

3-D-Druck mit Edelmetallpulvern

Additive Fertigung von Gerüsten bei C.Hafner

NICO GABLER



Einleitung

Vor ca. zwei Jahren befasste sich die Fa. C.Hafner aus Wimsheim das erste Mal mit einem additiven Fertigungsverfahren zur Herstellung von Zahnersatz. Begünstigt durch die eigene Pulververdünsungsanlage im Haus, einen sogenannten „Atomizer“ (Abb. 1), hat das Unternehmen die Möglichkeit, Edelmetall in Pulverform herzustellen. Die Vorteile der eigenen Edelmetallpulverherstellung möchte C.Hafner nun auch in seine dentale Technologien übernehmen und entsprechende Produkte ergänzend zum Fräsen in Edelmetall anbieten.

Vorteile additiver Fertigung aus Edelmetallpulver

Vorteile der additiven Fertigung von Gerüsten aus Edelmetallpulver sind unter anderem:

- Es können komplexe Strukturen angefertigt werden. Dabei spielt Geometriefreiheit eine Rolle, z. B. Hinterschnitte und nicht fräsbare Bereiche sowie Retentionen an Sekundärteleskopen.

- Es ist eine formlose Fertigung möglich, mit großer Detailwiedergabe der CAD-Daten. Das hängt damit zusammen, dass keine Fräserradien berücksichtigt werden müssen, weil keine Werkzeuge eingesetzt werden.
- Es handelt sich um eine „grüne“ Technologie, da nur das Material eingesetzt wird, das auch verbraucht wird. Es gibt keine Öl- und Kühlmittelmismissionen, wie sie in der CNC-Fertigung vorkommen.

Die Pulververdünsungsanlage (Abb. 1) verfügt über einige besondere Eigenschaften, die dem Anwendungszweck für spezielle Pulver aus Edelmetalllegierungen entgegenkommen:

- Verdüsung mit Inertgas
- hohe Reinheit
- sphärische Pulver
- mögliche Partikelgrößen/-verteilung: $\varnothing 1 - 100 \mu\text{m} / d_{50} = 15 - 60 \mu\text{m}$
- Verdüsung auch extrem hochschmelzender Legierungen, mit Elementen wie Silber (Ag), Gold (Au), Palladium (Pd), Platin (Pt), zum Beispiel zu PtIr20, PtRh50 (Abb. 2).

Zusammenfassung

Der Edelmetallspezialist C.Hafner aus Wimsheim hat spezielle Pulver aus Edelmetalllegierungen entwickelt, die in der Kronen- und Brückentechnik sowie bei der Hybridfertigung von Sekundär-Teleskopen eingesetzt werden können. Der Beitrag beschreibt den Weg zur Entwicklung der Legierungen, mit den dafür notwendigen Eigenschaften der Geräte und Materialien und der Hard- und Software und weist auf die damit verbundene Möglichkeit hin, Ressourcen zu schonen.

Indizes

additive Fertigung, Edelmetalllegierung, Edelmetallpulver, Ressourcenschonung, Workflow

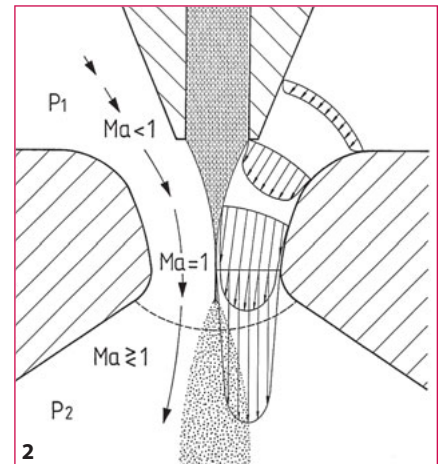


Abb. 1 Pulververdünsungsanlage bei C.Hafner. **Abb. 2** Schmelzstrahl beim Verdüsen von Metallen (schematische Darstellung)



Außerdem verfügt C.HAFNER über eine pulvermetallurgische Infrastruktur mit Geräten zum Sieben und Windsichten sowie über spezielle Laborausrüstungen zur Messung von Partikelform, -größe und -verteilung.

