

Interreg



EUROPÄISCHE  
UNION

Österreich-Tschechische Republik

Europäischer Fonds für regionale Entwicklung



# MASCHINENBAU

## Maschinenbau 3



UNIVERSITY  
OF APPLIED SCIENCES  
UPPER AUSTRIA



EUROPÄISCHE UNION

# INHALT

1. Schnelles Prototyping.....	3
1.1. Schnelles Prototyping.....	3
1.2. Methoden, Merkmale, Arten des Rapid Prototyping .....	5
1.3. Stereolithographie .....	6
1.4. Selektives Lasersintern SLS.....	8
1.5. Herstellung von laminierten Objekten LOM .....	9
1.6. 3D-Druck.....	10
2. Stahlproduktion.....	12
2.1. Rohstoffe .....	12
2.2. Hochofen .....	13
2.3. Reaktionen im Hochofen.....	13
2.4. Roheisen und Schlacke.....	14
2.5. Stahlproduktion.....	15
3. Stahlmarkierung.....	17
3.1. Stahlmarkierung.....	17
3.2. Formstahl .....	17
3.3. Graustich .....	21
3.4. Formbarer Guss.....	21
4. Nichteisenmetalle und deren Legierungen.....	22
4.1. Klassifizierung und Kennzeichnung von Nichteisenmetallen.....	22
4.2. Schwermetalle aus Nichteisenmetallen und deren Legierungen .....	23
4.3. Kupfer und Kupferlegierungen .....	23
4.4. Bronze.....	24
4.5. Messing.....	24
4.6. Blei und seine Legierungen .....	24
4.7. Nickel und seine Legierungen .....	25
4.8. Zink und seine Legierungen .....	25
4.9. Zinn und seine Legierungen .....	25
4.10. Kobalt .....	26
4.11. Wolfram .....	26
4.12. Molybdän.....	26

4.13.	Chrom .....	27
4.14.	Leichte Nichteisenmetalle und deren Legierungen .....	27
4.15.	Aluminium und seine Legierungen.....	27
4.16.	Magnesium und seine Legierungen .....	29
4.17.	Magnesiumlegierungen.....	30
4.18.	Titan - Ti .....	30
4.19.	Sonderlegierungen von Nichteisenmetallen.....	31
5.	Pulvermetallurgie.....	32
5.1.	Historie.....	32
5.2.	Gründe für die Pulvermetallurgie.....	32
5.3.	Pulver .....	32
5.4.	Mit Hilfe der Pulvermetallurgie-Technologie .....	33
5.5.	Spezielle Konsolidierungsmethoden.....	35

# I. SCHNELLES PROTOTYPING

## I.I. Schnelles Prototyping

### Historie

- 1980´s - erste entwickelte Methode (RP - STEREO LITHOGRAPHIE)

### Anwendung:

- Erstellung eines Modells - Schnelle Modellierung
- Herstellung von Werkzeugen und Vorrichtungen - Schnelle Werkzeugausrüstung
- Marketing und Stückfertigung - Schnelle Herstellung

### Vorteile

- Reduzierung der Produktionskosten
- Qualitätsverbesserung
- Produkt- und Technologieentwicklung
- Herstellung von Produkten mit komplexer Formgebung
- RP ermöglicht die Überprüfung von Funktion, Design und Ergonomie eines Produkts auch unter schwierigen Bedingungen.
- Entwicklung

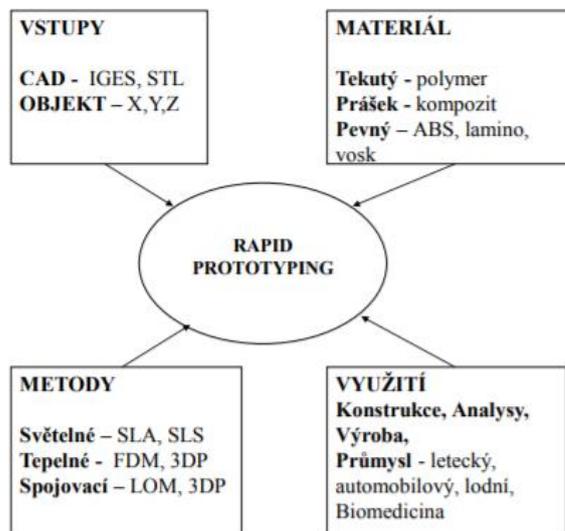
**Verwendete Materialien:** Flüssigkeit, Pulver, Polymer, Papier, etc.

### Entwicklung der Technologie:

- Materialien mit besseren technologischen Eigenschaften
- Verwendung von Verbundwerkstoffen für die Produktion (glas-, kohle- oder Kevlarfasen)
- Kunststoffe)
- Steigerung der Produktpräzision und -qualität
- Senkung der Produktionskosten von Produkten
- Reduzierung des Gerätepreises
- Automatisierung der Produktion
- Material- und Energieeinsparung

## Definition des Schnellen Prototyping:

- Schnelles Prototyping umfasst alle Technologien, die den Produktionsprozess von 3D automatisieren.
- kompakte Objekte aus Originalmaterialien
- Eine Reihe von Technologien, die die Herstellung von Modellen und Prototypen von
- komplexe Teile direkt auf Basis von 3D-CAD-Daten. Das Produkt kann hergestellt werden
- Verwendung verschiedener Materialien je nach Ausstattung.



*Legende: vstupy - Inputs, Objekt - Objekt, materiál - Material, tekutý Flüssigkeit, Polymer - Polymer, prášek - Pulver, Kompost - Mischung, pevný - fest, lamino - lamino, vosk - Wachs, Metodie - Verfahren, světelné - Licht, tepelné - Wärme, spojovací - verbindend, využití - verwenden, konstrukce - Design, analýzy - Analysen, výroba - Produktion, průmysl - Industrie, letecký - Luft, automobilový - Automobil, lodní - Schiff, biomedicina - biomedizinisch*

## 1.2. Methoden, Merkmale, Arten des Rapid Prototyping

- **Nach Produktionsprozess wird RP unterteilt in:**

- Mit dem Laser hinzugefügte Schichten
- Punktuelle Aushärtung
- Schichthärtung

- **Schichten ohne Laser hinzugefügt**

- Punktuelle Aushärtung
- Schichthärtung

### Beispiele:

- **SLA** - StereoLithography Aparatus, Flüssigacrylat, Punkt, Laser, Laser
- **SGC** - Solid Ground Curing, flüssiges Acrylat, UV-Lampe
- **SLS** - Selective Laser Sintering, Verbund aus 2 Pulverarten, gesintert
- **FDM** - Fuse Deposition Modeling, ABS-Kunststoffe durch Extrusion ergänzt
- **LOM** - Laminierte Objektmodellierung, Papierlaminierung, Laser, etc.
- **3DP** - Dreidimensionaler Druck - Schichtdruck, Pulverklebung

### Funktion und Bedeutung des Prototyping

- **Konzept** - alle Ideen teilen
- **Eignung** - Prüfung der Konstruktionsmaße
- **Form** - Beurteilung der Ästhetik und Ergonomie von Bauteilen
- **Funktionalität** - Prüfung in der Arbeitsumgebung
- **Angebot** - Bewertung des Produkts in Bezug auf das Angebot
- **Marketing** - Kommunikation mit dem Kunden über Design

### Arten von Prototypen

- **Konstruktionsprototypen**
  - Geometrie- und Montageprüfung
- **Prototypen des Designs**
  - Verbesserung der Kommunikation zwischen den Partnern - Überprüfung des Designs

- **Funktionsprototypen**
  - Prüfung und Analyse von Luftstromarten - Modelle für Windkanäle
- **Technische Prototypen**
  - Funktionalität, Eigenschaften

## 1.3. Stereolithographie

- RP-Technologie
- Die präziseste Herstellung komplexer Produkte und Modelle
- Ergänzungsmethode der Produktion (Kombinieren, Hinzufügen von Materialien)

### Prinzip des Verfahrens

- Das 3D-PC-Modell wird in ein gewünschtes Format umgewandelt.
- Dateneingabe in die RP-Software
- Erstellen eines virtuellen Modells und dessen Schneiden und Einstellen der Schichtdicke
- Vorschlag für eine Unterstützung

