

## Infiltration von lasergesinterten Bauteilen

Trenke, D.

*Ein häufig verwendeter Werkstoff beim Rapid Tooling Bauprozess ist das Metallpulver Direct Metal 50-V2. Dabei handelt es sich um eine Legierung aus Kupfer, Bronze und Nickel. Ein Nachteil dieses Materials ist, dass die lasergesinterten Bauteile nur eine maximale Dichte von 70% besitzen. Zum Schließen der Poren, Steigern der Festigkeit und Verbessern der Oberflächenqualität können die Werkstücke aber mit verschiedenen Medien infiltriert werden.*

*A frequently used material by the Rapid Tooling buildingprocess is the metalpowder Direct Metal 50-V2. It is an alloy of copper, bronze and nickel. A disadvantage of this material is, that the lasersintering parts only have a maximum density of 70%. To close the pores, increase the solid and improve the surfacequality the workpieces can be infiltrated with different materials.*

### 1 Der Sinterprozess

Das vom IMW verwendete Metallpulver DirectMetal 50-V2 wurde speziell für das direkte Lasersintern entwickelt und besteht überwiegend aus einer Bronze-Nickel-Vermischung, mit einem geringen Kupfer-Phosphid (Cu-P) Anteil. Dieser dient als niedrigschmelzender Binder.

Trifft der Laserstrahl während des Bauprozesses auf die Metallpulveroberfläche wird ein Teil der Laserenergie absorbiert, wodurch sich das Pulver erwärmt. Sobald die eingebrachte Energie groß genug ist, um das Pulver auf eine Temperatur von 660°C zu erhitzen, schmilzt das Kupfer-Phosphid. Als nächstes dringt die nun flüssige Cu-P-Phase in die umgebenden Hohlräume und benetzt dabei die Bronze- und Nickelteilchen. Es kommt zu weiteren Phasenbildungen. Oberhalb von 850°C findet durch Poren- und Mischkristallbildung eine Expansion des makroskopischen Pulvervolumens, zur Kompensation des bis dahin erfolgten Sinterschwundes, statt /1/. Im Idealfall ist das Volumen des Körpers jetzt wieder identisch mit dem Volumen der losen Pulverschüttung.

Durch diesen Aufschmelzprozess und das anschließende Abkühlen entsteht die stabile metallische Matrix des gesinterten Bauteils, welche bei

optimaler Wahl der Belichtungsparameter und Belichtungsstrategie eine Dichte von 70 %, sowie folgende Materialeigenschaften (siehe **Tab. 1**) besitzt:

mechanische Eigenschaften lasergesinteter Bauteile /2/		
Dichte	6,3	g/cm <sup>3</sup>
Zugfestigkeit	120	N/mm <sup>2</sup>
Biegebruchfestigkeit	300	N/mm <sup>2</sup>
Randfaserdehnung bei Bruch	4,2	%
Rauhigkeit R <sub>z</sub> ohne Nachbearbeitung	50-60	µm
Rauhigkeit R <sub>z</sub> nach Polieren	1-3	µm

**Tab. 1:** mechanische Eigenschaften ohne Infiltration

Durch Infiltration mit unterschiedlichen Medien und Verfahren können die physikalischen Eigenschaften noch verbessert werden.

### 1.1 Infiltration mit Epoxid-Harz

Das beim Infiltrieren verwendete Epoxid-Harz besteht aus drei Komponenten (siehe **Tab. 2**), welche zunächst bei Raumtemperatur mit einem Magnetrührer vermischt werden.

Funktion	Bezeichnung	Gewichts-Anteil
Harz	Rütapox	1
Härter	IPD	0,2556
Verlaufmittel	Modaflow	0,004

**Tab. 2:** Infiltrationskomponenten

Danach wird das Harzgemisch in einem Exsikkator (Vakuumglocke) bei einem Unterdruck von etwa 10 mbar für ca. 15 Minuten entgast. In der Zwischenzeit muss das zu infiltrierende Bauteil auf 100°C vorgewärmt werden. Ist dies geschehen, wird das Werkstück so lange mit der Harzmischung eingestrichen, bis die Oberfläche leicht feucht erscheint.

