

DIN EN 60404-1



ICS 29.030

Ersatz für
DIN IEC 60404-1:2008-06
Siehe Anwendungsbeginn

**Magnetische Werkstoffe –
Teil 1: Einteilung
(IEC 60404-1:2016);
Deutsche Fassung EN 60404-1:2017**

Magnetic materials –
Part 1: Classification
(IEC 60404-1:2016);
German version EN 60404-1:2017

Matériaux magnétiques –
Partie 1: Classification
(IEC 60404-1:2016);
Version allemande EN 60404-1:2017

Gesamtumfang 50 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE
DIN-Normenausschuss Eisen und Stahl (FES)

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2016-11-28 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2017-08-01.

Für DIN IEC 60404-1:2008-06 besteht eine Übergangsfrist bis 2019-11-28.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 60404-1:2015-01.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 171 „Magnetische Legierungen und Stahl“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 68 „Magnetic alloys and steels“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu dieser Publikation angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden Deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Änderungen

Gegenüber DIN IEC 60404-1:2008-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Alle Tabellen und Werte, welche typische Eigenschaften des Werkstoffs beschreiben, wurden entfernt um dem Zweck des Dokuments, eine Einteilung und nicht eine Spezifikation zu sein, zu entsprechen.
- b) Der Nickelgehalt der Klassen E1 und E3 wurde erweitert.
- c) Der Cobaltgehalt der Klasse F3 wurde erweitert.
- d) Eine neue Klasse wurde hinzugefügt: U5 – Kunststoffgebundene Seltene-Erden-Stickstoff-Magnete.

Frühere Ausgaben

DIN IEC 60404-1: 2008-06

Magnetische Werkstoffe –
Teil 1: Einteilung
(IEC 60404-1:2016)

Magnetic materials –
Part 1: Classification
(IEC 60404-1:2016)

Matériaux magnétiques –
Partie 1: Classification
(IEC 60404-1:2016)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2016-11-28 angenommen. CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC Management Centre oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem CEN-CENELEC Management Centre mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2017 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 60404-1:2017 D

Europäisches Vorwort

Der Text des Dokuments 68/533/CDV, zukünftige 3. Ausgabe der IEC 60404-1, erarbeitet vom IEC/TC 68 „Magnetic alloys and steels“, wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN 60404-1:2017 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2017-08-28
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2019-11-28

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC [und/oder CEN] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60404-1:2016 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	2
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	7
4 Weichmagnetische Werkstoffe (Koerzitivfeldstärke ≤ 1 kA/m)	7
4.1 Klasse A – Eisen	7
4.1.1 Referenzdokumente	7
4.1.2 Chemische Zusammensetzung	8
4.1.3 Grundlage der Untereinteilung	8
4.1.4 Lieferformen	8
4.1.5 Physikalische Eigenschaften	8
4.1.6 Hauptanwendungsgebiete	8
4.2 Klasse B – Weicher kohlenstoffarmer Stahl	8
4.2.1 Klasse B1 – Massivwerkstoffe	8
4.2.2 Klasse B2 – Flacherzeugnisse	9
4.3 Klasse C – Siliziumstähle	10
4.3.1 Klasse C1 – Massivwerkstoffe	10
4.3.2 Klasse C2 – Flacherzeugnisse	11
4.4 Klasse D – Andere Stähle	16
4.4.1 Klasse D1 – Massivwerkstoffe	16
4.4.2 Klasse D2 – Flacherzeugnisse	18
4.4.3 Klasse D3 – Nichtrostende Stähle	19
4.5 Klasse E – Nickel-Eisen-Legierungen	20
4.5.1 Klasse E1 – Nickelgehalt 70 % bis 85 %	20
4.5.2 Klasse E2 – Nickelgehalt 54 % bis 68 %	21
4.5.3 Klasse E3 – Nickelgehalt 40 % bis 51 %	22
4.5.4 Klasse E4 – Nickelgehalt 35 % bis 40 %	23
4.5.5 Klasse E5 – Nickelgehalt 29 % bis 33 %	24
4.6 Klasse F – Eisen-Cobalt-Legierungen	24
4.6.1 Klasse F1 – Cobaltgehalt 47 % bis 50 %	24
4.6.2 Klasse F2 – Cobaltgehalt 35 %	25
4.6.3 Klasse F3 – Cobaltgehalt 23 % bis 30 %	26
4.7 Klasse G – Andere Legierungen	27
4.7.1 Klasse G1 – Aluminium-Eisen-Legierungen	27
4.7.2 Klasse G2 – Aluminium-Silizium-Eisen-Legierungen	28

