

# Fertigungsverfahren 1

## Toleranzen

Die Wahl der Toleranzen richtet sich nach:

- Funktion und Betriebssicherheit
- Erfordernissen der wirtschaftlichen Fertigung

## Auslesepaarungen

Es gibt beiderseitige und einseitige Auslesepaarungen

Prinzip: Fertigen mit weiten Toleranzen. Durch anschließende Auslesepaarung enge Toleranzen erreichbar.

Vorteil:

- relative große Fertigungstoleranzen zulässig (Kostensparnis)

Nachteil:

- jedes Teil muss gemessen werden
- Teile nur bedingt austauschbar

## Flächenschluss

Aufgabe: Fläche in Teilflächen möglichst ohne Verschnitt zerlegen

Ziel: Optimale Werkstoffausnutzung mit möglichst wenigen Trennschnitten (Kostensparnis)

## Gießen

Vorteile:

- Formgebung in einem Schritt
- gute Materialausnutzung
- freiere Gestaltungsmöglichkeit als bei allen anderen Fertigungsverfahren

Schwindung: thermisch bedingte Volumenreduktion in der festen oder flüssigen Phase

Schrumpf: Volumenreduktion beim Phasenübergang von flüssig nach fest

Folgen: Schwindung in der flüssigen Phase durch Materialzugabe (Speiser) ausgleichen  
Schwindung in der festen Phase durch Aufmaß ausgleichen

Hauptverfahrensgruppen des Gießens

- Gießen in verlorene Formen mit verlorenen Modellen
- Gießen in verlorene Formen mit Dauermodellen
- Gießen in Dauerformen ohne Modell

## **Gießen in verlorene Formen mit verlorenen Modellen**

- Modelle aus Polystyrol (aus Platten aufgebaut)

## Geschäumte Modelle

Herstellung:

1. Granulat in Metallform
2. Aufschäumen mit Heißdampf

3. unter Druck legen sich die expandierenden Schaumkugeln an die Metallwand

Vorteil:

- glatte Metallwand durch geschlossenzelligen Schaum
- geringe Schaumdichte = leicht ! Kann für große Modelle verwendet werden

Nachteil:

- Modell brennt beim Gießen weg, deswegen nur einmal einsetzbar

### Vollformguss

Schaumstoffmodell

Vorteile:

- Einformen schnell und einfach
- keine Entformungsproblematik
- keine Kerne notwendig
- einteilige Modelle führen zu gratfreien Bauteilen
- geringe Kosten für die Modelle

Nachteile:

- Oberflächengüte nicht sehr hoch
- umweltbelastend

Einsatz:

- Prototypen
- Ersatzteilbedarf
- Einzelfertigung großer Teile

### Feingießen (Wachsausschmelzverfahren)

- Herstellung der verlorenen Modelle (aus Wachs auf Spritzgussmaschine)
- Aufbau der Modelltraube
- Eintauchen in eine Bindeemulsion, um Grundlage zum Besanden zu schaffen
- Besanden der Modelltraube
- Aufbau einer hinreichend dicken Sandschicht durch mehrmaliges Feuchten und Besanden
- Ausschmelzen des Modellwachses
- Brennen der Keramikform
- Abgießen
- Trennen der Feingussstücke vom Angussystem
- Strahlen der Teile

Vorteile:

- gratfreie Teile
- Oberflächenqualitäten 10-35 µm
- Gussteile mit komplizierten geometrischen Strukturen darstellbar
- Integration von mehreren Teilen in ein Gussteil (Entfall der Montage)

### **Gießen in verlorene Formen mit Dauermodellen**

#### Maskenformverfahren (Croningverfahren)

- Metallmodellplatte aufheizen (250°C)
- Kunstharzhaltigen Formsand aufgeben
- Kunstharz schmilzt und verklebt Formsand zu fester Kruste
- wenn Aufschmelzprozess zum Erliegen kommt, überschüssigen Formsand abkippen
- Form aushärten

- Form von Modell abheben
- Formen zusammenkleben
- in Gießbett ausgießen

**Vorteile:**

- gute Gasdurchlässigkeit der Maske
- gutes Formfüllverhalten
- trockene Maskenform
- gleichmäßige Abkühlung des Gussteils
- erreichbare Rauhtiefe 30-60 µm
- keine harte, beim Spanen verschleißwirkende Gusshaut

**Nachteile:**

- teure Anlagen
- hohe Energiekosten
- nur bei großen Stückzahlen wirtschaftlich

**Gießen in Dauerformen ohne Modell**Kokillenguss (Schwerkraftguss)

- bessere Maßhaltigkeit als Sandguss
- bessere Oberfläche
- gute Automatisierung
- nur bei großen Stückzahlen wirtschaftlich

