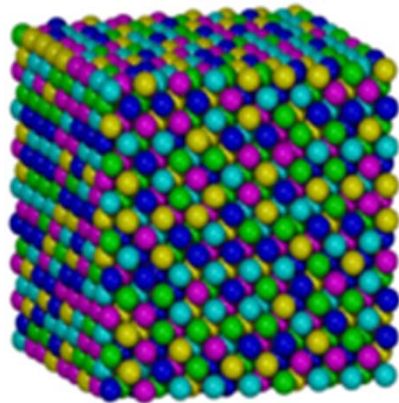


# Adaptierung des Spritzgießverfahrens zur Untersuchung der mechanischen Eigenschaften von High-Entropy-Legierungen

Volker Plotter, Julia Wagner\*, Yizhou Chen, Martin Heilmaier

Institut für Angewandte Materialien - Werkstoffkunde (IAM-WK)

\* Universität Stuttgart, IMW



Quelle: <https://en.wikipedia.org/>



Quelle: <https://www.iam.kit.edu/wpt/>



# Gliederung

- 1. Motivation und Zielsetzung
- 2. High-Entropy-Alloys (HEA)
- 3. Pulverspritzgießen (PIM)
- 4. Arbeitsprogramm
- 5. Weiterführende Projekte

# Motivation und Zielsetzung

## ■ Motivation

- HEA → möglicher Ersatz für klassische HT-Legierungen
- PIM → wirtschaftliche Massenproduktion , komplexe Bauteilgeometrien

## ■ Zielsetzung

- Adaptierung des Pulverspritzgießen zur Verarbeitung einer HE-Legierung
- Vergleich der mechanischen Eigenschaften zwischen einer schmelzmetallurgisch und pulvermetallurgisch hergestellten HE-Legierung

# Motivation und Zielsetzung

## ■ Fragestellungen

- Kann eine pulverspritzfähige HEA-Formmasse hergestellt werden?
- Wie sieht das Gefüge nach dem Sintern aus?
- Ist zur Homogenisierung noch eine Wärmebehandlung nötig?
- Vergleich der erhaltenen Mikrostrukturen mit jenen aus anderen Herstellungsverfahren (z.B. Schmelzmetallurgie)?
- Vergleich der mechanischen Eigenschaften von PIM-Zugproben bei verschiedenen Temperaturen mit schmelzmetallurgisch hergestellten Proben?
- Worin besteht der Forschungsbedarf für ein zukünftiges umfangreicheres Projekt ?

# High-Entropy-Alloys (HEA)

## Hauptlegierungselemente

- Mindestens 5 Hauptelemente
- Equiatomic (bei CCA: jeweils 5 ~ 35 at.%)

## Haupteffekt

- Hohe Mischungsentropie

## Bildung thermodynamisch stabiler Mischkristalle

- einphasig bzw. geringe Anzahl Phasen

## Herausragende Eigenschaften

**Bessere mechanische Eigenschaften (Festigkeit, Duktilität)  
bei höheren Temperaturen**

**=> Höhere Wirkungsgrade, geringere Emissionen bei  
Verbrennungsmotoren, Gasturbinen etc.**

# High-Entropy-Legierungen (HEA)

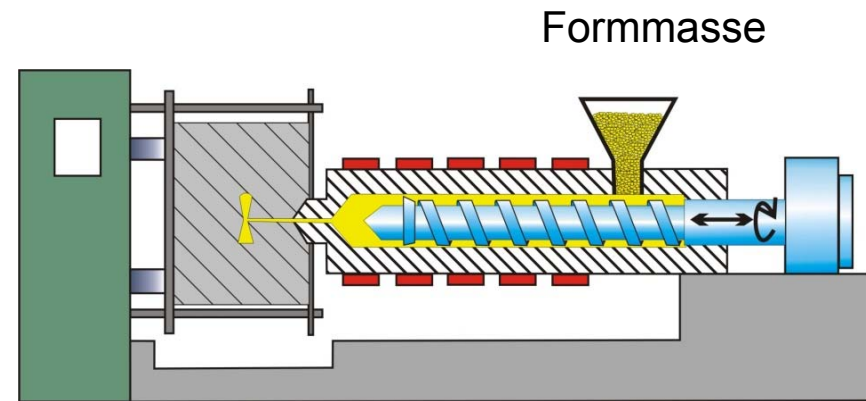
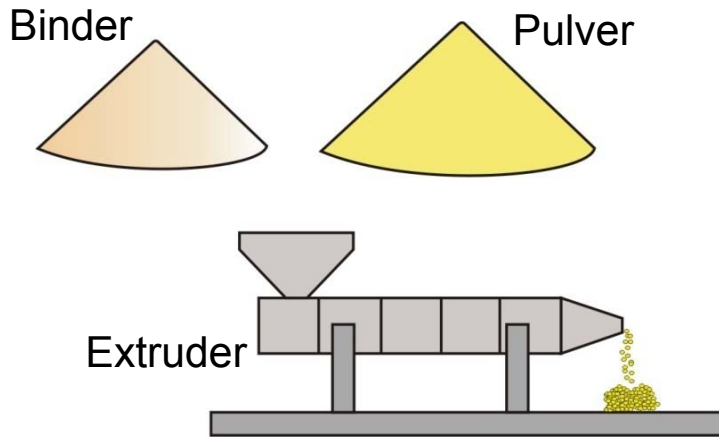
sog. Cantor-Legierung

- Co: 20 at.%, Cr: 20 at.%, Fe: 20 at.%, Mn: 20 at.%, Ni: 20 at.%
- Einphasig
- Kubisch-flächenzentriert (kfz)
- Üblich: schmelzmetallurgische Verarbeitung
- Erste Versuche zu pulvermetallurgischer Verarbeitung:  
Mechanisches Legieren (MA) + Spark-Plasma-Sintern (SPS)

