Werkstoffkunde (Titel)

Skript Bundesfachschule (Untertitel)

Werkstoffdefinition – Materialübersicht (Ü1)

Definition des Wortes “Werkstoff”(Ü2)

Werkstoffe sind Materialien, die in Produktionsprozessen verarbeitet werden und in die Endprodukte eingehen.

Merke (Hervorhebung): In Sinne der Werkstoffkunde werden nur die Stoffe als Werkstoffe bezeichnet, die man für die Herstellung von Maschinen und technischen Gerätschaften benötigt!

Aus der Gruppe der Werkstoffe sind also die Baumaterialien (Baustoffe) und die sog. Hilfs­stoffe (z. B Kältemittel, Schmierstoffe etc.) ausgenommen.

Da die Hilfsstoffe in der Maschinen- und Kältetechnik eine erhebliche Rolle spielen, werden sie in einem eigenen Fach besonders behandelt.

Materialübersicht(Ü2)

In der heutigen Werkstoffkunde unterscheidet man im Allgemeinen fünf Werkstoffgruppen:

Metalle (zum Beispiel Eisen, Aluminium)

Nichtmetalle (zum Beispiel Graphit)

organische Werkstoffe (zum Beispiel Holz, Kunststoff)

anorganische nichtmetallische Werkstoffe (zum Beispiel Keramik, Glas)

Halbleiter (zum Beispiel Silicium)

Verbundwerkstoffe als Kombination aus mehreren Werkstoffgruppen

Merke(Hervorhebung): Eine scharfe Abgrenzung zwischen Werkstoff, Baustoff und Hilfsstoff ist nicht möglich!

Eigenschaften der Werkstoffe(Ü2)

Die Werkstoffeigenschaften sind entscheidend für deren Einsatz und Verwendungsmöglich­keiten.

Wichtige Werkstoffeigenschaften

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| physikalisch | mechanisch | chemisch | technologisch | umweltrelevant |
| Dichte  Wärmedehnung  Wärmeleitfähigkeit  elektr. Leitfähigkeit  Dielektrizität  opt. Eigenschaften | statische Festigkeit  Warmfestigkeit  Schwingfestigkeit  plastische und elastische Ver­formbarkeit  Härte  Zähigkeit | Korrosionsbeständigkeit  Hitzebeständigkeit  Reaktionsfähigkeit  Entflammbarkeit | Gießbarkeit  Umformbarkeit  Schweißbarkeit  Härtbarkeit  Zerspanbarkeit | Wiederverwertbarkeit  Toxizität |

Tabelle 1

Werkstoffauswahl(Ü2)

Bei der Werkstoffauswahl müssen häufig Kompromisse eingegangen werden.

Nicht nur die guten mechanischen Eigenschaften und die Lebensdauer müssen berücksich­tigt werden. Auch die Verarbeitbarkeit und der Preis spielen eine große Rolle.

Hinsichtlich des Umweltschutzes ist die Wiederverwertbarkeit der Werkstoffe zu beachten. In diesem Punkt sind beispielsweise Metalle den Kunststoffen gegenüber im Vorteil.

Anforderungen an Werkstoffe:(AM)

Die besonderen Anforderungen an Werkstoffe müssen eingehalten werden

Werkstoffe müssen preiswert sein

Werkstoffe müssen gut und ökonomisch bearbeitbar sein

Werkstoffe sollten recycelbar sein.

Metalle - die wichtigste Werkstoffgruppe(Ü1)

Eigenschaften von Metallen(Ü2)

Merke: (Hervorhebung)

Gemeinsame Eigenschaften der Metalle sind

a) gute Verformbarkeit,

b) gute elektrische und Wärmeleitfähigkeit,

c) große Festigkeit bei Raumtemperatur, (mit Ausnahme von Quecksilber sind alle Metalle bei 20 °C fest),

d) metallischer Glanz

Diese Eigenschaften haben zur Folge, dass die metallischen Werkstoffe die Hauptgruppe der Werkstoffe darstellen.