Druckgießen**Merkmale:**

- Formfüllzeiten 0,02 - 0,2 s
- Einspritzgeschwindigkeiten bis 90 m/s
- geringe Wanddicken
- komplizierte Geometrien
- geringe Oberflächenrauigkeiten
- hohe Maßgenauigkeit
- weitgehend nacharbeitsfrei
- hohe Produktivität
- teure Maschinen und Werkzeuge

Warmkammerverfahren

- Einspritzdrücke 20-200 bar
- bis zu 1000 Schüsse pro Stunde
- gut automatisierbar
- nur Materialien mit geringem Schmelzpunkt ( $T_s$ ) verarbeitbar Zn/Sn/Pb

Kaltkammerverfahren

- Einspritzdrücke 200-2500 bar
- Materialien mit hohem Schmelzpunkt einsetzbar Cu/Al/Mg
- nur 30-180 Teile pro Stunde

**Schleuderguss**HorizontalschleudergussVertikalschleuderguss (Zentrifuge)**Charakteristische Merkmale des Schleudergusses:**

- man kommt zu Teilen hoher Dichte (Zentrifugalkraft)
- Entfall von Speisern (Reduzierung des Materials)
- gute Formabbildung durch hohen Forminnendruck

- Zentrifugeneffekt führt zu Entmischung von Metall und Schlacke, Schlacke sammelt sich im Rotationszentrum
- Legierungen mit schlechtem Fließvermögen lassen sich verarbeiten
- rotationssymmetrische Teile lassen sich ohne Kern herstellen

## **Stranggussverfahren**

Vorteile:

- große Gießleistung
- feinkörniges, dichtes Gefüge
- große Dichtigkeit und gleichmäßige Härte

## **Verfahren der Kernherstellung**

### Hot-Box-Verfahren (wird heute nicht mehr angewand)

- Einfüllen des kunstharzhaltigen Formstoffs in beheizte Metallformen
- Formtemperatur 180° - 250°C
- Kunstharz härtet in der Randschicht im Werkzeug aus
- Restaushärtung außerhalb der Form

Vorteile:

- Entformung nach Randaushärtung möglich
- kurze Taktzeit
- gute Lagerfähigkeit der Kerne
- gute Entlüftungseigenschaften
- hohe Festigkeit
- gute Zerfallseigenschaften nach dem Gießen

Nachteile:

- hoher Energiebedarf
- Schadstoffemissionen bei Aushärten
- hohe Werkzeugkosten wegen Beheizung

### Cold-Box-Verfahren (Kern-schießen)

Vorteile:

- Aushärten bei Umgebungstemperatur
- dicke Querschnitte lassen sich härten
- extrem kurze Taktzeiten
- geringer Energiebedarf

## **Formstoffe**

Anforderungen an Formstoffe

- gute Abbildungseigenschaften
- gutes Fließvermögen
- Temperaturbeständigkeit
- hohe Druckfestigkeit nach Formprozess
- geringe Haftung am Modell
- gasdurchlässig
- wiederverwendbar

Zusammensetzung der Formstoffe

- Formsande
  - Quarzsand
  - Schamotte

- Binder
  - Silikatbinder
    - feuerfeste Tone (Bentonite)
    - Zement
  - Kunstharzbinder
    - Phenol-, Furanharze
- Formstoffzusätze
  - Kohlestaubhaltige Schichten

#### Veränderungen des Formstoffs beim Gießen

- Binder verliert Bindefähigkeit
- der feinkörnige Anteil des Formsandes nimmt zu
- Wassergehalt ändert sich
- formstofffremde Verunreinigungen

#### Aufgabe der Formstoffaufbereitung

- Sand kühlen
- Metallreste entfernen
- Entstauben
- Altsand durch Zugabe von Neusand, Binder, Wasser und Formstoffzusätzen regenerieren
- intensives Mischen
- auflockern

#### Trenneinrichtungen für Sand und Guss

- Schwingroste
- Ausdrückmaschinen + Schwingroste
- Auspacktrommel (rotiert und hat Lochblech)

#### Maschinenformen

- Formstoff maschinell dosieren
- Formstoff verdichten
- Trennen der fertigen Formen

### **Schmelztechnik Gießereibetriebe**

#### Kupolofen

##### Vorteile:

- hoher thermischer Wirkungsgrad
- kontinuierliches Abstechen möglich

##### Nachteile:

- max. Schmelztemperatur 1500-1550 °C
- Aufkohlung des schmelzenden Materials
- keine schnelle Regelmöglichkeit der Flüssigkeitsmenge

