

Metal Injection Molding – Mehr als nur ein Produktionsverfahren – eine Technologie mit Zukunft

Metal Injection Molding – Inhaltsverzeichnis

1. Wer sind wir?
2. Feedstockerstellung
3. Spritzen des Feedstockes
4. Entbindern des Bauteils
5. Sintern des Bauteils
6. Nachbearbeitung
7. Zusammenfassung – Technologie mit Zukunft

Wer sind wir?

- Gegründet in Mannheim 1863
- über **160 Jahre Erfahrung** in Chemie Distribution
- **Mitglied der Hugo Häffner Gruppe** seit 1998
- **Vielfältiges Produktsortiment** mit über 600 ausgewählten Chemikalien
- Flexible Abfülllösungen von 1 kg bis 1.000 kg für feste und flüssige Stoffe
- **Starke Marktpräsenz im europäischen Raum**
- Langjähriger, verlässlicher **Partner der BASF**

- **Team Metallsysteme:** Vertrieb des Feedstocks Catamold® sowie Carbonyleisenpulver

Metal Injection Molding – Beispiele

Bereiche:

- Medizintechnik
- Konsumgüter/ Luxus
- Industrie
- Flugzeuge
- Waffen/ Militärbereich

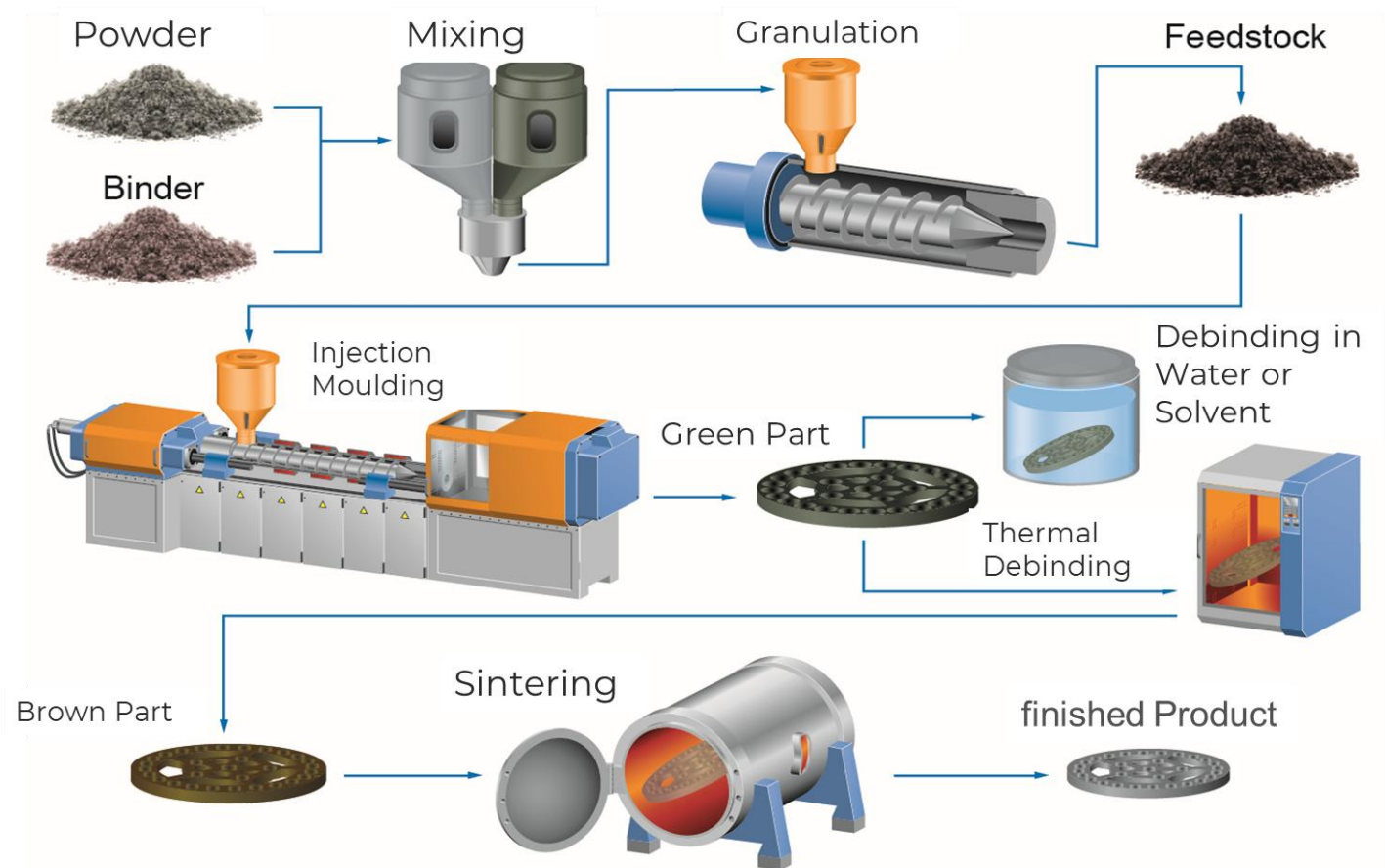


Metal Injection Molding – Übersicht Ablauf

Metal Injection Molding (Übersicht mit KI)

„(MIM), auf Deutsch Metallpulverspritzguss, ist ein **Fertigungsverfahren zur Herstellung** komplexer, hochfester Metallbauteile in großen Serien.