	Seite
4.8 Klasse H – Weichmagnetische Werkstoffe, hergestellt mittels pulvermetallurgischer Verfahren	28
4.8.1 Klasse H1 – Weichferrite	28
4.8.2 Klasse H2 – Weichmagnetische Sinterwerkstoffe	30
4.8.3 Klasse H3 – Pulververbundwerkstoffe	30
4.9 Klasse I – Amorphe weichmagnetische Werkstoffe	31
4.9.1 Allgemeines	31
4.9.2 Klasse I1 – Amorphe Eisen-Basis-Legierungen	31
4.9.3 Klasse I2 – Amorphe Cobalt-Basis-Legierungen	32
4.9.4 Klasse I3 – Amorphe Nickel-Basis-Legierungen	33
4.10 Klasse J – Nanokristalline weichmagnetische Werkstoffe	34
4.10.1 Referenzdokument	34
4.10.2 Herstellungsverfahren	34
4.10.3 Chemische Zusammensetzung	34
4.10.4 Grundlage der Untereinteilung	34
4.10.5 Lieferformen	35
4.10.6 Physikalische Eigenschaften	35
4.10.7 Hauptanwendungsgebiete	35
5 Magnetisch harte Werkstoffe (Koerzitivfeldstärke > 1 kA/m)	35
5.1 Klasse Q – Magnetostruktionswerkstoffe – Seltene-Erden-Eisen-Legierungen (Klasse Q1)	35
5.1.1 Referenzdokument	35
5.1.2 Chemische Zusammensetzung	35
5.1.3 Grundlage der Untereinteilung	36
5.1.4 Lieferformen	36
5.1.5 Physikalische Eigenschaften	36
5.1.6 Hauptanwendungsgebiete	36
5.2 Klasse R – Hartmagnetische Legierungen	36
5.2.1 Klasse R1 – Aluminium-Nickel-Cobalt-Eisen-Titan (AlNiCo)-Legierungen	36
5.2.2 Klasse R3 – Eisen-Cobalt-Vanadium-Chrom (FeCoVCr)-Legierungen	37
5.2.3 Klasse R5 – Seltene-Erden-Cobalt (SE-Co)-Legierungen	38
5.2.4 Klasse R6 – Chrom-Eisen-Cobalt (CrFeCo)-Legierungen	39
5.2.5 Klasse R7 – Seltene-Erden-Eisen-Bor (SEFeB)-Legierungen	40
5.3 Klasse S – Hartmagnetische Keramik – Hartferrite (Klasse S1)	41
5.3.1 Referenzdokument	41
5.3.2 Chemische Zusammensetzung und Herstellungsverfahren	41
5.3.3 Grundlage der Untereinteilung	41
5.3.4 Lieferformen	41
5.3.5 Physikalische Eigenschaften	41
5.3.6 Hauptanwendungsgebiete	42

	Seite
5.4 Klasse T – Andere hartmagnetische Werkstoffe – Martensitische Stähle (Klasse T1)	42
5.4.1 Referenzdokument.....	42
5.4.2 Zusammensetzung.....	42
5.4.3 Grundlage der Untereinteilung.....	42
5.4.4 Lieferformen	42
5.4.5 Physikalische Eigenschaften	42
5.4.6 Hauptanwendungsgebiete	42
5.5 Klasse U – Kunststoffgebundene hartmagnetische Werkstoffe.....	43
5.5.1 Allgemeines.....	43
5.5.2 Klasse U1 – Kunststoffgebundene Aluminium-Nickel-Cobalt-Eisen-Titan (AlNiCo)- Magnete	43
5.5.3 Klasse U2 – Kunststoffgebundene Seltene-Erden-Cobalt (SECo)-Magnete.....	43
5.5.4 Klasse U3 – Kunststoffgebundene Neodym-Eisen-Bor (SEFeB)-Magnete.....	44
5.5.5 Klasse U4 – Kunststoffgebundene Hartferrite	45
5.5.6 Klasse U5 – Kunststoffgebundene Seltene-Erden-Stickstoff-Magnete	45
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	47

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 60404 wurde mit dem Ziel erarbeitet, kommerziell erhältliche magnetische Werkstoffe zu klassifizieren.