#### Induktionsofen

##### Vorteile:

- Kaltanfahren möglich
- intensive Badbewegung durch magn. Kraftfelder
- gute Durchmischung und schnelles Auflösen der Legierungskomponenten
- geringe Verluste durch metall. Abbrände
- schnelle Regelmöglichkeit der Temperatur

##### Nachteile:

- kein kontinuierliches Abnehmen der Schmelze möglich
- empfindliche Keramiktiegel

## Lichtbogenofen

### Vorteile:

- hohe Temperatur im Lichtbogen 3000-4000 °C
- robuste Anlage

### Nachteile:

- keine Badbewegung
- kein kontinuierliches Entnehmen möglich

## **Sintern (Pulvermetallurgie)**

Verfahrenstechnik zur Herstellung von Teilen aus metallischen Pulvern

### Prozessschritte:

- Pulvererzeugung
- Formpresstechnik
- Sintertechnik

## **Pulvererzeugung**

Korngrößenbereich: 0,1µm - 1mm

### Höganäs-Verfahren

- Reduktion von Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )
- Reduktionsgas CO
- Temperatur im Reaktor 1150°C
- Kalk zur Entschwefelung
- Verweilzeit im Reaktor 2-4 Tage

Ausgangsprodukt: Roheisenschwamm

#### Cu-Abscheidung

- Cu-Sulfat-Lösung  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ -Ionen, Kupferanode als "Opferanode"
- Kupferionen nehmen an der Kathode Elektronen auf und scheiden sich als Cu-Atome auf Kathode ab
- da Ionenkonzentration in der Lösung konstant bleibt, geht an Anode metallisches Cu in Lösung

### Cold-Stream-Verfahren

- vorzerkleinerter Werkstoffpartikel wird durch Venturidüse beschleunigt und auf Hartmetallplatte geschossen
- Abkühleffekt durch expandierende Luft versprüdet Material
- Sprödbruch der Partikel

## **Verarbeitung der Pulver zu Formteilen**

### Koaxiales Pressen

- Es entstehen gratarme Teile
- geringer Materialverlust

### Pulververdichtungsverfahren

#### Einseitiges Pressen

- ungleichmäßiges Verdichten

- Verdichtung nur im stempelnahen Bereich gut
- Zweiseitiges Pressen
- symmetrische Verdichtung
  - pressneutrale Zone in der Bauteilmitte

### Füllraumberechnung

benötigte Größen:

- Bauteilhöhe
- Schüttdichte
- Zieldichte

Füllfaktor  $q = \text{Dichte des gepressten Körpers} / \text{Dichte des Pulvers}$

### Isostatisches Pressen

Vorteile

- gleichmäßige Druckbeaufschlagung von allen Seiten
- Teilgröße lediglich durch Druckkammergröße beschränkt

Nachteile:

- lange Taktzeiten, bedingt durch die Druckaufbauzeiten
- große Toleranzen an den Flächen, die von der gummielastischen Haut gebildet werden

### **Sinterprozess**

- Wärmebehandlung bei Temperaturen weit unterhalb des Schmelzpunktes des Grundwerkstoffes (Eisenwerkstoffe ca. 1150-1200°C)
- Diffusionsvorgänge in Metallgitter zwischen sich berührenden Teilchen
- Aufgrund der erhöhten Atombeweglichkeit kommt es zu Platzwechselfvorgängen im Kristallgitter benachbarter Teilchen
- Behandlungszeiten 30-120 min
- Schmutzgasbeaufschlagung um Oxidation zu verhindern

Nachpressen/Kalibrieren von Sinterteilen:

- Verbesserung der Oberflächengüte und Maßgenauigkeit
- Steigerung der Festigkeit durch Kaltverformung

### Prozessparameter der Sinterfertigung

- Pulverkorngröße
  - möglichst Pulver mit ähnlicher Teilchengröße einsetzen
  - je enger teilchengrößentoleranz, je teurer die Pulver
- Pressdruck
- Sintertemperatur möglichst hoch, aber dass Teile die Form nicht verlieren
- Sinterdauer

### **Umformtechnik**

Vorteile der Umformtechnik:

- hohe Mengenleistung
- kurze Stückzeiten
- geringer Materialverlust
- geringe Lohnkosten je Werkstück

Nachteile:

- nicht für alle Werkstoffe einsetzbar
- hohes Invest für Maschinen und Werkzeug
- herstellbare Geometrien unterliegen Einschränkungen

Fließspannung markiert die Spannung, die in jedem Augenblick der Umformung zur Einleitung oder Aufrechterhaltung des plastischen Fließens aufgebracht werden muss. Bei der Fließkurve ist die Fließspannung auf den aktuellen Querschnitt bezogen.