# Pulverspritzgießen (PIM)

## Formmassenherstellung

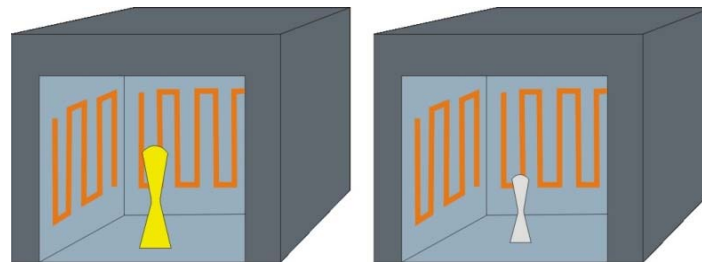
## Spritzgießen



→ Massenproduktion

## Entbindern → Sintern

Sinterschrumpf





## Herausragende Eigenschaften

**Hohe Materialvielfalt**

**Hohe Gestaltungsfreiheit**

**Near-net-shape Prozess**

**Großserienfertigung**

# Arbeitsprogramm

## AP 1: Herstellung Kleinzugproben

### AP 1.1: Bereitstellung der Metallpulver

Beschaffung und Charakterisierung (XRD) der Pulver

Erschmelzen, Gasverdüsung < 100  $\mu\text{m}$ , sphärische Partikel

### AP 1.2: Formmassenentwicklung

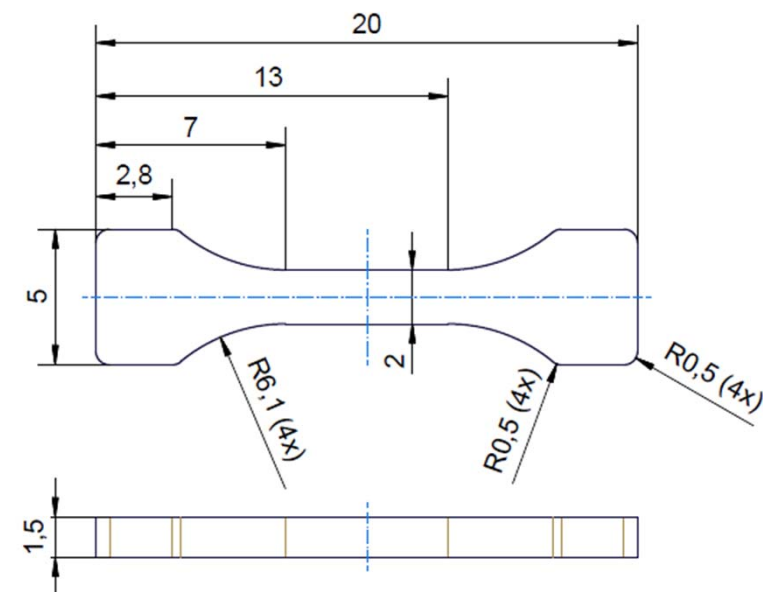
DoE Untersuchung Pulverfüllgrad, Pulveranteil: ca. 60 Vol%

Zielgröße: Hysteresefreie Viskositätskurven bis ca. 40.000  $\text{s}^{-1}$

### AP 1.3: Spritzgießversuche

DoE Parameterentwicklung

PIM von Kleinzugproben



## AP 1: Herstellung Kleinzugproben

- AP 1.1: Bereitstellung der Metallpulver
  - Beschaffung und Charakterisierung (XRD) der Pulver
  - Erschmelzen, Gasverdüsung < 100  $\mu\text{m}$ , sphärische Partikel
- AP 1.2: Formmassenentwicklung
  - DoE Untersuchung Pulverfüllgrad
  - Pulveranteil: ca. 60 Vol%
  - Zielgröße: Hysteresefreie Viskositätskurven bis ca. 40.000  $\text{s}^{-1}$
- AP 1.3: Spritzgießversuche
  - DoE Parameterentwicklung
  - PIM von Kleinzugproben
- AP 1.4: Sintern
  - Modifizierung der Sinterparameter
  - Iterative Erforschung des Sinterprozesses
  - Ziele:  $\geq 95\%$  der theoretischen Dichte, homogenes Gefüge
- AP 1.5: Thermische Nachbehandlung
  - Glühen gesinterter HEA-PIM Proben

# Arbeitsprogramm

## AP 2: Mikrostrukturelle Charakterisierung

XRD, Schliffe (Lichtmikroskopie, REM) und EDX

EBSD

Atomsonde (Präparation mittels FIB und Elektropolieren, Messung und Analyse)

## AP 3: Mechanische Materialprüfung

Adaption der Zugprüfeinspannbacken auf die PIM-Probengeometrie für den Einsatz bei hohen Temperaturen

Zugversuche bei RT und erhöhter T

Abschätzung Anwendungspotential und weiterer F+E Bedarf

# Weiterführende Projekte

## DFG-Schwerpunktprogramm

### ***Legierungen mit komplexer Zusammensetzung – Hochentropielegierungen (CCA – HEA)***

(Koordinator: Prof. Dr. Uwe Glatzel, Universität Bayreuth)

#### Stichpunkte:

- Non-equiatomare Legierungen (CCA)
- Einfluss der Sinterregime
- Legierungshomogenität
- (Rest-)Kohlenstoffgehalte
- ggf. thermische Nachbehandlung
- Abgleich Simulation/Experiment

***Vielen Dank  
für  
Ihre Aufmerksamkeit !***