Der Begriff „Magnetische Werkstoffe“ bezeichnet Substanzen, deren Anwendung das Vorhandensein ferromagnetischer oder ferrimagnetischer Eigenschaften erfordert.

In diesem Dokument erfolgt die Einteilung der magnetischen Werkstoffe nach zwei Hauptproduktgruppen, deren Vorhandensein allgemein anerkannt ist:

- weichmagnetische Werkstoffe (Koerzitivfeldstärke $\leq 1\,000\text{ A/m}$);
- hartmagnetische Werkstoffe (Koerzitivfeldstärke $> 1\,000\text{ A/m}$).

Innerhalb dieser Hauptgruppen berücksichtigt die Einteilung gegebenenfalls noch folgende Merkmale:

- das hauptsächliche Legierungselement, den metallurgischen Zustand und die physikalischen Eigenschaften des Werkstoffs;
- wenn es möglich und zweckmäßig ist, die Beziehung zwischen diesen Eigenschaften.

Eine Einteilung nach den besonderen Anwendungsgebieten kann nicht für alle Werkstoffe angewendet werden, da sehr häufig, abhängig von den geforderten Merkmalen, unterschiedliche Werkstoffe für die gleiche Anwendung verwendet werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60050-121, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 121: Electromagnetism*

IEC 60050-151, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 151: Electrical and magnetic devices*

IEC 60050-221, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 221: Magnetic materials and components*

IEC 60401-3, *Terms and nomenclature for cores made of magnetically soft ferrites – Part 3: Guidelines on the format of data appearing in manufacturers catalogues of transformer and inductor cores*

IEC 60404-2, *Magnetic materials – Part 2: Methods of measurement of the magnetic properties of electrical steel sheet and strip by means of an Epstein frame*

IEC 60404-3, *Magnetic materials – Part 3: Methods of measurement of the magnetic properties of magnetic sheet and strip by means of a single sheet tester*

IEC 60404-4, *Magnetic materials – Part 4: Methods of measurement of d.c. magnetic properties of iron and steel*

IEC 60404-6, *Magnetic materials – Part 6: Methods of measurement of the magnetic properties of magnetically soft metallic and powder materials at frequencies in the range 20 Hz to 200 kHz by the use of ring specimens*

IEC 60404-7, *Magnetic materials – Part 7: Method of measurement of the coercivity of magnetic materials in an open magnetic circuit*

IEC 60404-8-1, *Magnetic materials – Part 8-1: Specifications for individual materials – Magnetically hard materials*

IEC 60404-8-3, *Magnetic materials – Part 8-3: Specifications for individual materials – Coldrolled electrical non-alloyed and alloyed steel sheet and strip delivered in the semi-processed state*

IEC 60404-8-4, *Magnetic materials – Part 8-4: Specifications for individual materials – Coldrolled non-riented electrical steel strip and sheet delivered in the fully-processed state*

IEC 60404-8-5, *Magnetic materials – Part 8: Specifications for individual materials – Section Five: Specification for steel sheet and strip with specified mechanical properties and magnetic permeability*

IEC 60404-8-6, *Magnetic materials – Part 8-6: Specifications for individual materials – Soft magnetic metallic materials*

IEC 60404-8-7, *Magnetic materials – Part 8-7: Specifications for individual materials – Coldrolled grain-oriented electrical steel strip and sheet delivered in the fully processed state*

IEC 60404-8-8, *Magnetic materials – Part 8: Specifications for individual materials – Section 8: Specification for thin magnetic steel strip for use at medium frequencies*

IEC 60404-8-9, *Magnetic materials – Part 8: Specifications for individual materials – Section 9: Standard specification for sintered soft magnetic materials*

