und \mathfrak{B}_r haben bei den siliziumreichen Legierungen nahezu dieselben Werte, wie die siliziumarmen mit ungefähr gleichem Kohlenstoffgehalt, wie die Lage der mit Kreis und Pfeil und der Zahl 4 bezeichneten Punkte in den Abb. 473 bis 475 dartun. Daraus folgt, daß

Siliziumzusatz bis 4% die magnetischen Eigenschaften der kohlenstoffarmen schmiedbaren Eisensorten nicht verschlechtert. Durch den Siliziumzusatz wird aber die elektrische Leitfähigkeit stark verringert, wodurch der Energieverlust durch Wirbelströme kräftig vermindert wird.

Bleche aus Siliziumlegierung, sogenannte legierte Bleche, bilden demnach ein wertvolles Baumaterial für Transformatorkerne und Dynamoanker.

C. Abhängigkeit der magnetischen Eigenschaften von der Temperatur.

390. Bei den ferromagnetischen Stoffen gibt es ein Temperaturgrenzgebiet, oberhalb dessen sie sehr kleine Werte der magnetischen Durchlässigkeit μ aufweisen und als paramagnetisch zu betrachten sind. Unterhalb dieses Grenzgebietes haben dagegen diese Stoffe hohe Werte von μ , also die Eigenschaften der ferromagnetischen Körper. Man nennt dieses Grenzgebiet der Temperatur, das meist