### Anwendung

- Produkte mit inneren Hohlräumen und komplexen Details
- Modelle für die Gießerei - Herstellung von Formen und Werkzeugen
- Ersatz von Wachsmodellen
- Modelle für die Medizin- und Luftfahrtindustrie
- Überprüfung des Designs eines entworfenen Objekts
- Nachteile
- Langsame Polymerhärtung
- Geringer Wärmewiderstand
- Verwendete Materialien
- Photopolymere - reagieren auf Licht durch Aushärten
- Acryl- oder Epoxidharze
- Teile von Stereolithographiegeräten
- Arbeitskammer
- Laserausrüstung
- Steuerungssystem

## Produktionsprozess

- **Erstellung eines 3D-PC-Modells**

- Erstellen eines Modells in einem CAD/CAM-System
- Abtastung von CAT-Tomographiegeräten
- 3D-Messgerät - Abmessungen
- Erstellen eines funktionierenden STL-Programms
- Verschieben der Datei in die Software des angegebenen Programms
- Das Programm bereitet das Modell für den Produktionsprozess vor - Erstellung eines Arbeitsablaufs.
- Programm mit einer STL-Endung
- Das Modell wird in identische Schichten geschnitten.
- Stereo-Lithographieverfahren
- Laser erzeugt einen Strahl
- Zeichnen von Schichtoberflächen - Aushärten von Materialien
- Die Bewegung des Lasers wird durch das Programm gesteuert.
- Die nächste Schicht wird nach dem Aushärten der vorherigen aufgetragen.

- **Produkthärtung im UV-Ofen**

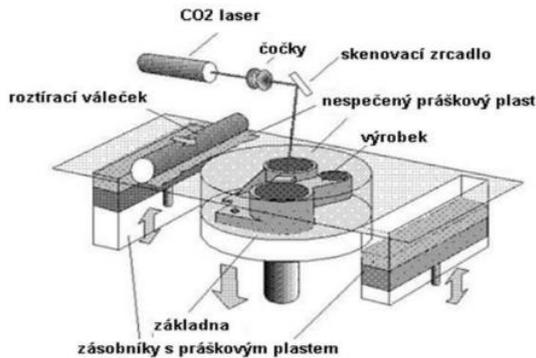
- Das Produkt wird getrocknet und ausgehärtet.

- **Fertigstellung des Produkts**

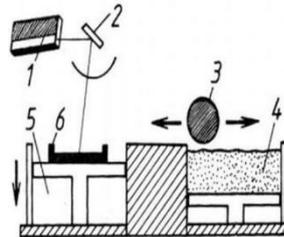
- Oberflächenbehandlung
- Auftragen von Füllstoffen, Farbstoffschicht möglich
- Oberflächenpolitur
- Oberflächenrauigkeit - 1-2  $\mu\text{m}$
- Genauigkeit - Hundertstel mm
- Unterstützung:
  - Die am besten geeignete Position des Modells auf der Plattform, gewährleistet durch Stative.
  - Die Ständer müssen so aufgestellt werden, dass sie nach Fertigstellung leicht entfernt werden können.
- der Prozess
  - Nach dem Aushärtungsprozess wird das Modell herausgenommen und in einer UV-Kammer ausgehärtet.
- Planfräser
  - Nach dem Aushärten jeder einzelnen Schicht richtet der Fräser das Harzniveau so aus, dass es mit dem Harzniveau übereinstimmt.
  - die Dicke einer weiteren Schicht wird erreicht

## 1.4. Selektives Lasersintern SLS

### Schema



### Schéma zařízení sinteringu



- 1 – laser
- 2 – zrcadlo
- 3 - válec pro dopravu prášku materiálu obrobku
- 4 - zásobník prášku
- 5 - pracovní komora
- 6 - vyráběná součást

*Legende: roztírací váleček - Raket, čočky - Objektiv, skenovací zrcadlo - Scanspiegel, nespečený plastový prášek - ungesintert*

*Pulverkunststoffe, výrobek - Produkt, základna - Plattform, zásobníky s práškovým plastem - Zuführungen mit Pulverkunststoffen, Schema*

*zařízení Sinterung - Sinterschema, zrcadlo - Spiegel, válec pro dopravu prášku materiálu obrobku - Zylinder zum Transport der*

*Pulver aus Werkstückmaterial, zásobník prášku - Pulverförderer, pracovní komora - Arbeitskammer, vyráběná součást - Komponente wird hergestellt*

- Die Modelle sind sehr stark.
- Verwendung von Pulversintern mittels CO 2-Laser
- Das Pulver wird in Schichten auf die Trägerplatte in der Innenatmosphäre (Stickstoff oder Argon)
- Prinzip
  - Mit dem Laser wird das Material gesintert oder es schmilzt und verfestigt sich.
  - Das umgebende Material schafft eine natürliche Unterstützung.
  - Hergestellt aus Schichten
  - Die Trägerplatte wird nach dem Erstellen einer Schicht nach unten verschoben.

- Verwendete Materialien
  - Pulver, das bei Hitze schmilzt.
  - Thermoplastische Kunststoffe
  - Spezielle niedrigschmelzende Legierungen
  - Stahlpulver

### Produktionsanlagen

- Pulverförderer
  - Mit Hilfe eines Hubkolbens und eines Zylinders wird das Pulver zum Ort der Aushärtung transportiert.
- Optische Systeme
  - Der Laser härtet eine ausgewählte Oberfläche aus, dann wird die Plattform um die Dicke der Schicht nach unten bewegt und der Prozess wiederholt.
  - Plattform - das Produkt wird dort platziert.

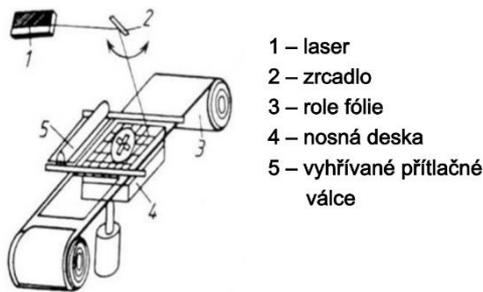
### Modell = Produkt

- Das Modell wird in ungehärtetes Pulver gelegt.
- Nach dem Aushärten muss das Pulver abkühlen.
- Um den Schutz der Oberflächenqualität zu gewährleisten, wird die Kammer mit Schutzgas gefüllt.

## 1.5. Herstellung von laminierten Objekten LOM

- Das Prinzip besteht darin, die einzelnen Schichten aufeinander zu laminieren.
- Zu den verwendeten Materialien gehören Papier, Kunststoffe, Holz, Zinn, etc.
- Das Verfahren basiert auf dem Schichten eines klebrigen Materials.
- Komponenten werden aus speziellen Kunststofffolien oder vielen Papierschichten hergestellt, die mit einem imprägnierten
- Verstärkungsmaterial
- Die einzelnen Schichten werden mit einem CO<sub>2</sub>-Laser in die richtige Form geschnitten.
- Produktmerkmale
  - Ähnlich wie Holz
  - Handgehaltene Laserbearbeitung für glatte Oberflächen
  - Geeignet für größere Bauteile
  - Nachteil

- LOM-Schema



- 1 – laser
- 2 – zrcadlo
- 3 – role fólie
- 4 – nosná deska
- 5 – vyhřívané přitlačné válce

*Legende: zrcadlo - Spiegel, Rolle fólie - Folienrolle, nosná deska - Trägerplatte, vyhřívané přitlačné válce - beheizte Andruckrollen*

- LOM-Schichtung eines klebrigen Materials
  - Schichten von Folie und Klebematerial
  - Das Material wird auf die Trägerplatte abgewickelt.
  - Die gewünschte Form wird durch den Laser erzeugt.
  - Die Schichten werden unter dem Druck der beheizten Rolle verbunden.
  - Die restliche Folie wird wieder auf die Rolle aufgewickelt.
  - Die Trägerplatte fährt nach unten und der Vorgang wird wiederholt.

## 1.6. 3D-Druck

### Definition des 3D-Drucks

3D Es ist mit den Technologien verbunden, die mit den Prozessen der Anwendung verbunden sind. Thermoplastische / duroplastische Polymere und Wachse zur Herstellung von 3D-Feststoffobjekten.