IEC 60404-8-10, *Magnetic materials – Part 8-10: Specifications for individual materials – Magnetic materials (iron and steel) for use in relays*

IEC 60404-10, *Magnetic materials – Part 10: Methods of measurement of magnetic properties of magnetic sheet and strip at medium frequencies*

ISO 4948-1, *Steels – Classification – Part 1: Classification of steels into unalloyed and alloy steels based on chemical composition*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050-121, IEC 60050-151, IEC 60050-221 und die in den Werkstoffnormen der Normenreihe IEC 60404-8 festgelegten Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: unter <http://www.iso.org/obp>

4 Weichmagnetische Werkstoffe (Koerzitivfeldstärke ≤ 1 kA/m)

4.1 Klasse A – Eisen

4.1.1 Referenzdokumente

Diese Werkstoffe werden durch IEC 60404-8-6 und IEC 60404-8-10 abgedeckt.

4.1.2 Chemische Zusammensetzung

Grundbestandteil dieser Werkstoffe ist Reineisen, und sie werden oft als „handelsüblich reine“ oder „weichmagnetische“ Eisen bezeichnet. Der Werkstoff enthält außerdem unvermeidbare Verunreinigungen, die die magnetischen Eigenschaften beeinflussen können. Die Verunreinigungen, welche die remanente magnetische Polarisation, die Koerzitivfeldstärke, die magnetische Sättigungspolarisation und die Stabilität der magnetischen Eigenschaften negativ beeinflussen, sind zur Erreichung der für die vorgesehene Anwendung geforderten magnetischen Eigenschaften eingeschränkt. Die stärksten Verunreinigungen, falls in diesen Werkstoffen vorhanden, sind Kohlenstoff (bis zu 0,03 %), Silizium (bis zu 0,1 %), Mangan (bis zu 0,2 %), Phosphor (bis zu 0,015 %), Schwefel (bis zu 0,03 %), Aluminium (bis zu 0,08 %), Titan (bis zu 0,1 %) und Vanadium (bis zu 0,1 %).

ANMERKUNG Zur Verbesserung der Zerspanbarkeit kann die Menge an Phosphor und Schwefel höher als oben angegeben sein.

4.1.3 Grundlage der Untereinteilung

Die empfohlene Untereinteilung richtet sich nach den Werten der Koerzitivfeldstärke.

4.1.4 Lieferformen

Diese Werkstoffe sind in vielen Formen erhältlich. Sie können als Brammen, Knüppel, Blöcke oder Schmiedeteile geliefert werden; als warmgewalzte Vorbramme mit rechteckigen oder quadratischen Querschnitten; als warmgewalzter Draht mit rundem, sechs- oder achteckigem Querschnitt; in kaltgewalzter oder gezogener Form als Stab oder Draht; als warm- oder kaltgewalztes Blech oder Band.

4.1.5 Physikalische Eigenschaften

Zusätzlich zu den Werten für die Koerzitivfeldstärke kann eine vollständigere Beschreibung dieser Werkstoffe durch die folgenden Eigenschaften erfolgen:

- magnetisch: magnetische Sättigungspolarisation, magnetische Polarisation bei verschiedenen magnetischen Feldstärken (hieraus kann die Permeabilität abgeleitet werden), Stabilität der Eigenschaften mit der Zeit;
- mechanisch: Härte, Stanzbarkeit, Zerspanbarkeit, Tiefzieheigenschaften, Zugfestigkeit;
- metallurgischer Zustand: warm oder kaltumgeformt, geschmiedet, tiefgezogen, schlussgeglüht.

ANMERKUNG Für einen Werkstoff, welcher nicht im schlussgeglühten Zustand geliefert wird, erfolgt die Untereinteilung aufgrund der Koerzitivfeldstärke, gemessen nach einer Wärmebehandlung nach den Anforderungen der Werkstoffnorm oder nach den Empfehlungen des Herstellers.

Bereiche festgelegter Werte für die oben angeführten magnetischen Eigenschaften im schlussgeglühten Zustand sind in den entsprechenden Produktspezifikationen dargestellt.