### Effekte der Wärmebehandlung

- Kristallerholung
  - Gitterfehler reduzieren sich
  - Platzwechselfvorgänge im Atomgitter
  - keine Korngrößenveränderung
- Rekristallisation
  - Bildung neuer Korngrenzen
  - Bildung neuer Kristalle
  - Umformtextur bildet sich zurück
  - Eigenspannungen werden abgebaut

### Definition der Warmumformung:

Rekristallisationsgeschwindigkeit ist größer als Umformgeschwindigkeit  
gleichzeitig wirkende Mechanismen:

- Verfestigung des Werkstoffes bei der Umformung
- Entfestigung durch Rekristallisation

### Kaltumformung

Vorteile:

- kein Energieaufwand für Erwärmung
- geringe Werkzeugkosten
- keine Werkstoffverluste und Nachbehandlungen durch Zunderbildung
- keine Maßfehler durch Schwindung
- bessere Oberflächengüte
- Festigkeitssteigerung des Bauteils

Nachteile:

- größer Kraft- und Arbeitsbedarf
- begrenztes Umformvermögen

Bezogene Dehnung = dimensionsloses Verhältnis: Längenänderung / Ausgangslänge

Logarithmische Dehnung = Umformgrad =  $\ln[h_1/h_0]$

Umformgrad > 0 = Dehnung

Umformgrad < 0 = Stauchung

## **Stauchverfahren**

### **Kaltstauchen**

- glatte Oberflächen
- hohe Maßgenauigkeit (IT12)
- Festigkeitssteigerung durch die Kaltverfestigung

### Verfahrensgrenzen des Kaltstauchens

maximaler Stauchgrad  $\varphi_{\max}$

- werkstoffabhängige Größe
- gibt Grenzen des Formänderungsvermögens an
- $\varphi_{\max \text{ Al}} = 2,5$
- $\varphi_{\max \text{ St}} = 0,7 - 1,5$

maximales Stauchverhältnis

- $s=l_0/d_0$
- s gibt Grenze gegen Ausknicken an
- s keine werkstoffabhängige Größe
- Sicherheit gegen Ausknicken  $s < 2,3$  (Vorstauchen gegen Knickung !)
- zulässige Werkzeugbeanspruchung

### **Warmstauchen**

- kleinere Umformkräfte
- Teile komplizierter Geometrien herstellbar
- schlechte Oberflächen (Zunder)
- geringe Maßgenauigkeit

Freies Stauchen

Beeinflussung der Ausbauchung

- Schmierung der Stauchbahn
- Kontuierung der Stauchbahn

### **Elektrostauchen**

- schnelles Aufheizen
- lokal begrenztes Aufheizen
- lokal begrenzte Verformung
- geringe Verzunderungsgefahr
- exakte, dynamische Temperaturregelung
- keine Festigkeitssteigerung im warmgeformten Bereich

Oberflächenbehandlung vor dem Umformen:

#### Beizen

- um oxydische Überzüge zu beseitigen
- ergibt metallisch reine Oberflächen
- Beizmittel: verdünnte Säuren

#### Phosphation

Phosphat (Zinkphosphat) dringt aufgrund der Kapillarwirkung in das Metallgefüge ein, bildet dort Salze, die sich in dem Metall verankern.

Poröse Oberfläche hat hohes Aufnahmevermögen für Schmierstoffe

- Trennschicht gegen direkten metallischen Kontakt von Werkstück und Werkzeug
- Schichtdicken 5-15 $\mu$ m

#### Schmierer

Aufgabe der Schmiermittel:

- metallischen Kontakt vermeiden
- Reibung vermindern
- Kühlen bei hohen Umformgeschwindigkeiten

Schmiermittel:

geringe Anforderungen

- Seifen, Wachse

mittlere Anforderungen

- Mineralöle (temperaturstabil bis 200°C)

hohe Anforderungen

- Molybdändisulfid (temperaturstabil bis 400°C)

## Schmieden

### Ringschmieden

### Gesenkschmieden

#### Formpressen mit Grat

- Schmiederohling mit Volumenüberschuss
- Überschussvolumen fließt über Gratbahn ab
- Gratbahn stellt hohen Strömungswiderstand dar, Forminnendruck steigt an und Form wird konturgetreu gefüllt.