### Grundsätzlich werden zwei Technologien eingesetzt:

- Eine Ein-Düsen-Produktion
- Eine Mehrfachdüsenproduktion

### Art des verwendeten Materials

- Wachs
- Wärmehärtbares UV-Harz
- Thermoplastische Polymere mit Paraffin, Kohlenwasserstoffwachs und Farbstoffen

- Thermoplastische Polymere, die Kohlenwasserstoffe, Amide und Ester für höhere Temperaturen enthalten.
- Haltbarkeit
- Nicht recycelbar - gefiltertes Produkt

"Der 3D-Druck beinhaltet die Technologien, die für den Layer-Ansatz bei der Erstellung von Produkten oder für die Erstellung von Produkten verwendet werden.

Komponenten durch Auftragen von Pulverschichten und anschließende Bindung in die Form eines festen Objekts.

- It´s ein Verfahren ähnlich dem Lasersintern
- 3D-Druck verwendet Tintenstrahlköpfe für die Anwendung.

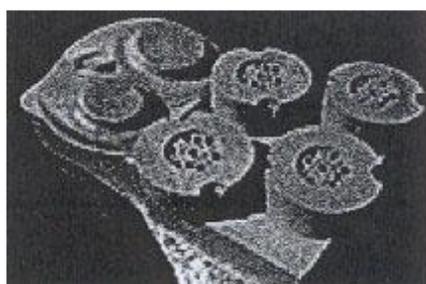
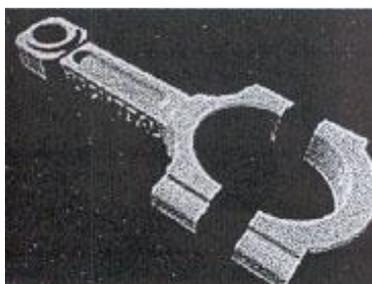
### Verfahren zur Herstellung von Bauteilen

- Importieren einer STL-Datei in die Software-Schnittstelle
- Befüllen des Behälters mit Pulver
- Ausbringung des Pulvers aus dem Bottich
- Pressen des Bindemittels auf das Pulver und Formen des ersten Schnittes
- Das verbleibende Pulver bildet einen Träger für die überhängenden Schichten.
- Absenken der Trägerplatte und Aufbringen einer neuen Schicht auf die Oberfläche
- Der gesamte Prozess wird wiederholt.

### 3D-Druck – Metalle

#### Anwendung und Bindung von Metallpulvern

- Der Prozess selbst ist derselbe, was anders ist, ist die Nachbearbeitung, bei der die Komponenten im Ofen gesintert werden, um das Bindematerial zu entfernen und die Metallmoleküle zu verbinden.



## 2. STAHLPRODUKTION

Die Stahlerzeugung ist ein metallurgischer Prozess zur Herstellung von Stahl aus Roheisen, bei dem überschüssiger Kohlenstoff und andere unerwünschte Elemente wie Phosphor und Schwefel entfernt und notwendige Elemente wie Mangan, Aluminium, Silizium und andere hinzugefügt werden.

Stahl wird in einem spezialisierten Hüttenwerk namens Stahlwerk hergestellt.

### 2.1. Rohstoffe

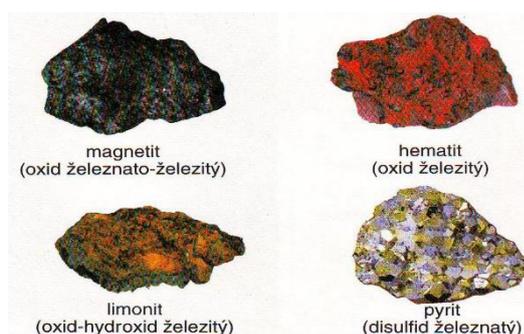
**Eisenerz (besteht hauptsächlich aus Sauerstoffverbindungen des Eisens):**

- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – rotes Eisenerz (Hämatit)
- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  – magnetisches Eisenerz (Magnetit)
- $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  – Limonit
- $\text{FeS}_2$  – Pyrit

Koks (Steinkohle) - es ist fast reiner Kohlenstoff, er wird zur Reduzierung von Eisenoxiden verwendet.

Kalkstein  $\text{CaCO}_3$  - hilft, so genannte Schlacke aus Gestein zu bilden, die bei Eisenerz vorkommt.

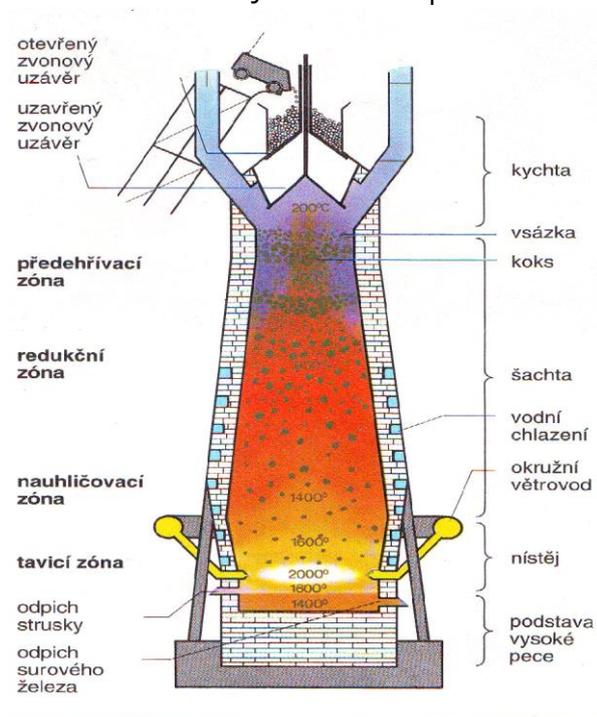
Zusätzliche Eisenerzgesteine werden als Gangue bezeichnet, die meist vor dem Hochofen entfernt werden.



*Legende: Magnetit (Oxid železnato-železitý) - Magnetit (Eisenoxid-Eisenoxid), Hämatit (Oxid železitý) - Hämatit (Eisenoxid), Limonit (Oxidhydroxid železitý) - Limonit (Eisenoxid-Hydroxid), Pyrit (Disulfid železnatý) - Pyrit (Eisendisulfid)*

## 2.2. Hochofen

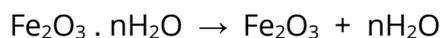
Bis zu 40 m hoher, 15 m breiter Schachtofen aus Stahl, innen mit feuerfesten Ziegeln. Es arbeitet bis zu 10 Jahre nonstop.



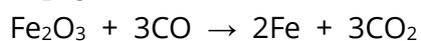
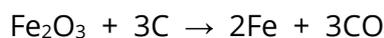
Legende: Otevřený zvonový uzávěr - offener Glockenverschluss, uzavřený zvonový uzávěr - geschlossener Glockenverschluss, předehřívací zóna - Vorheizzone, redukční zóna - Reduktionszone, nauhličovací zóna - Aufkohlungszone, tavící zóna - Schmelzzone, odpich strusky - Schlackenanzapfung, odpich surového železa - Roheisenanzapfung, Kychta - Hochofen, vsázka - Charge, koks - Koks, šachta - Schacht, vodní chlazení - Wasserkühlung, okružní větrovod - Luftkanal, nístěj - Herd, podstava vysoké pece - Hochofenboden

## 2.3. Reaktionen im Hochofen

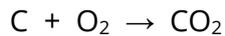
**Zeichnen von Rohmaterial:**



**Eisenreduktion:**



### Verbrannter Koks:



## 2.4. Roheisen und Schlacke

**Schlacke** schützt die Oberfläche von geschmolzenem Eisen vor Oxidation.

Das Abstich von Roheisen und Schlacke vom Boden des Hochofens aus wird alle zwei Stunden durchgeführt.

**Roheisen** enthält folgende Zusatzstoffe: ca. 4% von C, Mn, Si, P, S. Es ist sehr hart, aber spröde. Es wird in Formen (Gusseisen) gegossen und dient zur Herstellung von Heizungen, Maschinenteilen, Rohrleitungen usw., wird aber meist zu Stahl weiterverarbeitet.

**Roheisen ist ein Hauptprodukt beim Schmelzen von Eisenerz mit Koks, Kalkstein und anderen Zusatzstoffen im Hochofen.**

- Hoher Kohlenstoffgehalt - mehr als 2,14 %, typischerweise sogar mehr als 3,5 %.
- Aufgrund des hohen Kohlenstoffgehalts ist Roheisen hart und spröde. Es schmilzt unter Erwärmung auf 1150°C - 1250°C ohne Erwärmung über einen duktilen Zustand.
- Eine Warm- oder Kaltumformung ist daher nicht möglich.
- Es wird auch als nicht formbares Eisen bezeichnet und ist in seiner direkten Verwendung sehr begrenzt.
- Es ist jedoch der Ausgangsstoff für die Herstellung anderer technischer Eisenarten.