4.1.6 Hauptanwendungsgebiete

Hauptanwendungsgebiete sind Gleichstromrelais, Lautsprecher, Elektromagnete, magnetische Kupplungen, Bremsen, Teile magnetischer Kreise von Mess- und Regelgeräten sowie Polschuhe und andere gleichstrom-erregte Teile für Generatoren und Motoren.

4.2 Klasse B – Weicher kohlenstoffarmer Stahl

4.2.1 Klasse B1 – Massivwerkstoffe

4.2.1.1 Referenzdokument

Einige dieser Werkstoffe werden durch IEC 60404-8-10 abgedeckt.

4.2.1.2 Chemische Zusammensetzung

Grundbestandteil dieser Werkstoffe ist Eisen mit unvermeidbaren Verunreinigungen zusammen mit einem niedrigen Gehalt anderer Elemente, welche von Beimengungen herrühren können, die während des Herstellungsverfahrens erforderlich sind. Der Gehalt an Legierungselementen ist auf denjenigen von unlegierten Stählen nach ISO 4948-1 begrenzt, insbesondere beträgt der Siliziumgehalt weniger als 0,5 %.

4.2.1.3 Grundlage der Untereinteilung

Die empfohlene Untereinteilung richtet sich nach der Koerzitivfeldstärke.

4.2.1.4 Lieferformen

Die Werkstoffe werden üblicherweise in Form von Guss- oder Schmiedestücken im schlussgeglühten Zustand oder nach kundenseitig zur Verfügung gestellten Zeichnungen teilweise bearbeitet geliefert oder als Vorbramme oder Draht im warm- oder kaltgewalzten oder kaltgezogenen Zustand.

4.2.1.5 Physikalische Eigenschaften

Zusätzlich zu der Koerzitivfeldstärke kann eine vollständigere Beschreibung dieser Werkstoffe durch die folgenden Eigenschaften erfolgen:

- magnetisch: magnetische Polarisierung für verschiedene Werte der magnetischen Feldstärke;
- mechanisch: Streckgrenze (oder 0,2%-Dehngrenze), Dehnung ($L_0 = 5 d_0$), Fehlerfreiheit;
- metallurgischer Zustand: warm oder kaltumgeformt, geblüht zur Erzielung der geforderten magnetischen Eigenschaften.

Mechanische und zerstörungsfreie Prüfungen werden nach den zugehörigen ISO-Normen durchgeführt. Die Koerzitivfeldstärke muss nach IEC 60404-7 und andere magnetische Eigenschaften müssen nach IEC 60404-4 gemessen werden.

Bereiche typischer Werte für magnetische und mechanische Eigenschaften sind in der entsprechenden Produktspezifikation angegeben.

4.2.1.6 Hauptanwendungsgebiete

Die Werkstoffe werden für große Gleichstrommagnete benutzt, wo keine mechanische Festigkeit benötigt wird, z. B. Ablenkmagnete in der Elementarteilchenphysik, und für Relaisanwendungen.

4.2.2 Klasse B2 – Flacherzeugnisse

4.2.2.1 Referenzdokumente

Diese Werkstoffe werden durch IEC 60404-8-3, IEC 60404-8-4 und IEC 60404-8-10 abgedeckt.

4.2.2.2 Chemische Zusammensetzung

Grundbestandteil dieser Werkstoffe ist Eisen mit unvermeidbaren Verunreinigungen zusammen mit einem niedrigen Gehalt anderer Elemente, welche von Beimengungen herrühren können, die während des Herstellungsverfahrens erforderlich sind. Der Gehalt an Legierungselementen ist auf denjenigen von unlegierten Stählen nach ISO 4948-1 begrenzt, insbesondere beträgt der Siliziumgehalt weniger als 0,5 %. Diese Werkstoffe können nach dem Stanzen einer Glühbehandlung zur Verbesserung ihrer magnetischen Eigenschaften unterzogen werden.

4.2.2.3 Grundlage der Untereinteilung

Die empfohlene Untereinteilung richtet sich entweder nach dem spezifischen Ummagnetisierungsverlust, der von der Blechdicke abhängt und üblicherweise bei Polarisationswerten von 1,5 T und bei den üblichen Netzfrequenzen oder (für Relaisanwendungen) nach der Koerzitivfeldstärke gemessen wird.