Anschließend wird das behandelte Bauteil in den Exsikkator gegeben und nochmals bis etwa 10 mbar evakuiert. Nach 10 Minuten wird der Behälter langsam belüftet. Dabei wird - durch den außerhalb des Bauteils steigenden Druck - das Harz in das Innere der Werkstückstruktur gepresst.

Das Auftragen und Evakuieren muss so lange wiederholt werden, bis der Körper sichtbar kein Harz mehr aufnimmt. Ist dies der Fall, wird das infiltrierte Bauteil (bzw. das Harz) in einem vorgeheizten Ofen (160°C) zwei Stunden ausgehärtet.

Zu beachten ist noch, dass das Harz durch die Temperatur im Ofen kurzzeitig niedrigviskos wird. Dadurch kann ein Teil des Harzes wieder aus dem Werkstück austreten, und sich in Ecken und Kanten ansammeln.



**Bild 1:** mit Epoxid-Harz infiltrierter Druckbehälter

Durch die geringe Aushärtetemperatur von 160°C ist die thermische Belastung des Bauteils beim Infiltrieren vernachlässigbar klein. Außerdem bleibt die im Bauprozess erreichte Maßgenauigkeit erhalten, da es zu keinen weiteren Ausdehnungen oder Schwindungen kommt.

Nach der Behandlung mit Epoxid-Harz ist eine deutliche Verbesserung der Oberflächenqualität und der mechanischen Eigenschaften (siehe **Tab. 3**) festzustellen .

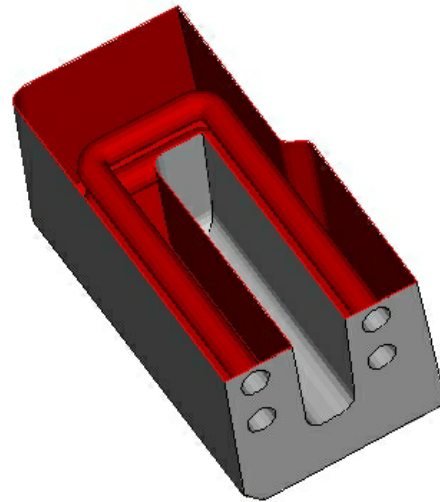
mechanische Eigenschaften nach dem Infiltrieren /2/		
Dichte	6,5	g/cm <sup>3</sup>
Zugfestigkeit	200	N/mm <sup>2</sup>
Biegebruchfestigkeit	400	N/mm <sup>2</sup>
Randfaserdehnung bei Bruch	4,2	%
Rauhigkeit R <sub>z</sub> ohne Nachbearbeitung	30-40	µm
Rauhigkeit R <sub>z</sub> nach Polieren	1-3	µm

**Tab. 3:** Eigenschaften nach der Epoxid-Infiltration

Durch die Infiltration sollte jetzt eine vollständig dichte Bauteilstruktur vorliegen. Erfahrungen zeigen aber, dass zum Beispiel aus Kühlkanälen (bei einem Druck von 6 bis 7 bar) immer noch Wasser durch das Werkstück austritt. Eine Infiltration des Harzes unter Druck, oder eine Nachbehandlung mit Kühlerdichtflüssigkeit, kann hier für Abhilfe sorgen.

## 1.2 Abdichten von Kühlkanälen

Ein großer Vorteil des Rapid Tooling Bauprozesses ist, dass Kühlkanäle beim Generieren der Formhälften gleich mit aufgebaut werden können. Dabei sind dreidimensionale Geometrien und Verläufe möglich, die durch kein spanendes Fertigungsverfahren oder durch funkenerosives Abtragen herzustellen sind (siehe **Bild 2**).