### Klassifizierung von Roheisen

**Graues Roheisen** - je mehr Eisen in Form von Graphit entfernt wird, desto dunkler ist die Farbe, es ist weicher und besser formbar. Es ist gut gegossen, daher wird es für Gießereizwecke verwendet.

- **Stahl**
- **Gießerei: Grauguss**
  - Aushärteter Guss
  - Modifizierter Guss
  - Formbarer Guss
  - Legierter Guss
  - Unlegierter Guss

**Weißes Roheisen** - entfernte Zementite verursachen seine Härte; es wird daher im Stahlwerk zu Stahl weiterverarbeitet.

- Stahl
- Gießerei: Weißguss
  - unlegierter Vergütungsguss

**Spezielles Roheisen** - Ferrolegerung - enthält neben Kohlenstoff auch andere Elemente wie Mangan, Silizium, Chrom, Vanadium, Molybdän. Die Elemente werden als Additive bei der Herstellung von legiertem Stahl und Guss verwendet.

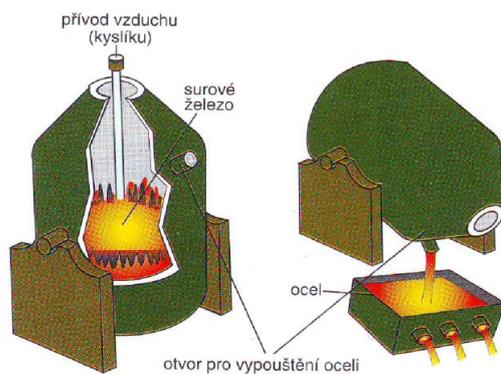
## 2.5. Stahlproduktion

Zur Verbesserung der Qualität von Roheisen wird in Stahlwerken das Verfahren der sogenannten Veredelung eingesetzt (es bezieht sich auf die Entfernung des größten Teils der Verunreinigungen durch Kohlenstoff und andere Elemente).

Konverter-Methode: Die Entfernung unerwünschter Verunreinigungen besteht in ihrer Oxidation durch Luftsauerstoff in einem Konverter (spezieller Kippofen).

In Herdöfen: Oxidation von unerwünschten Verunreinigungen durch Sauerstoff aus Eisenschrott oder behandeltem Eisenerz.

### Umrichter für die Stahlproduktion



Legende: přívod vzduchu (kyslíku) - Lufterlass (Sauerstoff), surové železo - Roheisen, Ocel - Stahl, otvor pro vypouštění oceli - Stahlauslass

## Stahl

- Langsam abgekühlter (angelassener) Stahl ist weniger hart und biegsam.
- Vergüteter (schnellgekühlter) Stahl ist hart, aber spröde.
- Max. 1,7% Kohlenstoff.
- Je mehr Kohlenstoff der Stahl enthält, desto härter ist er.
- Die Stahleigenschaften werden durch Zugabe kleiner Mengen einiger anderer Metalle (Chrom, Nickel, Vanadium, Wolfram usw.) verbessert.

## Stahlsorten

Anteil an Kohlenstoff	Kohlenstoffstahl		Spezialstahl	
	Eigenschaften	Anwendung	Zusätze	Anwendung
Ungefähr 0.25 %	Formbar und dehnbar	Bleche für Dosen und Karosserien, Drähte, Nägel, etc.	chromium 25 %, nickel 20 %, silicon 0.5 %	Sehr stark: gepanzerte Platten
0.25 – 0.7 %	Hart und steif	Schienen, Achsen, Baustahl	Chromium 18 %, nickel 8 %	Rostfreier Stahl
0.7 – 1.7 %	Sehr hart	Stahlfedern, Messer, Werkzeuge	Chrom 6 %, Wolfram, Vanadium, Kobalt, Kobalt	Hitzebeständig: Stahlbearbeitungswerkzeuge

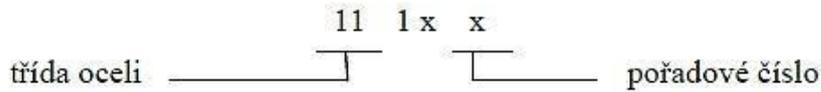


Legende: oceli třídy 10 - Stahlklasse 10, oceli konstrukční, uhlíkové obvyklých jakostí - Baustahl, Qualitätsstahl, nejmenší pevnost v tahu - niedrige Zugfestigkeit, třída oceli - Stahlklasse, pořadové číslo - Bestellnummer

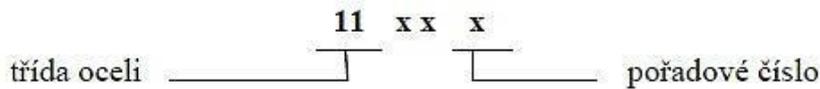
### Oceli třídy 11 – oceli konstrukční, uhlíkové obvyklých jakostí

1 značí ocel vhodnou k obrábění – tzv. automatová

střední obsah C v desetinách % zaokrouhlený na nejbližší celé číslo



střední pevnost v tahu

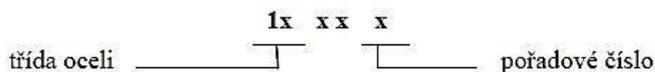


Legende: oceli třídy 11 - Stahlklasse 11, oceli konstrukční, uhlíkové obvyklých jakostí - Baustahl, Kohlenstoffstahl gängiger Qualität, 1 značí ocel vhodnou k obrábění - 1 ist bearbeitungsfähiger Stahl, střední obsah C v desetinách % zaokrouhlený na nejbližší celé číslo - mittlerer C-Gehalt in Zehntel %, abgerundet auf die nächste ganze Zahl, třída oceli - Stahlklasse, střední pevnost v tahu - mittelzugige Stränge

Význam jednotlivých číslic číselné značky u ocelí třídy 12 – 16 se posuzuje stejně.

součet obsahu přísad. prvků (kromě uhlíku) v %,

střední obsah C v desetinách %. Pokud je obsah C větší jak 0,9% , je čtvrtá číslice 0



Legende: Význam jednotlivých číslic číselné značky u ocelí třídy 12 - 16 se posuzuje stejně: Einzelne Ziffern für die Stahlklasse 12 - 16 werden auf die gleiche Weise identifiziert. Součet obsahu přísad. prvků kromě uhlíku v % - Summe des Gehalts an Additiven neben Kohlenstoff in %, střední obsah C v desetinách % - mittlerer C-Gehalt in Zehntel %. Pokud je obsah C větší než 0,9 %, čtvrtá číslice je 0 - wenn der C-Gehalt höher als 0,9 % ist, ist die vierte Ziffer 0.

### Stahlklasse 17

Nach dem Legierungsgrad wird die Stahlklasse 17 in mittellegierten und superlegierten Stahl unterteilt.

Diese Stähle werden mit einer um ein Vielfaches höheren Anzahl von Legierungselementen legiert (wie bei den Stahlklassen 13 - 16).

Es gibt viele Arten von Stahl der Klasse 17. Dies sind Stähle, die korrosionsbeständig, feuerfest, hitzebeständig und Spezialstähle sein können. Sie werden hauptsächlich durch Chrom, Mangan, Silizium, Nickel, Wolfram, Titan, Vanadium und andere edle Elemente legiert.

Numerische Markierung	Bedeutung der dritten Stelle
17 0 xx	Chromlegierte Stähle, Chromstahl
17 1 xx	Chromstahl + andere Elemente Mo, Al
17 2 xx	Chrom-Nickel-Stahl
17 3 xx	Chromnickelstahl + andere Elemente Ti, Nb, Mo, V, V, W
17 4 xx	Mangan-Chrom oder Mangan-Chrom-Nickelstahl
17 5 xx	Nickelstahl
17 6 xx	Manganstahl
17 7 xx	Mangan-Nickelstahl
17 8-9 xx	Spezielle Kombination von Elementen

Die vierte Ziffer gibt die Menge der Zusatzstoffe an. Die fünfte Ziffer drückt den steigenden C-Gehalt aus.