Einteilungsmöglichkeiten der „Werkstoffgruppe Metall“(Ü2)

Einteilung in Reinmetall und Legierung(Ü3)

Reinmetalle(Ü4)

Die Mehrheit der chemischen Elemente sind Metalle. Davon haben ca. 20 eine technische Bedeutung und von diesen werden 7 Metalle oft verwendet.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Metall | Al | Fe | Mg | Ti | Zn | Ni | Cu |
| % | 7,5 | 4,7 | 1,9 | 0,58 | 0,02 | 0,02 | 0,01 |

Tabelle 2: Anteile wichtiger Metalle an der Erdkruste

In der Technik werden Metalle selten rein verwendet (z.B. Rein-Kupfer in der Elektrotechnik), sondern meist in Legierungen.

Legierungen(Ü4)

Zusammensetzung von Legierungen:

Grundmetall + Legierungselement(e) + Begleitelemente oder Verunreinigungen

Grundmetall: Anteil > 50%

Legierungselemente: Metalle und Nichtmetalle

Herstellung von Legierungen:

- Schmelzmetallurgische Verfahren: Erstarrung einer Metallschmelze

- Pulvermetallurgische Verfahren: Herstellung des Pulvers und Formgebung + Sintern

Unterteilung in Leicht- und Schwermetalle (Ü3)

Merke(Hervorhebung): Leichtmetalle sind Metalle mit einer Dichte, welche kleiner als 5 kg/dm³ ist. Schwermetalle sind Metalle mit einer Dichte, welche größer als 5 kg/dm³ ist. Früher war die Leichtmetallgrenze bei einer Dichte von 4 kg/dm³ festgelegt. Diese wurde aber durch die Aufnah­me von Titan ρ = 4,5 kg/dm³ bei den Leichtmetallen auf 5 kg/dm³ heraufgesetzt.

Unterteilung in Nichteisenmetalle (NE-Metalle) und Eisenmetalle(Ü3)

Als Nichteisenmetall werden alle Metalle außer Eisen bezeichnet, sowie Metall-Legierungen, in denen Eisen nicht als Hauptelement enthalten ist bzw. der Anteil an Reineisen (Fe) 50 % nicht übersteigt. Beispiele hierfür sind Kupfer, Aluminium, Zink, Bronze und Messing. Meist wird dafür die Abkürzung „NE-Metall“ verwendet. Wegen ihrer oft auffälligen Farbe werden sie auch als Buntmetall bezeichnet, allerdings zählen die Weißmetalle ebenso zu den Nichteisenmetallen.

Wenn in der Werkstofftechnik über Eisen und Stahl gesprochen wird, sind in der Regel Eisen-Kohlenstoff-Legierungen gemeint. Eine Eisen-Kohlenstoff-Legierung wird als Stahl bezeichnet, wenn der Kohlenstoffgehalt zwischen 0,002% und 2,06% liegt. Eisen und Stahl haben als Werkstoff z. B. im Maschinenbau und Hochbau, große Bedeutung. Daher wird den Eisen- und Stahlwerkstoffen eine separate Kategorie eingeräumt.

Unedle und Edelmetallen(Ü3)

Edelmetalle reagieren nicht mit Wasser oder einer wässrigen Säure unter Wasserstoffbildung. In der elektrochemischen Spannungsreihe liegen sie im positiven Bereich über Wasserstoff. Deshalb kommen Metalle wie Gold, Silber und Platin in der Natur oft gediegen, also chemisch ungebunden vor.

Unedle Metalle reagieren mehr oder weniger stark mit Sauerstoff. Einige Metalle bilden eine dichte, fest haftende Oxidschicht (z.B. Chrom, Aluminium), die eine weitere Oxidation verhindert (Passivierung). Andere Metalle, wie Eisen, können durch Korrosion vollständig zerfressen werden.

Aufbau der Metalle(Ü2)

Konstruktive Gestalt des Werkstücks (Ü3)  
Die reale Formgebung eines Bauteils und seine Montage. Äußere Belastungen rufen innere Beanspruchungen des Werkstoffes hervor.

Kornstruktur (Ü3)

Metalle und viele Keramiken weisen eine Kornstruktur auf. Das sind begrenzte kristalline Bereiche (sog. Kristallite) mit gleichem Gitter­aufbau und gleicher Gitterausrichtung. An den Korngrenzen liegt eine regellose Anordnung der Atome vor. Größe und Form der Kristallite sind wichtige Einflussfaktoren für die Materialeigenschaften.