Es kombiniert die Designfreiheit des Kunststoffspritzgusses mit der Festigkeit von Metallen, indem ein Gemisch aus Metallpulver und Bindemittel (Feedstock) spritzgegossen, anschließend entbindert und gesintert wird.“



Erstellen eines Feedstocks – Aufbau

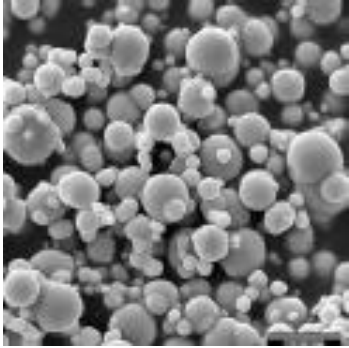


Image courtesy of BASF

Metallpulver:

- Feine Pulver, <math><40\mu\text{m}</math>
- Kugelförmig, nicht porös,
- Geringe und gleichmäßige Schwindung,
- Hohe Dichte
- Geringen Verschleiß, hohe Festigkeit nach dem Spritzgießen
- Glatte Bauteiloberflächen
- Verwendung von Carbonyleisenpulver (CIP) oder Recyclingmaterial



Image courtesy of BASF

Primäres Bindemittel:

- Medium, um Metallpulver zum „Fließen“ zu bringen
- z.B. POM, Wachse oder andere Thermoplaste
- Wird beim Entbindern entfernt

Erstellen eines Feedstocks – Aufbau



Image courtesy of BASF

Sekundäres Bindemittel:

- Bildet Brücken zwischen Pulverpartikeln für Stabilität während der Entbinderung
- z.B. PE/PA
- Thermisch zersetzbar
- Bleibt bis zum Beginn des Sinterns, sorgt für Festigkeit im Teil
- Wird in einem Entbinderungsschritt während des Sinterns entfernt