### Stahlklasse 19 - Werkzeugstahl

Numerische Markierung	Dritte Stelle in der Markierung
19 0 xx 19 1 xx 19 2 xx	Werkzeugkohlenstoffstahl
19 3 xx	Manganstahl
19 4 xx	Chromstahl
19 5 xx	Chrom-Molybdän-Stahl
19 6 xx	Nickelstahl
19 7 xx	Wolframstahl
19 8 xx	Schnellarbeitsstahl

Legierter Werkzeugstahl

Die vierte Ziffer zeigt die Kombination der Additive an. Die fünfte Ziffer gibt die Methode der Stahlerzeugung an.

## Stahlguss

Numerische Markierung	Bedeutung der dritten und vierten Stelle in der Marke
42 26 xx	Stahlguss - Kohlenstoff
42 27 xx	Stahlguss - niedrig- und mittellegiert, in Sandformen gegossen
42 28 xx	Stahlguss, niedrig- und mittellegiert, anders als in Sandformen gegossen, Stahl für Permanentmagnete
42 29 xx	Hochlegierter Stahlguss
<p>Die ersten beiden Ziffern - 42 zeigt den Stahlindustrie-Standard an.          Die zweiten beiden Ziffern zeigen die Gruppe der Stähle an.          Die dritten beiden Ziffern zeigen Folgendes an:          Kohlenstoffstahl - 00-29 - Stahl wird auf andere Weise als in Sandformen gegossen.          30 - 99: Wert der Zugfestigkeit in MPa          Legierter Stahl: Gruppen von Legierungselementen</p>	

Numerische Markierung	Erste zusätzliche Ziffer
1x xxx.0 x	Nicht wärmebehandelt
1x xxx. 1 x	Normalisiert und geglüht
1x xxx. 2 x	Normalisiert mit einer bestimmten Art des Glühens
1x xxx. 3 x	Weichgeglüht
1x xxx. 4 x	Gehärtet oder vergütet und angelassen
1x xxx. 5 x	Normalisiert und angelassen
1x xxx. 6 x	Verfeinert auf niedrigere Festigkeiten, die für bestimmte Stähle typisch sind.
1x xxx. 7 x	Raffiniert bis mittlere Festigkeit, typisch für spezifischen Stahl
1x xxx. 8 x	Verfeinert auf höhere Festigkeiten, die für bestimmte Stähle typisch sind.
1x xxx. 9 x	Wärmebehandlung, die nicht mit den Ziffern 0 - 8 beschrieben werden kann.
Die zweite zusätzliche Ziffer gibt den Grad der Umformmaterialien an.	

### 3.3. Graustich

Grauguss ist eine Mischung aus einem Stahlgrundwerkstoff, in dem Graphitflocken in verschiedene Richtungen dispergiert sind.

Die Form ist abhängig von der chemischen Zusammensetzung und der Abkühlgeschwindigkeit beim Gießen.

Die Gusseigenschaften werden durch die Größe und Verteilung der Späne beeinflusst.

Es kann mehrere Formen von Graphit geben: knackig, spider´s Griff, regelmäßig körnig oder unvollkommen körnig.

Die Verteilung des Graphits kann gleichmäßig sein, in der Rosette, kontrolliert, unkontrolliert, gemischt.

### 3.4. Formbarer Guss

Temperguss wird aus Grauguss durch sogenannte Impfung hergestellt. Dies bezieht sich auf die direkte Zugabe von Magnesium in die Gießpfanne mit geschmolzenem Guss.

Durch den Magnesiumzusatz werden aus Graphitflocken Kugeln - es kommt zur sogenannten Graphitkristallisation.

Eine solche Struktur wird als perlitisch bezeichnet. Mit dieser Struktur verändern sich die Eigenschaften des neuen Gussteils erheblich.

**Formbares Gussgefüge:** ferritisch, perlitisch, ferritisch-perlitisch, ferritisch-perlitisch, perlitisch-ferritisch

#### **Gehärteter Guss**

**Es wird durch Anlassen** - Langzeitglühen von Weißguss hergestellt, bei dem Zementit in Eisen und Graphit zerlegt wird.

Vergüteter Graphit wird in Form von unregelmäßigen Körnern eliminiert. Seine Anwesenheit beeinflusst die Eigenschaften von gehärtetem Gusseisen ähnlich wie Kugelgraphit in Temperguss.

In einigen Fällen hat Gusseisen eine höhere Schrumpfrate und eine schlechtere Auslenkung; daher ist es nicht für die Herstellung von großen Gussteilen (bis zu 100 kg) geeignet.

# 4. NICHTEISENMETALLE UND DEREN LEGIERUNGEN

## 4.1. Klassifizierung und Kennzeichnung von Nichteisenmetallen

Neben Eisenmetallen sind Nichteisenmetalle in der technischen Praxis unersetzlich oder schlecht ersetzbar.

Die meisten dieser Reinelemente haben nicht die Eigenschaften, die für den Bau von Maschinenteilen erforderlich sind. Sie sind Wärme- und elektrische Leiter, oxidationsbeständig (korrosionsbeständig), aber meist weich und zugfest.

### Klassifizierung von Nichteisenmetallen:

- Schwermetalle und deren Legierungen (Dichte über 5 kg/dm<sup>3</sup>),
- Leichte Nichteisenmetalle und deren Legierungen (Dichte bis 5kg/dm<sup>3</sup>).
  
- Numerische Kennzeichnung von Nichteisenmetallen und -legierungen
  - 42 x x x x x x x x - 42 zeigt die Metallurgieklasse an.
  - 42 3 x x x x x x - 3 zeigt Schwermetalle und deren Legierungen an.
  - 42 4 x x x x x x - 4 zeigt Leichtmetalle und deren Legierungen an.
  - 42 x x x x x x x - vierte Stelle 0, 2, 4, 6, 8 - Schmiedeerzeugnisse
  - 42 x x x x x x x - vierte Ziffer 1, 3, 5, 7, 9 - Gießereiprodukte
  - 42 x x x x x x x x -Schwer- oder Leichtmetalle
  - 42 x x x x x x x x - sechste Ziffer ist Ordnung
  - 42 x x x x x x x x. x x x - erste zusätzliche - Wärmebehandlung
  - 42 x x x x x x x x. x x x x -Gießverfahren im Falle des Gießens

## 4.2. Schwermetalle aus Nichteisenmetallen und deren Legierungen

### Zu den Schwermetallen gehören

- Blei,
- Nickel,
- Antimon,
- Zinn,
- Zink,
- Cadmium,

Der Hauptvertreter der Schwermetalle und auch der am häufigsten verwendete ist Kupfer und seine Legierungen.

## 4.3. Kupfer und Kupferlegierungen

- Schmelztemperatur 1083 °C.
- Dichte 8.96kg/dm<sup>3</sup>.

- + Es hat eine sechsmal höhere Wärme- und Stromleitfähigkeit als Stahl.
- + Hart im Nehmen.
- + Leicht zu schweißen und zu löten (sowohl Löten als auch Lötten ist möglich).
- + Korrosionsbeständig.
- Weich.
- erschwerte Bearbeitung durch Kupferweichheit.

### Klassifizierung von Kupfer:

- Kupfer für Formgebungszwecke - direkt verarbeitet
- Kupfer für Gießereizwecke - wird hauptsächlich für Legierungen verwendet.

### Kupferlegierungen:

- Kupferlegierungen für Umformungszwecke,
- Kupferlegierungen für Gießereizwecke.

## 4.4. Bronze

Bronze ist eine Legierung aus Kupfer und verschiedenen Nichteisenmetallen mit Ausnahme von Zink.

Bronze wird als Bronze für Formgebungszwecke und Bronze für Gießereizwecke klassifiziert.

**Es gibt mehrere Arten von Bronze, die auf dem Hauptlegierungselement basieren:**

- Zinnbronze - bis zu 20% Sn
- Rote Bronze - bis zu 10% Sn + Pb
- Bleibronze - bis zu 33%Pb + Sn
- Nickelbronze
- Aluminiumbronze

## 4.5. Messing

Messing ist eine Kupferlegierung mit Zink und anderen Metallen. Wenn Messing mehr als 80 % Cu enthält, spricht man von Tombak.

- **Am besten legiert:** 60 % Cu.
- **Die höchste Zugfestigkeit:** 70 % Cu.
- **Markierung:** Ms 70 - die Zahl drückt den Cu-Gehalt in % aus. (z.B. Ms 85, Ms 90 - tombac).
- Architekturmessing, z.B. Ms 63 Pb ist Messing mit Bleizusatz.