Kristal- oder (Makro-)Molekular-Struktur (Ü3)  
Ob kristalliner oder amorpher Aufbau, diese Ebene legt den Grund­stein für Festigkeit, Elastizität und Plastizität. Störungen im Aufbau und deren gezielter Einbau können die Materialeigenschaften grundlegend verändern.

Die supatomare Ebene (Ü3)  
insbesondere die Elektronen auf der äußersten Schale, sie sind für das chemische Verhalten des Atoms und elementare physikali­schen Eigenschaften verantwortlich.

Viele physikalische Eigenschaften der Metalle sind auf ihre Elektronenkonfiguration zurückzuführen. Zur Erklärung ihres Verhaltens gibt es verschiedene Ansätze, nach verschiedenen Atommodellen.

Das Schallenmodell(Ü3)

In der äußersten Schale befinden sich nur wenige Elektronen, sie ist höchstens zur Hälfte ausgefüllt. Diese Elektronen lassen sich relativ leicht vom Rest des Atoms trennen: Die Ionisierungsenergie des Atoms ist sehr gering.

Die Elektronen der äußersten Schale, die sog. Valenzelektronen, lösen sich dabei von ihren Atomen. Sie können sich frei im Atomgitter bewegen und sind keinem Atom mehr zuzuordnen; sie bilden das sogenannte Elektronengas.

Das Bändermodell(Ü3)

Nach dem Bändermodell sind den Elektronen energetische Bänder zuzuordnen. Damit es auf ein höheres Energieniveau gelangt, muss einem Elektron Energie zugeführt werden, die umso höher ist, je weiter die Bänder auseinander liegen.

Das Valenzband ist das höchste Band, das bei 0 K noch voll besetzt ist. Bei energetischer Anregung (thermisch, durch Licht oder elektrisch) springen mehr und mehr Elektronen in das Leitungsband.

Wenn Atome sich verbinden, überlagern sich ihre Leitungsbänder. Ein Elektron im Leitungsband kann ohne weiteres von einem Atom zum nächsten springen. Es ist delokalisiert – und kann damit keinem einzelnen Atom zugeordnet werden.

Nichtleiter und Halbleiter weisen eine Bandlücke auf – einen großen Abstand zwischen Valenz- und Leitungsband, den ein Elektron nur bei entsprechend hoher Anregung überspringen kann.

Bei Metallen gehen Valenz- und Leitungsband unmittelbar ineinander über, so dass geringste Energiemengen für den Übergang nötig sind.

Eigenschaften der Metalle(Ü3)

Daraus resultieren wiederum die wichtigsten physikalischen Eigen­schaften der Metalle:

Gute elektrische Leitfähigkeit  (Ü4)

Die beweglichen Elektronen im Atomgitter stellen freie Ladungsträger dar. Wenn sie sich in eine bestimmte Richtung bewegen, fließt Strom. Diese „Wanderung“ beginnt, wenn an einem Ende des Leiters mehr Elektronen vorhanden sind, als am anderen, wenn also Spannung anliegt.

Gute Wärmeleitfähigkeit (Ü4)

In nichtleitenden Festkörpern tragen „nur“ Atome und Moleküle zur Wärmeübertragung bei, in Metallen sind auch die frei beweglichen Elektronen an der Wärmeübertragung beteiligt. Gute elektrische Leiter können auch Wärme besser übertragen. So ist Silber nicht nur der beste elektrische Leiter, sondern auch der beste Wärmeleiter unter den Metallen.

Der metallische Glanz (Ü4)

Auch für diese Eigenschaft sind die frei beweglichen Elektronen verantwortlich. Wenn Photonen, also Licht, auf die Oberfläche des Metalls treffen, werden sie absorbiert. Dabei werden die Elektronen kurz zu einem energetisch höherem Niveau angeregt.

Undurchsichtigkeit (Ü4)

Das hohe Reflexionsvermögen ist gleichzeitig auch der Grund dafür, dass Metalle nicht durchsichtig sind. Lediglich Blattgold wird bei einer Dicke von einem zehntausendstel(!) Millimeter durchsichtig und lässt Licht grünlich-blau durchschimmern. Blei ist wegen seiner hohen Dichte und seiner massiven Atomkerne in der Lage, Röntgen- und radioaktive Strahlung zu absorbieren.