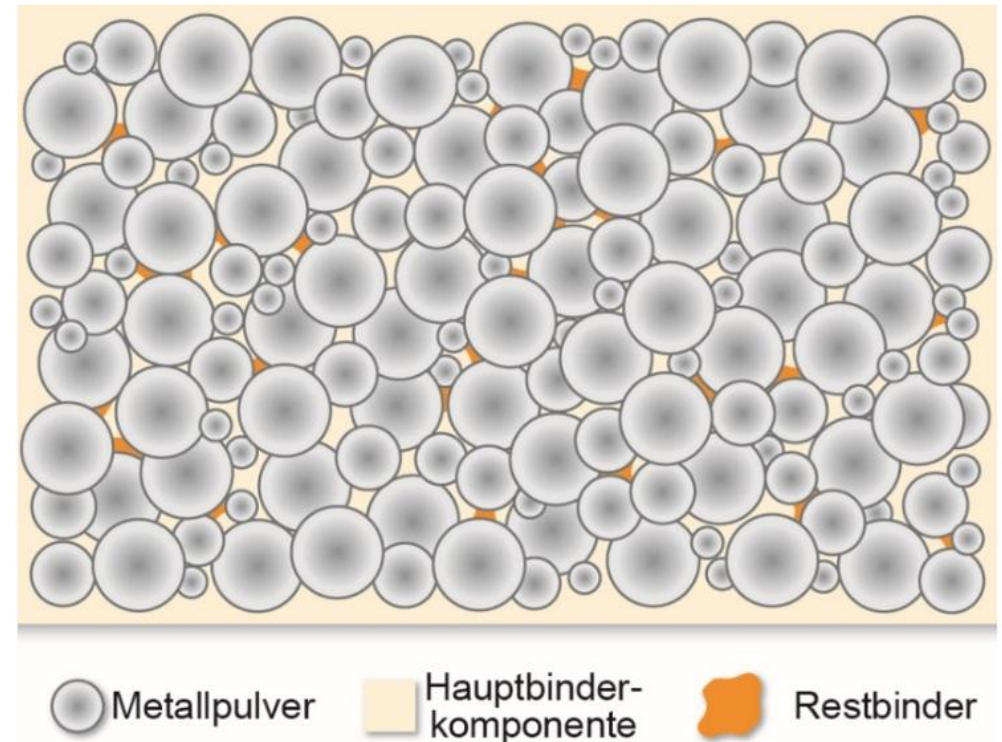
Image courtesy of BASF

Additive/Tenside:

- Verbessern die Fließfähigkeit des Rohmaterials
- Verbessern die mechanischen Eigenschaften des Grünlings
- z.B. Stearinsäure
- Brücke zwischen Bindemittel und Pulver

Erstellen eines Feedstocks – Anforderungen an die Binder

- Gute Lagerfähigkeit
- Keine Reaktion, aber auch keine Entmischung mit dem Pulver
- Hohe Festigkeit nach dem Spritzgießen
- Formstabilität beim Entbindern
- Leichte, rückstandslose Entfernung beim Entbindern



Erstellen eines Feedstocks



Image courtesy of BASF

Feedstock:

2 verschiedene Arten von Feedstock

Pre-Alloys:

- alle Elemente und Eisenschrott werden miteinander vermischt und aufgeschmolzen (Recyclingprodukt)
- Flüssiges Material wird mit Wasser/ Gas zerstäubt
→ Entstehung von kleinen Pellets
- In Pellets ist die Chemie bereits eingestellt
→ Fertige Legierung von Beginn an vorhanden

Master-Alloys:

- alle Elemente und Komponenten werden in Pulverform eingebracht und miteinander vermischt (CIP)
- Chemische Homogenisierung und Legierungseinstellung erfolgt erst während des Sinterns

Erstellen eines Feedstocks

Viele verschiedene Legierungen möglich, Portfolio von BASF Catamold®

Stainless steels

Type	Product	OSF
Pre-alloy	17-4PH Plus	3
	evo 17-4PH	2
	17-4PH F	2
	17-4PH P	3
	evo 316L S	2
	316L G Plus	3
	316L Silverline	2
	PANACEA Plus	2
	evo 304	2
	420 W	1
Master alloy	316L A	2
	17-4PH A	1

Low alloys

Type	Product	OSF
Pre-alloy	motion 8620	2
	motion 42CrMo4	2
Master alloy	FN0205 BC	1
	100Cr6 F	1
	42CrMo4	1
	8620	1
	8740	1
	4605	1
	FeSi3	1
	FN08 F	1
	FN02	1

Special alloys

Type	Product	OSF
Pre-alloy	THOR	2
	Ti	4

OSF category	Range
1	1.2116 – 1.2204
	1.2170 – 1.2220
2	1.1629 – 1.1710
	1.1670 – 1.1750
3	1.1630 – 1.1670
	1.1640 – 1.1660
	1.1650 – 1.1690
4	1.1445 – 1.1524

Catamold® 316L G Plus:

Austenitisch, nicht magnetisierbare Teile mit hoher Korrosions-beständigkeit und Zähigkeit; Polierbarkeit.

Uhren, Zierteile, medizinische -Geräte, Teile für die Lebensmittel- und Chemieindustrie.