4.2.2.4 Lieferformen

Diese Werkstoffe werden in Form kaltgewalzter Bänder oder Bleche oder (für Relaisanwendungen) in Form warmgewalzter Bänder, Bleche oder Tafeln geliefert.

4.2.2.5 Physikalische Eigenschaften

Zusätzlich zu dem spezifischen Ummagnetisierungsverlust kann eine vollständigere Beschreibung dieser Werkstoffe durch die folgenden Eigenschaften erfolgen:

- magnetisch: magnetische Polarisation für verschiedene Werte der magnetischen Feldstärke;
- mechanisch: Stanzbarkeit, Oberflächenbeschaffenheit, Stapelfaktor;
- metallurgischer Zustand: warmgewalzt; walzhart – d. h. kaltgewalzt; nicht schlussgeglüht – d. h. ge-
glüht und fertig kaltgewalzt;
schlussgeglühter Zustand.

ANMERKUNG Für Werkstoffe, die walzhart und nicht schlussgeglüht geliefert werden, richtet sich die Untereinteilung nach dem spezifischen Ummagnetisierungsverlust oder der Koerzitivfeldstärke, gemessen nach einer Wärmebehandlung entsprechend den Anforderungen der Werkstoffnorm oder den Empfehlungen des Herstellers.

- Maße: Dicke, Breite und (falls erforderlich) Länge.

Die empfohlenen Nenndicken für kaltgewalzte Werkstoffe sind in den entsprechenden Produktspezifikationen angegeben.

Die magnetischen Messungen werden nach IEC 60404-2, IEC 60404-3 oder IEC 60404-7 durchgeführt.

Bereiche festgelegter Höchstwerte des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes nach der Glühbehandlung sind ebenfalls in den entsprechenden Produktspezifikationen für die gebräuchlichen Blechdicken angegeben.

Die festgelegten Höchstwerte der Koerzitivfeldstärke von Relaiswerkstoffen reichen von 40 A/m bis 240 A/m.

4.2.2.6 Hauptanwendungsgebiete

Die Werkstoffe werden zur Herstellung von lamellierten Kernen elektrischer Geräte und insbesondere kleiner Maschinen und für Relaisanwendungen verwendet.

4.3 Klasse C – Siliziumstähle

4.3.1 Klasse C1 – Massivwerkstoffe

4.3.1.1 Referenzdokumente

Einige dieser Werkstoffe werden durch IEC 60404-8-6 und IEC 60404-8-10 abgedeckt.

4.3.1.2 Chemische Zusammensetzung

Grundbestandteil dieser Werkstoffe ist Eisen mit dem Hauptlegierungselement Silizium mit einem Gehalt von bis zu ungefähr 5 %.

4.3.1.3 Grundlage der Untereinteilung

Die empfohlene Untereinteilung richtet sich nach den Werten der Koerzitivfeldstärke oder nach dem spezifischen elektrischen Widerstand, welcher vom Siliziumgehalt abhängig ist.

4.3.1.4 Lieferformen

Diese Werkstoffe sind als warmgewalzte und kaltgezogene Stäbe, Draht, geschliffene Stäbe und geschmiedete Knüppel erhältlich und erfordern nach mechanischer Bearbeitung zur Erzielung der erforderlichen magnetischen Eigenschaften eine Wärmebehandlung.

4.3.1.5 Physikalische Eigenschaften

Zusätzlich zur Koerzitivfeldstärke und dem spezifischen elektrischen Widerstand kann eine vollständigere Beschreibung dieser Werkstoffe durch die folgenden Eigenschaften erfolgen:

- magnetisch: magnetische Sättigungspolarisation, magnetische Polarisation für verschiedene Werte der magnetischen Feldstärke, remanente magnetische Polarisation;
- mechanisch: Zerspanbarkeit, Zähigkeit, Härte;
- metallurgischer Zustand: warm oder kaltumgeformt, gegläht zur Erzielung der geforderten magnetischen Eigenschaften.

4.3.1.6 Hauptanwendungsgebiete

Hauptanwendungsgebiete sind magnetische Kreise von Relais, magnetische Kupplungen, magnetische Polschuhe, Schrittmotoren und Kreiselgehäuse.