Verformbarkeit (Duktilität) (Ü4)

Die meisten Metalle sind mehr oder weniger gut plastisch (bleibend) verformbar, bevor sie brechen. Denn ein Atomgitter besitzt sogennante Gleitebenen. Hier können die Atomlagen

Die atomaren Kräfte (Ü2)

Wie bereits bekannt, ziehen sich elektrisch ungleichnamig geladene Teilchen an. Wir haben wie folgt unterschieden:

a) Ionenbindung: Ungleich geladene Ionen (Kationen und Anionen) ziehen sich an.

b) Metallbindungen: Elektronen (e-) und Kationen (p+) ziehen sich an.

Merke((Hervorhebung): Die zwischenatomare Anziehungskräfte (FAn) sind rein elektrostatischer Natur. Diese Anziehungskräfte bewirken eine starke Annäherung der Ionen.

Merke((Hervorhebung): Kommen die Ionen sehr nahe aneinander, so verformen sich die Ionenhüllen. Die dadurch entstehen­den Deformationskräfte sind FAn entgegengerichtet, sind also abstoßende Kräfte (FAb).

Merke((Hervorhebung): Bei einer bestimmten Lage der Ionen zueinander entsteht zwischen FAn und FAb ein Gleichgewicht.

Merke((Hervorhebung): Zwischen den elektrostatischen Kräften (anziehend) und den Deformations­kräften (abstoßend) stellt sich ein Kräftegleichge­wicht (ΣF = 0) ein. Demzufolge stellt sich zwischen den Ionen (Atomrümpfen) ein bestimmter Abstand a0 ein.   
Der Abstand a0 heißt Gitterkonstante und hat für jeden kristallinen Stoff eine bestimmte Größe.

Mechanische Belastung von Werkstoffen (Ü1)

Merke((Hervorhebung): Ein Werkstoff wird beansprucht, wenn auf ihn Kräfte und / oder sonstige Umgebungseinflüsse einwirken.

Die mechanische Beanspruchung(Ü2)

Merke((Hervorhebung): Bei einer mechanischen Beanspruchung wirken Kräfte auf den Körper!  
Dabei können folgende Beanspruchungsarten auftreten:

Um mechanische Beanspruchungen aufnehmen zu können, müssen technische Werkstoffe - je nach Beanspru­chungsart mehr oder weniger - die folgenden Eigenschaften haben:

Festigkeit(Ü3)

Festigkeit ist der Widerstand eines Werkstoffes gegen Trennung oder Verformung durch auf ihn wirkende Kräf­te.

Härte(Ü3)

Härte ist der Widerstand eines Körpers, den er dem Eindringen eines anderen Körpers in ihn entgegensetzt.

Elastizität(Ü3)

Elastizität ist die Eigenschaft der Werkstoffe, die durch Krafteinwirkung erlittene Deformation nach der Entlastung wieder rückgängig zu machen. Reagiert der Werkstoff mit bleibender Verformung, so spricht man von Plastizität (plastisches Verhalten).

Zähigkeit(Ü3)

Ein Werkstoff ist zäh, wenn er Elastizität und Festigkeit besitzt.

Beanspruchung durch andere Stoffe: Korrosionsfestigkeit (Ü2)

Merke: Bewirkt das Vorhandensein eines zweiten Stoffes oder mehrerer anderer Stoffe eine chemische oder elektrochemische Veränderung des Werkstoffes, so spricht man von der Korrosion der Werkstoffe.

Merke((Hervorhebung): Ein Werkstoff ist korrosionsfest bzw. korrosionsbeständig, wenn er imstande ist, chemische bzw. elektrochemische Beanspruchungen auszuhalten.

Wegen der enormen Wichtigkeit dieser Werkstoffeigenschaft - insbesondere auch im Kälteanlagenbau - wird an späterer Stelle nochmals näher darauf eingegangen!