Ablauf des Spritzgusses – Design des Werkstückes

- Design des Werkstückes mit Anguss, Angusskanälen und Entlüftungsmodulen
- Beachten des Oversizing Faktors (OF)
→ gibt die Schrumpfung des Materials vom Spritzen bis zum Fertigteil an
(insgesamt ca. 16-20%)
- Form wird während des Spritzens beheizt, um eine gleichmäßige Erstarrung zu ermöglichen
- Formtemperatur zwischen 100 – 140°C



Image courtesy of BASF

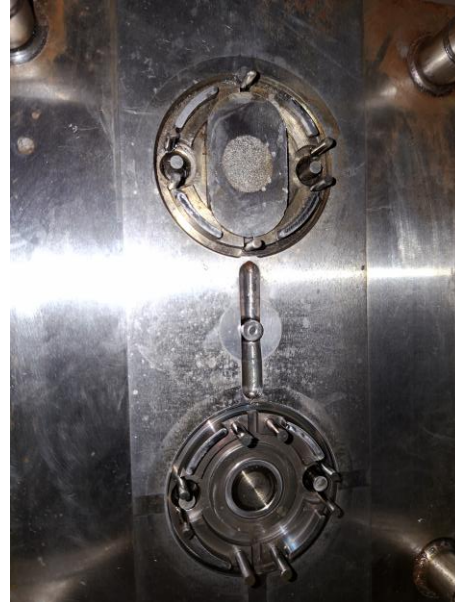


Image courtesy of BASF

Ablauf des Spritzgusses – Aufbau Spritzgussmaschine



Image courtesy of Arburg

Ablauf des Spritzgusses

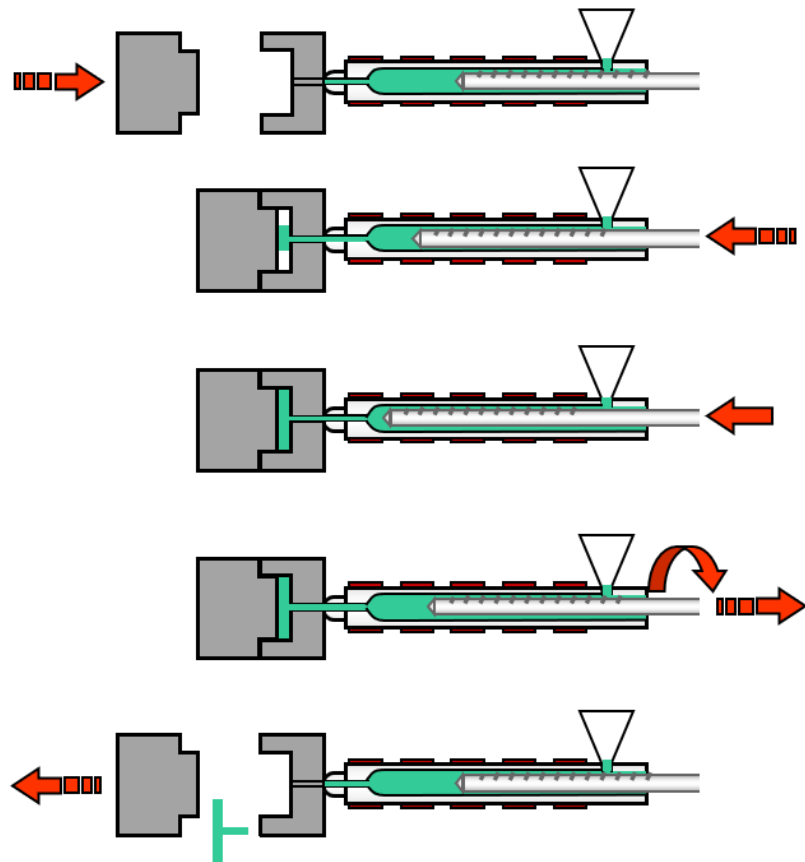


Image courtesy of Arburg

1. Werkzeug einbauen und schließen
2. Einspritzen der Schmelze in die Kavität (Linearbewegung der Schnecke)
3. Verdichten und Ausgleich der Schwingung (Linearbewegung der Schnecke)
4. Granulat dosieren (Dreh- und Linearbewegung der Schnecke)
5. Werkzeug öffnen und Formteil auswerfen