Ressourcenschonung

Ein wesentlicher Treiber der Entwicklung ist das Thema Ressourcen. Beim subtraktiven Herstellen von Dentalgerüsten entsteht sehr viel Abfall, der sofort wieder in den Edelmetallkreislauf eingespeist werden muss. Gleichzeitig muss verhältnismäßig viel Ausgangsmaterial bereitgestellt werden, um überhaupt subtraktiv arbeiten zu können. Dies alles ist finanziell extrem aufwendig und bildet eine hohe Eintrittshürde in die Technologie des Fräsen von Edelmetall. Die additive Variante, auf der Basis von Edelmetallpulvern zu fertigen, senkt den finanziellen Aufwand für die Bereitstellung und das Recycling des Ausgangsmaterials immens.

Untersuchungen zur Machbarkeit

Der wirtschaftlichste Fertigungsprozess ist aber unnützlich, wenn die erforderlichen materialtechnischen Ergebnisse nicht erreicht werden. Nun sind Dentallegierungen sehr stark genormte Werkstoffe mit genau definierten Eigenschaften. Diese zu erreichen stellt also die Benchmark für eine neue Technologie dar. Gleichzeitig setzt man sich selbst entsprechende zusätzliche Ziele, die es aus materialtechnischer Sicht qualitativ zu erreichen gilt.

Für die Machbarkeitsüberprüfung sowie den anschließenden Entwicklungsprozess wurden folgende Bausteine als erfolgsrelevant eingestuft:

Indikationen → Legierungen → Eigenschaften → Maschinentyp → Software/Workflow

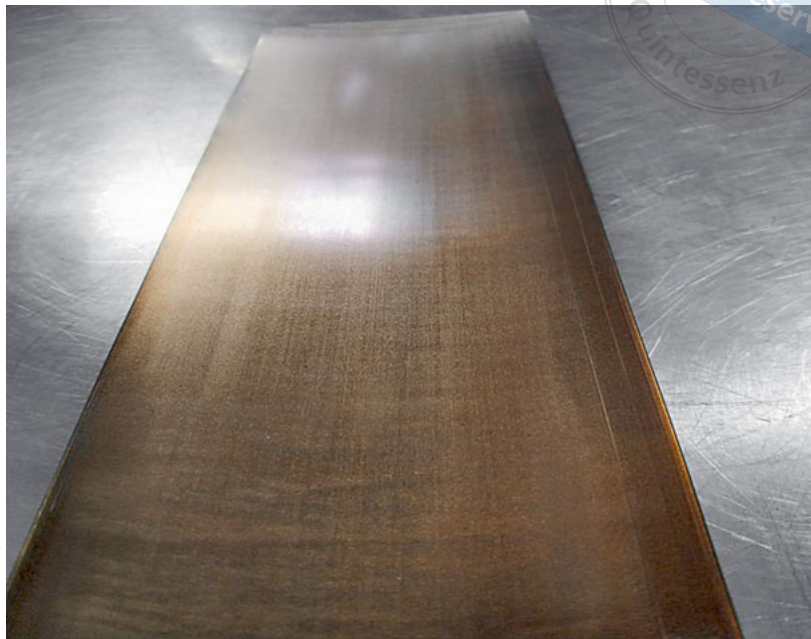


Abb. 3 Blanks für das Edelmetallfräsen werden aus ca. 15 kg schweren Blechen gewonnen.

Diese fünf Bausteine haben natürlich ihre Herausforderungen in der Umsetzung bis zum fertigen Produkt und müssen ineinander verzahnt werden. Insbesondere die ideale Kombination aus Materialeigenschaften und Maschinenparametern ist eines der wichtigsten Kriterien und nicht leicht zu ermitteln.

Indikationen

Die Indikationen festzulegen, ist aus Sicht von C.Hafner zunächst einfach. Sie liegen in der Kronen- und Brückentechnik sowie bei der Hybridfertigung von Sekundär-Teleskopen aus Edelmetall.

Legierungen

In einem ersten Schritt wurde entschieden, drei verschiedene Legierungen in die Machbarkeitsuntersuchungen einzubeziehen. Es handelte sich um eine Palladium-Basis-Legierung und um zwei

hochgoldhaltige Legierungen. Die Wahl fiel zunächst wegen der silberweißen Farbe auf die Palladiumlegierung.