Beanspruchung durch hohe und niedrige Temperaturen (thermische Beanspruchung)(Ü2)

Merke((Hervorhebung): Unter dem Einfluß hoher und niedriger Temperaturen ändern die Werkstoffe ihre Eigenschaften: Festigkeit, Härte, Elastizität und Zähigkeit!!!

Kaltzähigkeit(Ü3)

Als kaltzäh werden Werkstoffe - insbesondere die Stähle - bezeichnet, die bei Temperaturen bis zu -60 °C (teil­weise bis -196 °C) eine ausreichende Zähigkeit besitzen. D. h., dass die Werkstoffe bei diesen Temperaturen ne­ben der erforderlichen Festigkeit auch noch eine relativ große Elastizität haben müssen. Da dieser Eigenschaft im Kälteanlagenbau eine besonders große Bedeutung zukommt, wird später nochmals näher darauf eingegangen. Zum Verständnis müssen vorher noch einige Kenntnisse erworben werden.

Warmfestigkeit(Ü3)

Ein Werkstoff ist warmfest, wenn er imstande ist, bestimmte Temperaturen auszuhalten (Stahl z. B. mehr als 550 °C). Der entsprechende Festigkeitswert wird im Warmzugfersuch, Warmstreckversuch oder Warmbiegever­such ermittelt. Ist ein Werkstoff nicht warmfest, so treten im Allgemeinen bei erhöhter Temperatur und mechani­scher Beanspruchung Kriechvorgänge auf.

Warmstandfestigkeit(Ü3)

Von Warmstandfestigkeit spricht man bei Werkstoffen für Schneidezwecke. Unter einer bestimmten Tempe­raturgrenze dürfen die Werkzeugschneiden ihre Stantfestigkeit nicht verlieren, d. h. sie müssen schneidfähig bleiben.

Beanspruchung durch Strahlung(ü3)

Durch den Einfluß radioaktiver Strahlung und Röntgenstrahlung können im Werkstoff Strahlungsschäden auftre­ten, die die Eigenschaften Härte, Elastizität und Zähigkeit wesentlich verändern. Ein Werkstoff ist strahlungsfest, wenn er unter Strahlungsbelastung seine Eigenschaften nicht verändert.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Metall | α-Eisen  (α-Fe) | Molybdän  (Mo) | Wolfram  (Wo) | Tantal  (Ta) | Chrom  (Cr) |
| Gitterkonstante a0 [nm] | 0,287 | 0,314 | 0,316 | 0,330 | 0,288 |

Giteraufbau der Metalle(Ü1)

Es ist nun klar, dass die atomaren Kräfte innerhalb bestimmter Werkstoffe einen kristallinen Ordnungszustand hervorrufen. Es werden sog. Atomgitter (Elementarzellen) gebildet, die ihrerseits periodisch nach allen Raumrichtungen den kristallinen Stoff in seiner Gesamtheit bilden.

Strukturen in Festkörpern(Ü2)

Man unterscheidet zwischen amorphen (im kleinsten „gestaltlosen“) und kristallinen Festkörpern. Die Festkörperphysik beschäftigt sich vorwiegend mit den Eigenschaften kristalliner Festkörper. Das Wort kristallin bedeutet aus Kristallen bestehend.

Amorpher Festkörper(Ü3)

Schmelzen sind in der Regel amorph (gestaltlos). Die Atome sind regellos angeordnet. Solange das Material flüssig ist, bewegen sich die Atome durcheinander. Beim Erstarren der Schmelze kann sich eine geordnete kristalline Struktur bilden oder die Schmelze kann auch amorph erstarren.

Das kubisch raumzentrierte Atomgitter (krz)(Ü2)

Im oben dargestellten kubisch primitiven Gitter gibt es in der Raummitte eine große Gitterlücke. Beim kubisch raumzentrierten Gitter wird in die Mitte des Würfels ein weiteres Atom eingebaut. Die Atome berühren sich dann nicht mehr entlang der Würfelkanten sondern auf den Raumdiagonalen.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Metall | α-Eisen  (α-Fe) | Molybdän  (Mo) | Wolfram  (Wo) | Tantal  (Ta) | Chrom  (Cr) |
| Gitterkonstante a0 [nm] | 0,287 | 0,314 | 0,316 | 0,330 | 0,288 |

Tabelle 3