Ablauf des Spritzgusses – Aufgabe der Spritzeinheit

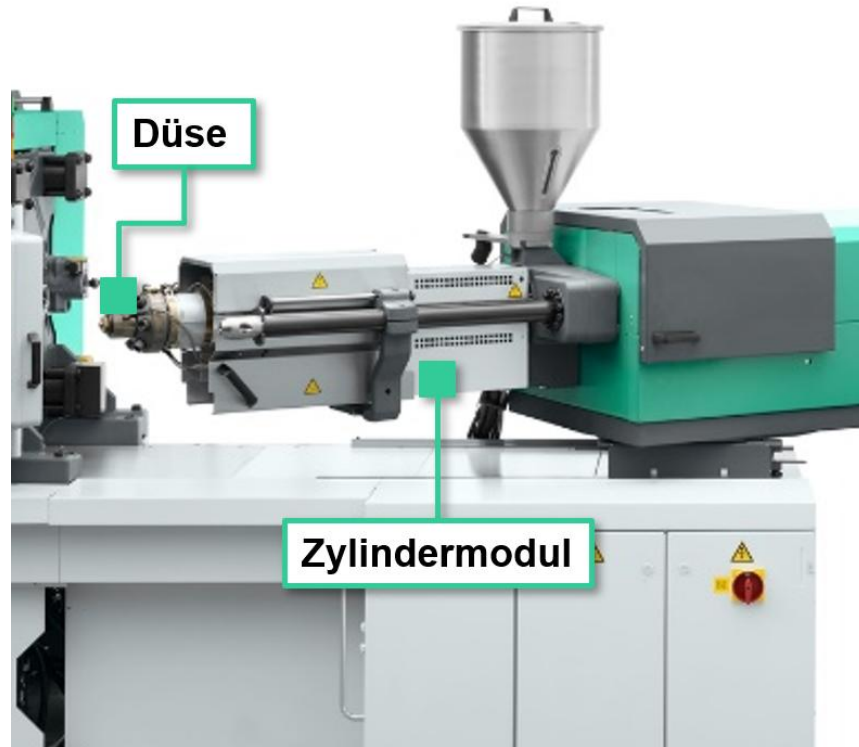


Image courtesy of Arburg

- Granulat präzise dosieren
- Granulat aufschmelzen und homogenisieren
- Zylindermodul an Werkzeug pressen
- Schmelze durch Düse in Kavität einspritzen
- Schmelze verdichten- Schwindung entgegenwirken

Ablauf des Spritzgusses – Daten

- Material wird über die Einfüllung mit der Spritzeinheit in das Werkstück eingebracht
 - Formfüllung von 99%, dann Umschalten auf Nachpressen
 - Formfüllzeit von 0,4-1,0 s, 5-30 cm³/s (Einspritzgeschwindigkeit)
 - Einspritzdruck von 800-1500 bar
 - Materialtemperatur bis 190°C
 - Nach einer Kühlzeit von 10-30 s wird das Teil entnommen
 - Angusssystem wird entfernt
- Entstehung des stabilen Grünteils



Image courtesy of BASF

Entbindern des Grünteiles – Verschiedene Möglichkeiten



Image courtesy of Carbolite Gero

Thermische Entbinderung:

- Im Ofen mit beheizter Tür und gepulstem Kühlwasser am Flansch
- Beheizter Gasauslass
- Wichtig: Entstehende Gasmenge muss entweichen können



Image courtesy of Carbolite Gero

Lösungsmittelentbinderung:

- Hauptsächlich Wasserentbinderung
- Hauptbindemittel wird durch das Lösungsmittel aufgelöst/aufgebrochen
- Das Sekundäre Bindemittel ist unlöslich
- muss durch einen thermischen Entbinderungsschritt entfernt werden

Entbindern des Grünteiles – Verschiedene Möglichkeiten

Katalytischen Entbinderung:

- Lagerung der Teile auf Platten aus Keramik, Aluminium oder Molybdän
- Ofenauskleidung aus Grafit oder Molybdän
- Teile im Ofen werden für Luftaustausch ca. 1 Stunde mit Stickstoff gespült
- In dieser Zeit erfolgt ein Erhitzen des Ofens auf 110-130°C
- Anschließend wird zur Zersetzung des Binders Salpetersäure in den Ofen gepumpt.
- Die Teile werden so lange mit Säure behandelt, bis das Entbindern vollständig abgeschlossen ist
- Erste Schätzung anhand der Wandstärke und einer schnellen Entbinder-Geschwindigkeit von 1 mm/h.
- Die Säure wirkt als Katalysator bei der Zersetzung des Polyacetals (POM) → Hauptbestandteil des Primären Bindemittels
- Bindemittel zersetzt sich in einer gasförmigen Säureumgebung → Bildung von Formaldehyd, welches abgesaugt wird.



Image courtesy of Carbolite Gero

Entbindern des Grünteiles – Verschiedene Möglichkeiten

- Diese Zersetzung findet unterhalb des Schmelzpunktes von POM statt (165°C).
- Nach Abschluss wird der Ofen erneut eine Stunde mit Stickstoff gespült, um die Salpetersäure aus dem Ofen zu bringen.
- Ein zu langes Entbindern kann das Teil nicht zerstören
- Nach Entnahme des Teiles muss überprüft werden, ob die Entbinderung erfolgreich war.
- Dies erfolgt über eine Sichtprüfung (Zerbrechen des Teiles) sowie einer Überprüfung des Gewichtsverlusts

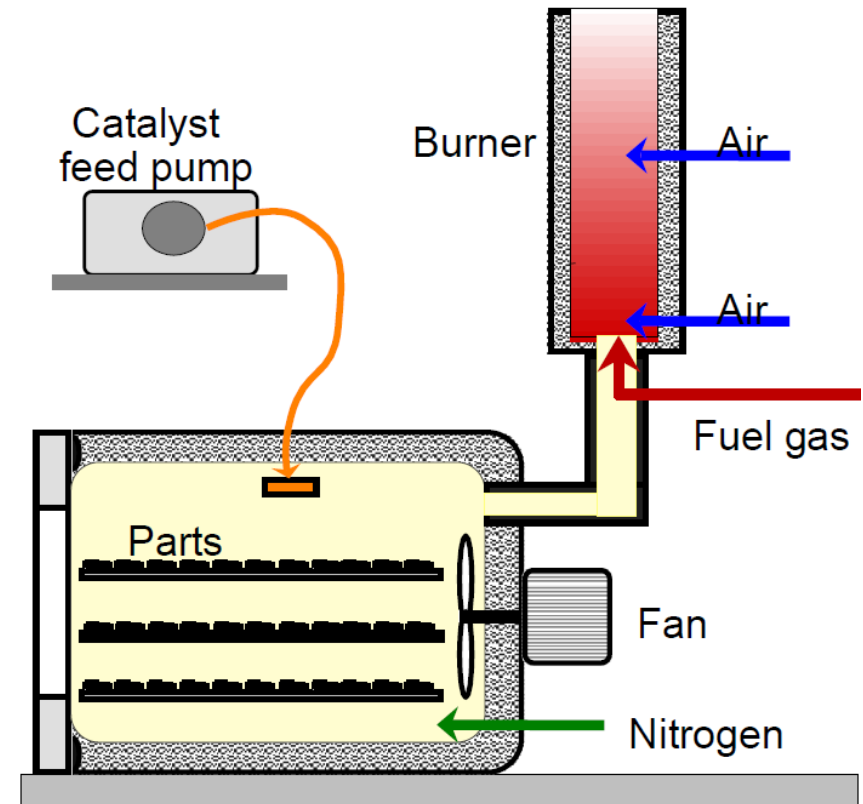


Image courtesy of Carbolite Gero

Ablauf des Entbinderns – Entstehung eines Braunteils

Bei allen Entbinderungsverfahren entsteht als Endprodukt ein sprödes, reaktives Braunteil



Image courtesy of BASF



Image courtesy of BASF

Ablauf des Sinterns

- Sinterofen mit Molybdän- oder Grafitauskleidung
- Sintervorgang über mehrere Stunden
- Einstellen des Metallgefüges z.B. 316 L G Plus
- Auswahl der Atmosphäre: H₂, N₂, Ar oder Vakuum
- Continuous- vs. Batch- Ofen
- Sinterprofile befinden sich in einem Temperaturbereich von 1.200 – 1.400°C
- Keramische Platten zur Lagerung der Teile