Gießereimessing ist mit Ms L 60 gekennzeichnet - wobei die Zahl % des Cu-Gehalts angibt.

## 4.6. Blei und seine Legierungen

- Dichte 11,34 kg/dm<sup>3</sup>,
- Die Schmelztemperatur beträgt 327 °C.

+ leicht zu legieren  
+ leicht zu bearbeiten (außer Feilen)  
+ korrosionsbeständig, chemikalienbeständig  
- Weich

## 4.7. Nickel und seine Legierungen

- Dichte 8,9 kg/dm<sup>3</sup>
- Schmelztemperatur 1453 °C,
- Seine elektrische Leitfähigkeit ist viermal niedriger als bei Kupfer x besser als bei Stahl.
- Leicht zu legieren, zu löten und zu schweißen
- Gute Korrosionsbeständigkeit.
- Ferromagnetisch bis zur Temperatur von 356 °C.
- Hitzebeständig bis 800 °C (+ Cr bis 1300 °C)
- Wird hauptsächlich als Legierungselement bei der Herstellung verschiedener Stahlsorten, insbesondere der Stahlklasse 17, verwendet.
- Zur Herstellung von Alkalibatterien, als positive Platte,
- Einsatz in der Lebensmittelindustrie, Chemieindustrie, Herstellung von chirurgischen Instrumenten
- Wird als Metallschutz gegen Korrosion (Vernickelung) eingesetzt.

## 4.8. Zink und seine Legierungen

- Dichte 7,13 kg/dm<sup>3</sup>,
- Schmelztemperatur 419 °C,
- Die elektrische Leitfähigkeit ist etwas höher als die von Nickel.
- Leicht zu legieren und zu löten.
- Mechanische Eigenschaften ändern sich bei Temperaturänderungen
  - spröde bei normaler Temperatur,
  - formbar bei einer Temperatur von 100 - 150 °C
  - bei 200 °C verliert es seine Verformbarkeit und ist spröde.
- Verschiedene Korrosionsbeständigkeiten.

Früher wurde Zink mit der gleichen Technologie hergestellt wie bei der Kupferherstellung. Derzeit wird Zink elektrolytisch hergestellt (99,9%).

## 4.9. Zinn und seine Legierungen

- Dichte 7,3 kg/dm<sup>3</sup>,
- Die Schmelztemperatur beträgt 232 °C,
- Relativ geringe elektrische Leitfähigkeit

- Korrosionsbeständig.
- Es gibt 2 Modifikationen:
- $\beta$  Änderung - die vorherrschende. Diese Modifikation wird als Weißzinn bezeichnet.
- $\alpha$  Änderung - auch Grauzinn (graues Pulver) genannt. Die Modifikation beginnt mit der Abkühlung auf die Temperatur von 13 °C.
- $\beta$ - $\alpha$  Transformation Zinnschädling.

## 4.I0. Kobalt

- Dichte 8,9 kg/dm<sup>3</sup>,
- Die Schmelztemperatur beträgt 1495 °C.
- Wird als Metallzusatz in Stahl verwendet,
- Erhöht die Feuerfestigkeit und Wärmeformbeständigkeit von Stahl bis zu den Temperaturen von 800 - 850 °C.
- Herstellung von Luftstrahl- und Raketenmotoren, Legierungselement für Schnellarbeitsstahl, Herstellung von Hartmetall

## 4.II. Wolfram

- Dichte 19,3 kg/dm<sup>3</sup>,
- Die Schmelztemperatur ist sehr hoch: 3380 °C.
- Relativ gute elektrische Leitfähigkeit (etwa doppelt so hoch wie Stahl).
- Zugfestigkeit 1100MPa.
- Hohe Härte - 200HB.

Herstellung von Bauteilen, die bei hohen Temperaturen arbeiten, Legierungselement für feuerfesten und hitzebeständigen Stahl, Bauteil aus Werkzeugstahl, Herstellung von Hartmetall, Produkte der Pulvermetallurgie.

## 4.I2. Molybdän

- Dichte 10,2 kg/dm<sup>3</sup>,
- Schmelztemperatur 2630 °C.
- Seine elektrische Leitfähigkeit ist niedriger als die von Wolfram.
- Stärke 700MPa
- Härte 150HB
- Erzeugt feuerfeste und hitzebeständige Legierungen.

- Legierungselement zur Herstellung von Stahlbauteilen bei hohen Temperaturen, Werkzeugstahl - zur Herstellung von hochwertigen Schneidwerkzeugen
- In der Pulvermetallurgie, zur Herstellung von thermisch und mechanisch beanspruchten Produkten.

### 4.13. Chrom

- Dichte 7,14 kg/dm<sup>3</sup>,
- Die Schmelztemperatur beträgt 1910 °C,
- Korrosionsbeständig, chemikalienbeständig.
- Es ist sowohl hitzebeständig als auch feuerfest.
- Spröde
- Legierungselement zur Herstellung von Bau-, Korrosions- und Werkzeugstahl.
- Stahlschutz gegen Korrosion.
- Dekorative Oberflächen im Automobilbereich.

### 4.14. Leichte Nichteisenmetalle und deren Legierungen

- **Aluminium** - Al und seine Legierungen
- **Titan** - Ti und seine Legierungen
- **Mangan** - Mg und seine Legierungen.

Sie werden sowohl bei der Herstellung von Stahl als auch von Nichteisenlegierungen eingesetzt und beeinflussen deren mechanische und andere Eigenschaften erheblich.

### 4.15. Aluminium und seine Legierungen

- Dichte 2,7kg/dm<sup>3</sup>,
- Gute Wärme- und Stromleitfähigkeit (60% Leitfähigkeit von Kupfer)
- Leicht zu formen und zu schweißen (+Si).
- Korrosionsbeständig, chemikalienbeständig.
- Umformen bei Temperaturen von 450 - 500 °C.
- Änderungen der mechanischen Eigenschaften =Al+Cu;Mg;Si;Mn;Zn.....

#### Produktion von Al

- Aluminiumgehalt in Erzen - über 8 %.
- Hergestellt fast ausschließlich aus dem sogenannten Bauxit.

- Chemisch - Aluminiumoxid  $Al_2O_3$ .
- Elektrolyse - Al von 99,3% - 99,8% Reinheit,
- Zonenveredelung - Al mit 99,999% Reinheit.
- Gießen Sie so genannte Schweine, Barren, Blöcke oder Platten ein.

## Klassifizierung von Al

- **Nach Anzahl der Schmelzvorgänge:**
  - **Das erste Schmelzen von Aluminium** - wird direkt aus dem Rohstoff gewonnen.
  - **Zweitschmelzen von Aluminium** - Umschmelzen von Aluminiumabfällen.
- **Durch seine Verwendung:**
  - Aluminium und seine Legierungen für Umformungszwecke
  - Aluminium und seine Legierungen für Gießerei- oder Metallurgiezwecke

## Aluminiumlegierungen für Umformungszwecke

- Die bekannteste Legierung: Al - Cu4 - Mg - Dural.
- Festigkeit im ausgehärteten Zustand - 400 MPa.

## Geringe Korrosionsbeständigkeit; daher wird es mit Aluminium beschichtet.

- Al - Cu4 - Mg1 - superdural

Stärke über 500MPa.

Beide Legierungen werden zur Herstellung von Stangenprofilen und Blechen verwendet, die in der Luftfahrtindustrie eingesetzt werden.

## Al + Cu + Ni

- Stabile mechanische Eigenschaften auch bei hohen Temperaturen.
- Festigkeit 400MPa
- Wird zur Herstellung von Komponenten für Verbrennungsmotoren, wie Kolben oder Kolbenstangen, verwendet.

## Al + Mg mit Mg-Gehalt von 2 bis 8 % - Hydronalium

- Korrosionsbeständig,
- Stärke über 400MPa
- Einsatz in der Luftfahrtindustrie

## Al + Mn

- Korrosionsbeständig
- Wird zur Herstellung von Behältern in der Lebensmittel- oder Chemieindustrie verwendet.

## Legierungen Al + Sn

- Herstellung von Gleitlagern. Al - Sn<sub>20</sub>,
- Verkleidet in Stahlgleitlagern in Form von dünnen Bändern, als Auskleidung.