Gratbahnverhältnis:  $b/s$  (Gratbahnbreite/Spalthöhe)  
charakterisiert Werkzeuginnendruck und Materialbedarf

$b/s$  groß:

- hoher Forminnendruck
- hoher Fließwiderstand
- große Werkzeugbeanspruchung
- geringer Materialbedarf

Arbeitsschritte beim Gesenkschmieden

- Masse verteilen
  - Querschnittsverlauf im Vorformteil dem Fertigteil anpassen
- Biegen
  - Geometrieanpassung
- Querschnittsvorbildung
  - Vorform so, dass höhere und schmalere Querschnitte erreicht werden
- Endformen
  - Werkstoff legt sich ohne nennenswertes Gleiten an die Gravurwand

#### Formpressen ohne Grat

Vorteile:

- Werkstoffeinsparung
- Wegfall des Abgratens
- geringere Umformkräfte

Nachteile:

- Volumenkonstanz erforderlich, Toleranz ca. 0,5-1 %
- genaue Positionierung in der Gravur erforderlich
- sorgfältige Massenverteilung nötig

## Fließpressen

Vorteile:

- optimale Werkstoffausnutzung
- geringe Materialkosten
- hohe Mengenleistung
- Taktzeiten je nach Bauteilgröße 0,5-10sec
- hohe reproduzierbare Maß- und Formgenauigkeit
- gute Oberfläche
- Verbesserung der Werkstoffeigenschaften durch Kaltverfestigung

Stempelkraft beim Fließpressen ist abhängig von:

- Umformgrad
- Werkstückstoff
- Matrizenöffnungswinkel
- Rohteilabmessungen ( $b_0/d_0$ )
- Schmierungszustand

## Querfließpressen

- Teile mit Flanschen und Bunde herstellbar
- Anordnung seitlicher Formelemente möglich
- Komplizierte Werkzeugbewegungen (beidseitige Schließbewegung)
- geringere ehrtragbare Werkzeuginnendrucke, max 1300 N/mm<sup>2</sup>

Verfahrenskombinationen

## Biegen

Rückfedereffekt (Rückfederverhältnis)

Minimaler Biegeradius

Neutrale Faser: Zone im Bauteil die bei Biegung keine Längenänderung erfährt.

Ermittlung der abgewickelten Länge

Bestimmung der Biegekraft

Freies Biegen = weggesteuert:

- mehrere Winkel sind in einem Gesenk herstellbar
- Blechdickenschwankungen wirken sich auf Biegewinkel aus

Gesenkbiegen = kraftgesteuert:

- enge Toleranzen des Biegewinkels
- jeder Biegewinkel erfordert neue Gravur

## Tiefziehen

Tiefziehen ist das Zugdruckformen eines einseitig offenen Hohlkörpers ohne gewollte Veränderung der Blechdicke

Im Flanschrand entstehen:

Radial wirkende Zugspannungen

- maximal an Ziehkante
- fallen nach außen auf 0 ab

Tangentiale Druckspannungen

- minimal an Ziehringkante
- nach außen ansteigend
- verstärken Tendenz zur Faltenbildung

Ziehverhältnis  $\beta = \text{Rondendurchmesser} / \text{Ziehstempeldurchmesser}$

Grenzziehverhältnis gibt an bei welchem  $\beta$  es gerade noch nicht zu einem Bodenreißer kommt.

Grenzziehverhältnis abhängig von:

- Materialeigenschaften
- Schmierzustand
- Ziehringradius
- Stempelspitzenradius

## **Berechnungen**

1. Gießen:
  - Schwund
  - Speiser-Volumen
  - Auftriebskraft
  
2. Sintern:
  - Füllhöhe, Schüttdichte, Zieldichte
  
3. Stauchen:
  - Umformgrad
  - Stauchverhältnis
  - Umformgeschwindigkeit
  - Stauchkraft
  - Antriebsleistung
  
4. Schmieden:
  - Werkzeuginnendruck, projizierte Pressfläche, Presskraft
  - Presskraft-Nomogramm
  
5. Biegen:
  - Rückfedern, Biegewinkel, Stempel-Arbeitsweg (-hub)
  - Biegeradius
  - gestreckte Länge, Anschlagposition
  - Biegemoment, Umformkraft, Verformungsarbeit (-leistung)
  
6. Tiefziehen:
  - Ringspannung
  - Ziehhöhe, Materialvolumen
  - Ziehverhältnis, Stempeldurchmesser, Rondendurchmesser (-zuschnitt)