Image courtesy of Carbolite Gero

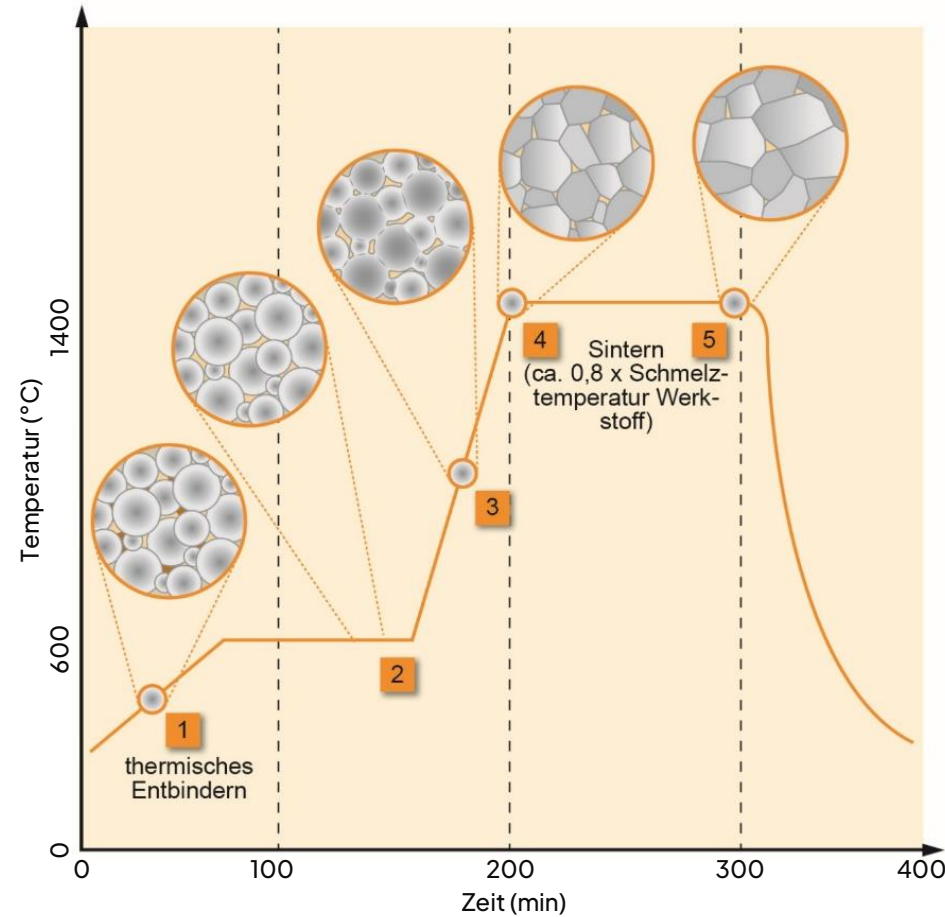
- Ziel des Sinterns: Entfernung des Restbinders und Einstellung der Legierung

Ablauf des Sinterns – Sinterkurve

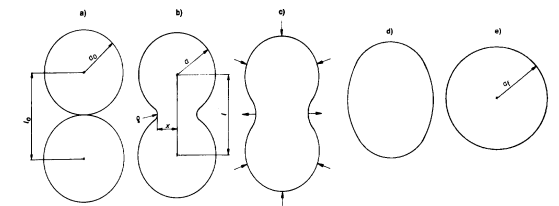
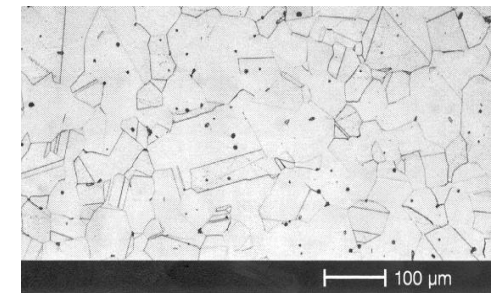
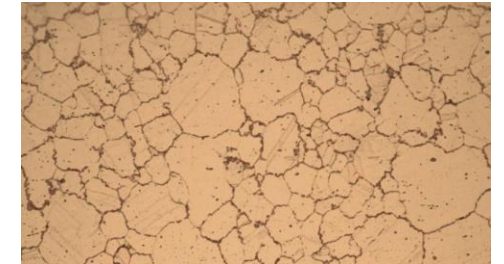
„Sintern ist der Prozess der Verdichtung und Formung einer festen Materialmasse durch Hitze oder Druck, ohne dass diese bis zur Verflüssigung geschmolzen wird“.