## Aluminiumlegierungen für Gießereien

- Temperatur des geschmolzenen Metalls 700 - 750 °C.
- Sie werden in Sand- und Metallformen (Barrenformen) sowie in Druckguss gegossen.
- Legierungselement für diese Legierungen ist Si - Silizium.

## Silumin Al Si<sub>13</sub> - mit einer geringen Menge an Magnesium,

- Schmelztemperatur 577 °C,
- Von Na vor dem Gießen geimpft.
- Zur Herstellung von Flugzeugen oder Verbrennungsmotoren.

## 4.16. Magnesium und seine Legierungen

- Seine Dichte beträgt 1,74 kg/dm<sup>3</sup>.
- Geringe Wetterbeständigkeit.
- Extrem geringe Beständigkeit gegen Meerwasser.
- Mg hat eine hohe Affinität zu Sauerstoff und wird daher als Desoxidationsmittel, zum Schweißen in kontrollierter Atmosphäre CO<sub>2</sub> eingesetzt.
- Korrosionsschutz durch Chromatierung = Beizen in der Lösung von Kalium- oder Natriumdichromat - Beschichtung von Chromverbindungen.
- Das Schweißen von Mg-Legierungen ist schwierig.
- Lötten nicht möglich.
- Die Verbindung erfolgt meist durch Nieten.
- Magnesium kann aus Meerwasser zu 0,14% gewonnen werden.
- Weitere Rohstoffe: Magnesit und Dolomit.
- Es wird durch Elektrolyse bei Temperaturen von 700 - 750 °C oder durch Raffination oder silikothermische Reduktion von Dolomit durch Silizium bei einer Temperatur von 1200 °C hergestellt.

## 4.17. Magnesiumlegierungen

Magnesiumlegierungen sind immer mit Mangan, was ihre Korrosionsbeständigkeit und ihre Brennbarkeit verbessert.

**Elektron** Mg+3-10%Al+Zn+Mn.

- Dichte 1,8kg /dm<sup>3</sup>.

Bei der Bearbeitung von Magnesium ist ein guter Brandschutz erforderlich, da ein hohes Verbrennungsrisiko besteht, insbesondere wenn Staub aus dem Sand entsteht.

Mg-Legierungen sind leicht zu bearbeiten, die höchste Bearbeitungsgeschwindigkeit wird gewählt.

## 4.18. Titan - Ti

- Dichte 4,5kg/dm<sup>3</sup>
- Mechanische Eigenschaften ähnlich wie bei Stahl.
- Nicht magnetisch
- Hohe Korrosionsbeständigkeit.
- Beständig gegen Säuren und Laugen.
- Einfach zu schweißen durch Lichtbogen- und Widerstandsschweißen.
- Die Bearbeitung ist nicht ganz einfach.
- Behandelt durch Schmieden, Walzen zu Schmiedeteilen, Walzstahl und Blechen.
- Gute mechanische Eigenschaften von Titan und seinen Legierungen.
- Weit verbreitet in der Luftfahrtindustrie, im Gesundheitswesen (meist Knochenersatz).
- Einer der Nachteile ist der hohe Preis. Titan ist ein sehr wichtiges Legierungselement in der Stahlerzeugung. Die Festigkeit von Titanlegierungen ist höher als die von Reintitan.

### Titanlegierungen

$\alpha$  Legierungen enthalten immer Aluminium (bis zu 8 %). Ein weiteres Legierungselement ist Sn. Sie sind sehr einfach zu schweißen. Durch Schmieden werden z.B. Dampfturbinschaufeln aus ihnen hergestellt.

$\beta$  Legierungen enthalten Aluminium und andere Elemente, wie Cr, V, W, Mo, etc. Nach dem Aushärten beträgt die Festigkeit dieser Legierungen bis zu 1150 MPa. Sie werden zur Herstellung von Motorkomponenten, in der Luft- und Pharmaindustrie eingesetzt.

## 4.19. Sonderlegierungen von Nichteisenmetallen

Diese Legierungen werden zur Herstellung von Gleitlagern (ihrem Gleitteil) verwendet - zur Herstellung von Auskleidungen, zum Gießen von Gleitlagerpfannen und zur Herstellung von Loten.

Es gibt zwei Arten von Legierungen, die für die Herstellung von Gleitlagern verwendet werden - feuerfeste und leicht schmelzende Legierungen.

Feuerfeste Legierungen beinhalten Zinnbronze, Rotguss, Bleibronze und viele andere. Sie werden zur Herstellung von Gleitlagern und anderen Zwecken verwendet.

Legierungen, die nur zur Herstellung von Gleitlagern verwendet werden, werden als Zusammensetzungen bezeichnet. Zusammensetzungen sind Legierungen aus Nichteisenmetallen, wobei die Grundkomponente entweder Zinn oder Blei ist. Das sind Legierungen mit einem sehr guten Gleitreibungskoeffizienten.

- **Zinnzusammensetzungen** - die Grundkomponente ist Zinn (85%) und andere Metalle, wie Antimon Sb, bis zu 10% und Cu.
- **Bleizusammensetzungen** - Blei als Grundkomponente (75%) und Antimon bis zu 15% und Zinn bis zu 10%.

Lot ist eine Nichteisenmetall-Legierung, die als Zusatzmaterial für das Lötten von Materialien verwendet wird.

### Je nach Schmelztemperatur werden Löt- und Lötmittel unterschieden:

- Lot mit Schmelztemperatur bis 500 °C - Weichlot.
- Lot mit Schmelztemperatur über 500 °C (ca. bis 950 °C) - Hartlot.

**Weichlot ist Zinn - Bleilegierung, Zinn - Zink oder auch Kupferlegierung, Blei - Kupfer - Silberlegierung, etc.**

- Sn40Pb mit Schmelztemperatur 185-225 °C
- Sn70Zn mit Schmelztemperatur 200-320 °C.

### Hartlot

- Messinglot - zum Lötten von Stahl, Kupfer, Silberlot - zum Lötten von Kupfer, Bronze und Verbindungen in der Elektrotechnik.
- Ag45CuZn mit Schmelztemperatur 680-740 °C
- Ag28CuZnMnNi mit Schmelztemperatur 680-860 °C.

# 5. PULVERMETALLURGIE

## 5.1. Historie

- Herstellung von Werkzeugen und Waffen z.B. einiger afrikanischer Stämme.
- Die Verarbeitung bestand aus dem Mahlen von Erz und dem Entfernen von Gangarten.
- Es wurde zu Eisenschwamm, nachdem es in einem speziellen Ofen mit Holzkohle vermischt wurde.
- Nach der Nachvermahlung und Verfeinerung wurde das Pulver in einem geschlossenen Tontopf gesintert.
- 19. Jahrhundert in Russland - Geldprägung aus Platin (Schwammplatin verwendet)

## 5.2. Gründe für die Pulvermetallurgie

- Die Pulvermetallurgie ermöglicht es, Produkte mit besonderen Eigenschaften (z.B. hitzebeständig, abriebfest, etc.) herzustellen.
- Produkte mit hoher Porosität und Produkte, die den Übergang zu Verbundwerkstoffen darstellen, die mit anderen Technologien nicht hergestellt werden können.
- Die Pulvermetallurgie umfasst sowohl die Herstellung von Pulvern als auch deren Verdichtung (meist durch Pressen und Sintern) zu Baustoffen oder Bauteilen.

## 5.3. Pulver

- Pulver zeichnen sich durch physikalische (Verteilung und Größe der Partikel, Form und Morphologie der Oberfläche, Härte, etc.) und technologische Eigenschaften (Kompressibilität, Liquidität, Volumen, etc.) aus.
- Je nach Herstellungsverfahren kann es unterschiedliche Pulverformen geben: Kugel, Flocke, unregelmäßig, abgerundete Körner, etc.)
- Pulver können mit physikalischen, physikalisch-chemischen, chemischen oder elektrochemischen Methoden hergestellt werden.
- Aus wirtschaftlicher Sicht ist der wichtigste Faktor der Pulverpreis.
- Entsprechende modifizierte Pulver werden in der Regel in eine gewünschte Form gepresst; die erhaltene Form wird dann durch Sintern verarbeitet, so dass die erforderlichen physikalischen und mechanischen Eigenschaften erreicht werden.
- Der größte Vorteil der Pulvertechnologie ist der Einsatz von Metall mit geringerem Energieverbrauch, niedrigeren Arbeits- und Kostenaufwand und einer sauberen Umwelt. Ein weiterer Vorteil ist die Isotropie der mechanischen Eigenschaften.