**Bild 2:** Schnittdarstellung von 3D-Kühlkanälen

Allerdings besitzen die lasergesinterten Metallformen nach der Infiltration mit Epoxidharz noch eine Restporosität von ca. 5 % . Um 100 % dichte Kühlkanäle zu erhalten, können diese mit Kühlerdichtflüssigkeit versiegelt werden /3/.

Dazu wird das Kühlerdicht zunächst mit Wasser fünffach konzentriert vermischt und auf 100°C erwärmt. Hierbei ist auf ein permanentes Verrühren der Flüssigkeiten zu achten.

Anschließend fördert eine Pumpe die Kühlerdichtlösung aus einem Vorratsbehälter, durch die Kühlkanäle des Metallsinterparts und wieder zurück, in den Vorratsbehälter. Dabei müssen die Kühlkanäle möglichst senkrecht und mit den Ein- und Auslassöffnungen nach unten angeordnet sein, damit es nicht zu unregelmäßigen Ablagerungen kommt. Diesen Kreislauf lässt man nun für ca. eine Stunde laufen, wobei auch mehrere Formhälften in „Reihe“ geschaltet werden können.

Zum Testen der Dichtheit der Versiegelung wird eine Öffnung des Kühlkanals verschlossen und die andere mit Druckluft beaufschlagt. Taucht man nun das Bauteil unter Wasser kann man einfach überprüfen, ob die Kanäle dicht sind. Sollten noch Luftblasen austreten, schließt man den Formeinsatz für eine weitere Stunde an den Kreislauf an.

### 1.3 Infiltration mit Zinn

Für eine erfolgreiche Infiltration von lasergesinterten Bauteilen mit Zinn (Sn60PbAg) müssen die Werkstücke zunächst von Verunreinigungen und Pulverresten befreit werden. Außerdem ist es unumgänglich ein Flussmittel, zur Reduktion von Oxidschichten, zu verwenden. Das Flussmittel (ZnCl<sub>2</sub>-Lösung) wird auf die Bauteiloberfläche aufgetragen und dringt sofort durch die offenen Oberflächenporen in den Körper ein, bis dieser vollständig durchtränkt ist.

Das so vorbehandelte Sinterteil wird dann für 10 bis 20 Minuten in die ca. 220°C heiße Zinn-Schmelze gegeben. Dabei verdampft zunächst das Flussmittel, bevor das flüssige Zinn durch die Poren in das Bauteil eindringt.

Ein wesentlicher Parameter bei dieser Infiltrationsmethode ist der Kapillardruck. Dieser sinkt mit steigendem Porendurchmesser. Auf der anderen Seite ist eine große Porosität erforderlich, um über offene Porenkanäle das gesamte Volumen infiltrieren zu können. Um diesen Widerspruch zu begegnen besteht die Möglichkeit mit Druck zu infiltrieren, was aber einen größeren apparativen Aufwand zur Folge hat /3/.

Untersuchungen der Firma EOS haben weiterhin gezeigt, dass Bauteile mit unterschiedlicher Ausgangsdichte nur bis zu einem konstanten Restporenvolumen (12 % ± 1,5 %) aufgefüllt werden können. Körper höherer Dichte werden dabei, aufgrund der kleineren Porenkanäle, langsamer infiltriert; erreichen aber dennoch die gleiche Enddichte, wie Körper kleinerer Ausgangsdichte.

Ein weiterer wichtiger Zusammenhang besteht zwischen der Infiltrationstemperatur und der Infiltrationszeit. Mit zunehmender Temperatur sinkt zwar die Infiltrationszeit, es kommt aber auch zu einem Bauteilswund. Dieser beträgt bei einer Temperatur zwischen 300°C und 350°C etwa 1,5 %. In bezug auf die Bedeutung der Form- und Maßhaltigkeit sollte daher immer mit der niedrigstmöglichen Temperatur infiltriert werden.

Nach der Entnahme der Bauteile aus dem Zinnbad ist überflüssiges Infiltrationsmaterial und Flussmittel durch Abtupfen oder mit Pressluft zu entfernen.