Das Sintern geht immer mit einer Verringerung des Volumens/der Größe einher.

Die endgültige Entbindung des Gerüsts erfolgt während des Sintervorgangs (Beginn bei 250 °C, Abschluss bei 600 °C).



z.B. Sinterkurve von Catamold® 316L G Plus



Ablauf des Sinterns – Fertiges Bauteil

Schwindung von Grünteil bis Fertigteil bei 16-20%



Image courtesy of BASF

Nachbearbeitung

- Verschiedene gängige Wärmebehandlungen möglich
→ Erzielen von noch besseren Eigenschaften
- Bearbeitung → Polieren der Oberflächen
- Beschichtung über Galvanisieren

Zusammenfassung – Technologie mit Zukunft

Vorteile des Metal injection moldings:

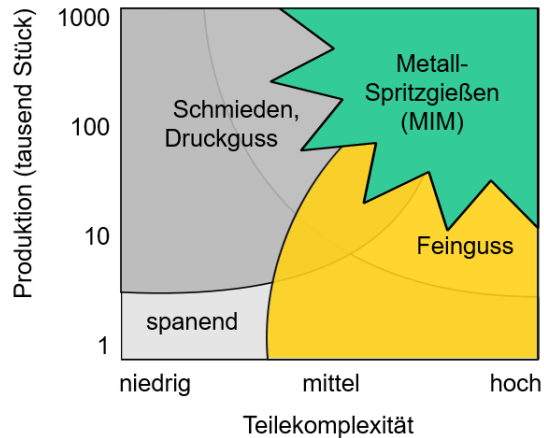
- Serienproduktion- hoher Automatisierungsgrad möglich
- Produktion schnell variierbar
- Komplexe Geometrie und Freiformflächen umsetzbar
- Endkonturnahe Bauteile mit hoher Maßhaltigkeit und perfekter Oberflächengüte
- Gleichmäßige Bauteildichte
- Flexibilität bei Zusammensetzung, Materialien und Mikrostrukturen
- Breites Werkstoffspektrum (Stähle, Edelstähle, Titan, Nickel..)
- Materialeffizienz- Spritzguss mit 100 % Recyclingmaterial möglich
- Wirtschaftlichkeit- mittlere bis große Stückzahlen

Nachteile des Metal injection moldings:

- Hohe Investitionskosten in die Anlagen
- Investitionskosten in Werkzeugbau
- Beschränkung in der Bauteilgröße
- Teures Pulver
- Aufwendiges, energieintensives Verfahren

Zusammenfassung – Technologie mit Zukunft

Vergleich mit dem Additiven Manufacturing



MIM:

hohe Dichte und engere Toleranzen

Werkzeuggebunden, teure Formen

Kosteneffizienz bei Großserien

Kleine, hochpräzise Teile (Automobil, Medizin, Elektronik)

AM:

maximale Designfreiheit, Prototyping

keine Werkzeuge

Vorteile bei kleinen und mittleren Stückzahlen

Individuelle Bauteile (Luft- und Raumfahrt, Medizin)

Zukunftspotenzial:

Die Technologie wird durch kontinuierliche Weiterentwicklungen in der Materialwissenschaft, Prozessoptimierung (z. B. Gründichtebestimmung) und die Integration des 3D-Drucks (Additive Fertigung) weiter gestärkt, was neue, innovative Anwendungen ermöglicht.

Sie gilt als Schlüsseltechnologie für die kosteneffiziente Produktion hochwertiger Präzisionsteile.

Danke und Glück auf!



**Mit freundlicher Unterstützung von
BASF, Arburg und Carbolite Gero**