Erste Erfahrungen in der additiven Fertigung im Schmuckbereich haben gezeigt, dass die bis dato verfügbaren SLM-Maschinen mit roten Lasern besser für weiße als für gelbe Legierungen geeignet scheinen. Mit dieser Legierung wurden die ersten Untersuchungen vorgenommen und zusätzlich eine Fertigungskette für die Hybridfertigung (3-D-Drucken und Nachfräsen von Sekundärteilen) aufgebaut (Abb. 4 bis 5).

Materialeigenschaften

Die Zielsetzung bei den Materialeigenschaften ist, eine optimale Dichte zu erreichen, neben den von den Normen geforderten Werten (Abb. 6). Hierfür wird als Mindestanforderung die Dichte für gegossene Objekte genommen. Diese liegt bei einem Wert von



99,6 %. Dank der eigenen Metallografie und dem physikalischen Labor bei C.Hafner war es möglich, exakte Werte zu erhalten. Die Pulverpartikel haben eine Körnung von 5 bis 53 μm . So ist es möglich, sie mit einem Laser homogen aufzuschmelzen. Die Herausforderung liegt in den unterschiedlichen Schmelzpunkten der Bestandteile von Edelmetall-Dentallegierungen. Zusätzlich werden für ein perfektes Ergebnis ein optimaler Schutzgasflow aus Argon, die richtige Schichtstärke der aufgetragenen Pulvermenge sowie abgestimmte Abastwege des Lasers auf dem Pulverbett benötigt. Additive Fertigung in der Materialentwicklung ist bei Weitem kein Plug-and-play und muss anhand zahlreicher weiterer Parameter akkurat getestet und einjustiert werden, bis zum endgültigen gewünschten Resultat. Eine strikte Vorgehensweise bei der Parametrisierung bringt hierbei den Erfolg (Abb. 7 und 8).

Maschinentyp

Eine gute Voraussetzung für den zu wählenden Maschinentyp war eine bereits bestehende Kooperation zwischen C.Hafner und der Fa. Trumpf aus Ditzingen. In dieser Kooperation wurden die Basisparameter mehrerer Edelmetallpulver entwickelt, unter anderem für die patentierte Legierung von C.Hafner PlatinGold für die Uhren-

und Schmuckindustrie. Diese Parameter können auf der 3-D-Laser-Fusion-Maschine TruPrint 1000 (Abb. 9; Fa. Trumpf) angewendet werden. Diese Maschine zeichnet sich aus durch ihren roten Laserspot von 55 μm , die Laserleistung bis zu 200 Watt und ihr intuitives Handling. Der Herstellungszylinder beträgt 100 mm \times 100 mm und ist somit für dentale Anwendungen bestens geeignet.