4.3.2 Klasse C2 – Flacherzeugnisse

4.3.2.1 Klasse C21 – Isotrope¹⁾ (nicht kornorientierte) Stähle zur Verwendung bei Netzfrequenzen

4.3.2.1.1 Referenzdokumente

Diese Werkstoffe werden durch IEC 60404-8-3, IEC 60404-8-4, IEC 60404-8-6 und IEC 60404-8-10 abgedeckt.

4.3.2.1.2 Chemische Zusammensetzung

Grundbestandteil dieser Werkstoffe ist Eisen. Hauptlegierungselement ist Silicium, dessen Gehalt bis zu ungefähr 5 % betragen kann. Andere Legierungselemente, z. B. Aluminium, können ebenfalls vorhanden sein. Der Werkstoff enthält außerdem unvermeidbare Verunreinigungen zusammen mit einem niedrigen Gehalt anderer Elemente, welche von Beimengungen herrühren können, die während des Herstellungsverfahrens erforderlich sind.

4.3.2.1.3 Grundlage der Untereinteilung

Die empfohlene Untereinteilung richtet sich nach dem spezifischen Ummagnetisierungsverlust, welcher von der Blechdicke abhängt und üblicherweise bei einer Polarisation von 1,5 T und bei Netzfrequenz gemessen wird.

Wenn die Anwendung (z. B. Relais) es erfordert, kann es geeigneter sein, dass sich die Untereinteilung nach der Koerzitivfeldstärke oder Permeabilität richtet.

¹⁾ Beschreibt einen Werkstoff, der im Wesentlichen isotrop ist und extra dafür behandelt wurde.

4.3.2.1.4 Lieferformen

Diese Werkstoffe werden üblicherweise in Form von kaltgewalzten Bändern oder Blechen geliefert.

4.3.2.1.5 Physikalische Eigenschaften

Zusätzlich zu den Werten des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes kann eine vollständigere Beschreibung dieser Werkstoffe durch die folgenden Eigenschaften erfolgen:

- magnetisch: magnetische Polarisierung für verschiedene Werte der magnetischen Feldstärke, spezifische Scheinleistung für verschiedene Werte der magnetischen Polarisierung, Anisotropie des Ummagnetisierungsverlustes;
- elektrisch: Art der Oberflächenisolation und deren Widerstand, spezifischer elektrischer Widerstand;
- mechanisch: Stanzbarkeit, Zähigkeit, Zugfestigkeit, Härte, Oberflächenzustand und -beschaffenheit, Stapelfaktor, Ebenheit, Kantenkrümmung;
- metallurgischer Zustand: walzharter Zustand, d. h. kaltgewalzter nicht schlussgeglühter Zustand, d. h. geglüht oder geglüht und nachgewalzt; schlussgeglühter Zustand;

ANMERKUNG Für Werkstoffe, die walzhart oder nicht schlussgeglüht geliefert werden, richtet sich die Untereinteilung nach dem spezifischen Ummagnetisierungsverlust, gemessen nach einer Wärmebehandlung entsprechend den Anforderungen der Werkstoffnorm oder entsprechend den Empfehlungen des Herstellers.

- Maße: Dicke, Breite und (falls erforderlich) Länge.

Die empfohlenen Nenndicken sind in den entsprechenden Produktspezifikationen angegeben.

Die magnetischen Messungen werden nach IEC 60404-2 oder IEC 60404-3 durchgeführt. Die für die magnetischen Messungen benötigten Dichtewerte sollten den in den maßgeblichen Werkstoffnormen festgelegten Werte entsprechen. In anderen Fällen sollten die Dichtewerte vereinbart werden.

Bereiche festgelegter Höchstwerte des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes nach der Schlussglühung sind in den entsprechenden Produktspezifikationen für vier gebräuchliche Blechdicken dargestellt.

4.3.2.1.6 Hauptanwendungsgebiet

Diese Werkstoffe werden hauptsächlich in magnetischen Kreisen von elektrischen Geräten verwendet, insbesondere in den Teilen von rotierenden Maschinen, in welchen der magnetische Fluss nicht gerichtet ist. Die Werkstoffe können außerdem in elektromagnetischen Relais, Kleintransformatoren, Vorschaltgeräten für Leuchtstoffröhren, elektrischen Messinstrumenten, Abschirmungen und magnetischen Polen von Elektronen- und Protonensynchrotronen verwendet werden.