**Bild 3** zeigt eine lasergesinterte Probe nach der Infiltration mit Lötzinn und anschließenden Sandstrahlen. Untersuchungen der Probe ergaben, dass sie vollständig mit Lötzinn durchsetzt ist und keine Maßabweichungen zum uninfiltierten Zustand aufweist.



**Bild 3:** mit Zinn infiltrierter Probekörper

## 2 Weitere Infiltrationsuntersuchungen

Der Zahnwellenstumpf in **Bild 4** diente zur Untersuchung der Dichtheit von lasergesinterten Bauteilen gegenüber aggressiven Medien, wie sie zum Teil im Automobilbau (Brems- und Kühlflüssigkeiten) verwendet werden.

Dazu wurde die Bohrung zunächst mit Epoxidharz gefüllt und dann mit einem Druck von 6 bar beaufschlagt. Der Druck blieb so lange angelegt, bis das Harz an der Außenseite des Werkstücks austrat.

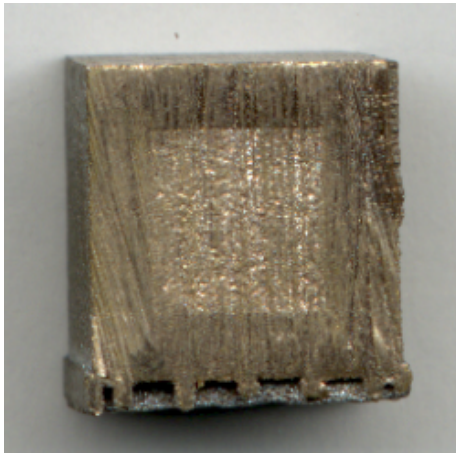
Nach dem Aushärten des Harzes konnten in diese Bohrung die verschiedenen Testflüssigkeiten eingefüllt, und das Bauteilverhalten unter Druck- und Temperatureinwirkung beobachtet werden.



**Bild 4:** mit Epoxidharz infiltrierter Zahnwellenstumpf

Die Tests ergaben, dass das verwendete Epoxidharz gegenüber den meisten Medien resistent ist und die Dichtigkeit auch im Dauerbetrieb unter extremen Bedingungen erhalten bleibt.

Sehr gute Ergebnisse im Bezug auf die Dichte lasergesinterter Bauteile erzielten wir auch bei der Infiltration mit Silberbronze (siehe **Bild 5**). Aufgrund der niedrigen Viskosität durchdringt die Flüssigkeit die Bauteile vollständig und härtet - ohne weitere thermische Nachbearbeitungsprozess - vollständig aus. Es tritt also kein Bauteilschwund auf. Die Temperaturbeständigkeit der Silberbronze beträgt mindestens 800°C.



**Bild 5:** mit Silberbronze infiltrierte Probe

#### 4 Literatur

- /1/ EOS; Basis Training  
EOS GmbH, Planegg, 1999
- /2/ EOS; Materialdatenblatt Direct Metal 50-V2  
EOS GmbH, Planegg, 1999
- /3/ EOS; Betriebsanleitung EOSINT M 250  
EOS GmbH, Planegg, 1999

#### 3 Zusammenfassung

Wie die Ausführungen gezeigt haben, lassen sich die Eigenschaften lasergesinterter Bauteile noch durch verschiedene Infiltrationsverfahren und Medien verbessern. Die Auswahl der Methode muss dabei in Abhängigkeit von den jeweiligen Anforderungen an das Werkstück erfolgen.

Sollen zum Beispiel nur die mechanischen Eigenschaften gesteigert werden, so ist eine „einfache“ Epoxidharzinfiltration ausreichend. Kommt es zudem auf die Dichtigkeit der Werkstücke an, ist eine Druckinfiltration oder eine zusätzliche Nachbehandlung mit Kühlerdichtflüssigkeit erforderlich.

Eine Behandlung mit Zinn erzeugt zwar glatte Werkzeugoberflächen, die Bauteilfestigkeit und das Verschleißverhalten wird aber nur geringfügig beeinflusst. Zudem nimmt der Temperatureinsatzbereich ab.