## Herstellungsverfahren der Pulvermetallurgie

### Der Produktionsprozess besteht aus mehreren Stufen:

- Pulverproduktion
- Pulvermodifikation
- Pressen
- Sinterung von Pulverpressteilen
- Veredelungsprodukte

## 5.4. Mit Hilfe der Pulvermetallurgie-Technologie

### Diese Technologie wird eingesetzt, wenn

- es ist nicht möglich, die gegebenen Materialien mit einer anderen Technologie zu verarbeiten, z.B. beim Fügen von Bauteilen, die nicht verschmelzen.
- Diese Technologie ist wirtschaftlicher als die anderen, z.B. bei der Verarbeitung von Materialien mit hohem Schmelzpunkt oder bei der Serienfertigung von Kleinteilen.
- Diese Technologie zeigt bessere Ergebnisse als die anderen Technologien, z.B. bei hohen Anforderungen an die Materialreinheit, die genaue chemische Zusammensetzung oder die Anforderung an die spezielle Struktur (Porosität).

### Nachteile der Pulvermetallurgie

- niedrigere Dichte und die damit verbundene Festigkeit und Zähigkeit der hergestellten Werkstoffe
- hoher Preis der Maschinen.

### Verdichtung von Metallpulvern

- Die Größe der Kontaktfläche von Pulvermetallteilchen hängt vom Grad und der Qualität der Bindung zwischen den einzelnen Teilchen ab - vom Grad der Verfestigung.
- Bei einem vollverdichteten Körper sind alle Pulverpartikel auf der gesamten Oberfläche in vollem Kontakt (wie bei festen Körpern); im losen Zustand berühren sich die Partikel jedoch nur in einem kleinen Teil der Gesamtfläche aller Partikel.
- Die Werte der physikalischen und mechanischen Eigenschaften steigen mit zunehmender Kontaktfläche der Partikel.

- Der Grad der Pulverkörperverfestigung wird in der Regel durch einwirkende Druckkräfte oder Sinterung erhöht, in den meisten Fällen durch beide Verfahren.

## Pressen

- Der Pulvermetallkörper weist ein Volumen von sowohl festen Partikeln als auch Lücken (Poren) auf.
- Das Porenvolumen hängt von der Art des Pressens und der Größe des Pressdrucks ab. Beim Verdichten des Pulvers im Werkzeughohlraum wirken sowohl die äußere (zwischen dem Pulvermaterial und der Wand des Pressformhohlraums) als auch die innere Reibung (Reibung zwischen den Partikeln).
- Reibung, die durch den Einsatz von Schmierstoffen reduziert werden kann, führt zu einer ungleichmäßigen Verteilung der Dichte in der Presse.
- Durch die Druckrichtung wird das Pressen in einseitige, bilaterale und isostatische Pressen unterteilt.
- Bei einseitigem Pressen liegt die höchste Dichte im Bereich unterhalb des Stempels, bei beidseitigem Pressen die niedrigste Dichte im Zentrum der Presse.
- Beim isostatischen Pressen wird die äußere Reibung eliminiert und das Produkt zeigt eine gleichmäßige Dichte.
- Sintern.
- Das Pressen und Sintern kann mehrmals wiederholt werden, um die Porosität zu reduzieren.
- Der Pressdruck liegt zwischen 50 - 1800 MPa, die Porosität beträgt 50 - 8 %.
- Zum Pressen werden mechanische oder hydraulische Pressen eingesetzt.

## Walzen

Das Walzen wird zur Herstellung von Halbfabrikaten in Form von Bändern, Stangen, Platten usw. eingesetzt. Das Pulver wird sanft aus dem Förderer in den Spalt zwischen den Zylindern gefördert, wo es durch Reibungskräfte getragen und durch den Druck der Zylinder komprimiert wird. Das Prinzip ist in der Abbildung dargestellt. Das relativ starke und flexible Band wird zum Sinterofen geführt. Das Walzen und Sintern kann je nach gewünschter Dichte mehrmals wiederholt werden. Durch eine geeignete Trichterkonstruktion können mehrschichtige Halbfabrikate hergestellt werden.

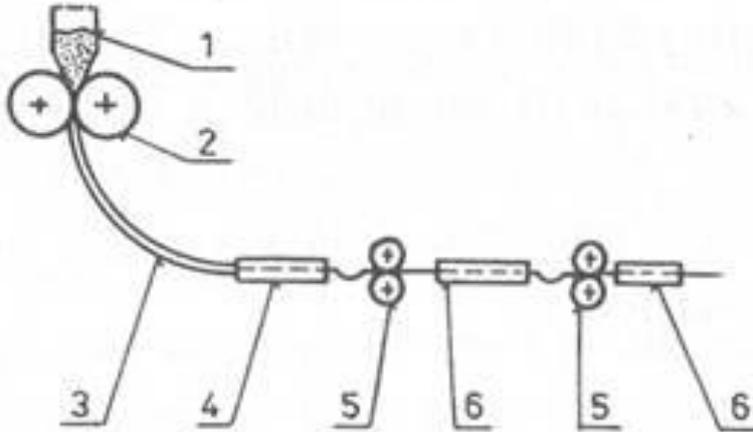


Diagramm der Halbzeugherstellung durch Walzen von Metallpulvern

1 - Trichter, 2 - Zweizylinderkomponente, 3 - Schlitten, 4 - Sinterofen, 5 - Zweizylinderkomponente, 6 - Glühofen

### Schmieden

- Das Schmieden wird verwendet, um bessere mechanische Eigenschaften zu erreichen und die Restporosität zu eliminieren.
- Das Ausgangshalbzeug kann entweder ein Pressen sein, das während des Erwärms auf die Umformtemperatur sintert, oder ein Sinterhalbzeug, das direkt nach der Entnahme aus dem Sinterofen vergossen werden kann.
- Das Freischmieden wird hauptsächlich für große Halbzeuge eingesetzt, das Gesenkschmieden

für Produkte mit hohen Präzisionsanforderungen. Es werden relativ kleine Verformungen gewählt.

## 5.5. Spezielle Konsolidierungsmethoden

- Das Heißpressen, das sowohl Pressen als auch Sintern beinhaltet, ermöglicht es, die volle Dichte der Pressteile zu erreichen.
- Das Pulver wird bei relativ niedrigem Druck und Temperaturen von fast 2500 °C unter kontrollierter Atmosphäre, Vakuum oder Luft gepresst.
- Die isostatische Kaltpressung ist für komplexe Produkte geeignet. Das vibrationsverdichtete Pulver wird in einer dünnen elastischen Hülle verschlossen und einem allmählichen hydrostatischen Druck der Flüssigkeit (bis zu 600 MPa) ausgesetzt.
- Der Vorteil liegt in der hohen Dichte und den isotropen Eigenschaften. Isostatisches Heißpressen ist geeignet, um einen porenfreien Zustand zu erreichen.

- Das Pulver im Metallbehälter wird unter Druck und Temperatur gesetzt. Als Druckmedium wird Argon verwendet.
- Das Heißpressen wird hauptsächlich für AL, Mg, Ag, etc. verwendet.
- In Sonderfällen können hydroimpulsive Pressung, Magnetfeldpressung, Sprengpressen, Spritzgießen, Extrusion, Gießen, Gefrierguss, Technologie des Hochdrucks, etc. eingesetzt werden.

## Sinterung

- Das Sintern ist ein Verfahren zur Wärmebehandlung von verdichteten Partikeln oder Pulverpressen, bei dem das poröse Pressen unter dem Einfluss von Temperatur und Druck zu einem kompakten Körper wird.
- Die Gesamtkontaktfläche der Partikel wird vergrößert, die Porosität wird reduziert, die physikalischen und mechanischen Eigenschaften werden verbessert, es kommt zu Volumenschwund.
- Die Sintertemperatur liegt zwischen 0,6 - 0,9 der Schmelztemperatur.
- Das Sintern kann unter Normaldruck oder unter Einwirkung externer Kräfte erfolgen. Das Sintern erfolgt in Elektroöfen mit kontrollierter Atmosphäre (Reduktions- oder Schutzgase, Vakuum).
- Die wichtigsten Sinterparameter sind Temperatur, Sinterzeit und kontrollierte Atmosphäre.