4.3.2.2 Klasse C22 – Anisotrope²⁾ (kornorientierte) Stähle zur Verwendung bei Netzfrequenzen

4.3.2.2.1 Referenzdokumente

Diese Werkstoffe werden durch IEC 60404-8-6, IEC 60404-8-7 und IEC 60404-8-8 abgedeckt.

²⁾ Beschreibt einen Werkstoff, der im Wesentlichen anisotrop ist und extra dafür behandelt wurde.

4.3.2.2.2 Chemische Zusammensetzung

Grundbestandteil dieser Werkstoffe ist Eisen und Hauptlegierungselement Silicium (ungefähr 3 %) zusammen mit unvermeidbaren Verunreinigungen und einem niedrigen Gehalt anderer Elemente, welche von Beimengungen herrühren können, die während des Herstellungsverfahrens erforderlich sind. Diese Art von Magnetwerkstoff besitzt anisotrope Eigenschaften (Orientierung), so dass die Richtung parallel zur Walzrichtung die niedrigsten Werte des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes und die höchste Permeabilität aufweist. Diese Eigenschaften sind gegenüber mechanischer Bearbeitung empfindlich, und Spannungsfreiglühen kann verwendet werden, damit die innewohnenden Eigenschaften optimiert werden.

4.3.2.2.3 Grundlage der Untereinteilung

Die empfohlene Untereinteilung richtet sich nach der Vollständigkeit der Kristallorientierung, ausgedrückt durch den Polarisationswert bei einer magnetischen Feldstärke von 800 A/m, und nach dem spezifischen Ummagnetisierungsverlust, der von der Blechdicke und der Orientierung abhängt und üblicherweise bei Polarisationswerten von 1,5 T oder 1,7 T und bei Netzfrequenzen gemessen wird.

4.3.2.2.4 Lieferformen

Die Werkstoffe werden üblicherweise als kaltgewalzte Bänder oder Bleche mit einer anorganischen Isolationsbeschichtung geliefert.

4.3.2.2.5 Physikalische Eigenschaften

Zusätzlich zu der Vollständigkeit der Kristallorientierung und den Werten des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes kann eine vollständigere Beschreibung dieser Werkstoffe durch die folgenden Eigenschaften erfolgen:

- magnetisch: magnetische Polarisation für verschiedene Werte der magnetischen Feldstärke;
- elektrisch: Art der Oberflächenisolation und deren Widerstand, spezifischer elektrischer Widerstand;
- mechanisch: Zähigkeit, Oberflächenbeschaffenheit und -güte, Stapelfaktor, Ebenheit, Kantenkrümmung;
- metallurgischer Zustand: gegläht und vollständig rekristallisiert;
- Maße: Dicke, Breite und (falls erforderlich) Länge.

Die empfohlenen Nenndicken sind in den entsprechenden Produktspezifikationen angegeben.

Die magnetischen Messungen werden nach IEC 60404-2 oder IEC 60404-3 durchgeführt. Die für die Berechnungen verwendete Dichte beträgt üblicherweise $7,65 \text{ kg/dm}^3$. Die Prüfstreifen werden parallel zur Walzrichtung entnommen und vor der Messung einer Spannungsfreiglühung entsprechend den Empfehlungen des Herstellers unterzogen.

Bereiche festgelegter Höchstwerte des spezifischen Ummagnetisierungsverlustes nach der Spannungsfreiglühung sind ebenfalls in den entsprechenden Produktspezifikationen für die gebräuchlichen Blechdicken angegeben.

Zusätzlich sind Werkstoffe verfügbar, die noch nicht in IEC 60404-8-7 festgelegt sind.

4.3.2.2.6 Hauptanwendungsgebiete

Diese Werkstoffe werden hauptsächlich für die Herstellung magnetischer Kerne verwendet, in welchen die magnetischen Flusslinien im Wesentlichen parallel zur Kaltwalzrichtung verlaufen, wie zum Beispiel in Transformatorkernen.