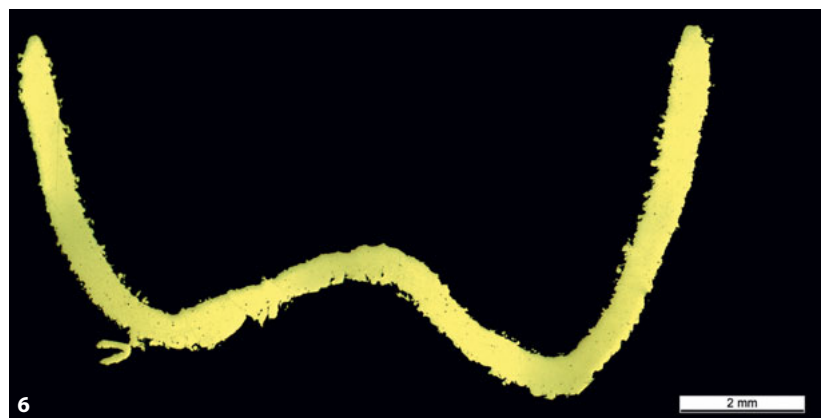
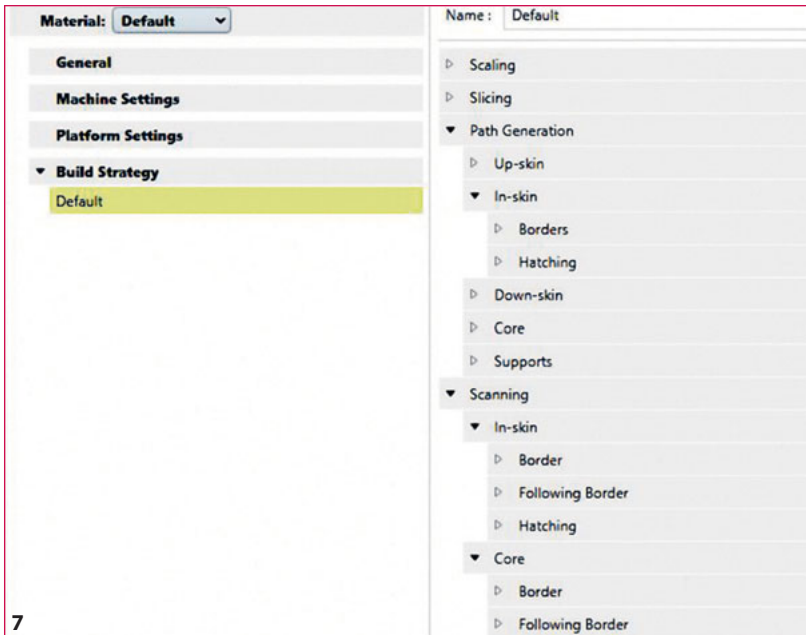
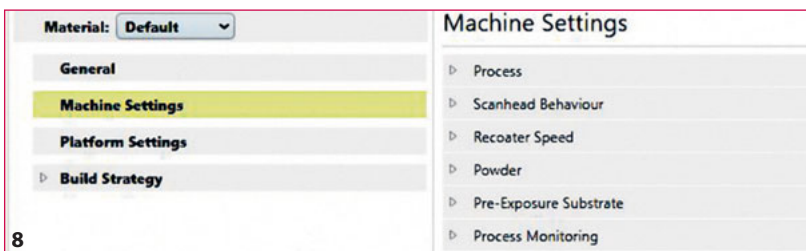


Abb. 4 Das eingesetzte Pulver muss eine definierte Fließfähigkeit aufweisen.
Abb. 5 Versuchsobjekte zur Materialqualifizierung aus einer hochgoldhaltigen Legierung. **Abb. 6** Anhand von Schlibfbildern wird die Materialdichte beurteilt.



7



8



9

Abb. 7 und 8 Der neue Build-Prozessor 4 von Trumpf ist dank seiner Vielfalt ein wichtiger Garant in der Materialqualifikation bei C.Hafner. **Abb. 9** Der TruPrint 1000.

Software und Workflow

Der Hybridprozess in der additiven Fertigung benötigt aufseiten der Software einen sehr hohen Grad an Komplexität. Insgesamt vier verschiedene Softwareprodukte wurden bei der Entwicklung eingesetzt. Um einen stabilen Fertigungsprozess abzubilden, entschied sich C.Hafner für das hyperDent Hybrid Modul (Fa. Follow me, München) und Materialise Magics (Fa. Materialise, Gilching).

Der Workflow im Hybridprozess ist nicht leicht zu gestalten. Neben der softwareseitigen Abstimmung musste die Hardware modifiziert werden. Für die TruPrint 1000 wurde ein spezieller Bajonethalter für die Bauplatte entwickelt sowie ein Bauplattenhalter für die CNC-Maschine HSC 20 (Fa. DMG Mori, Wernau). So wird das identische Koordinatensystem in beiden Maschinen abgebildet. Die dafür relevanten Werte kommen auch in dem hyperDent Hybrid Modul (Fa. Follow-me! Technology, München), Materialise Magics und einem speziellen Einmessprogramm für die HSC 20 zum Einsatz.

Für das Sekundärobjekt werden in der Software hyperDent ein Aufmaß berechnet und eine STL-Datei mit einem exakten Nullpunkt erstellt. Diese Datei wird dann in der Materialise Magics-Software weiter bearbeitet. Dabei werden die Position auf der Bauplatte sowie die Supports für das Bauobjekt bestimmt und die Baujobparameter für den Print festgelegt. Nach dessen Zuweisung wird eine Datei für die Fertigung erzeugt. Danach erfolgt die Übertragung auf die TruPrint 1000-Maschine und der Baujob wird gestartet. Nach dem fertigen Baujob geht die Bauplatte in einen Entspannungsbrand, um thermischen Verspannungen zu lösen, die durch den Printprozess entstanden sind. Dieser Prozess wurde genauestens angepasst, um die

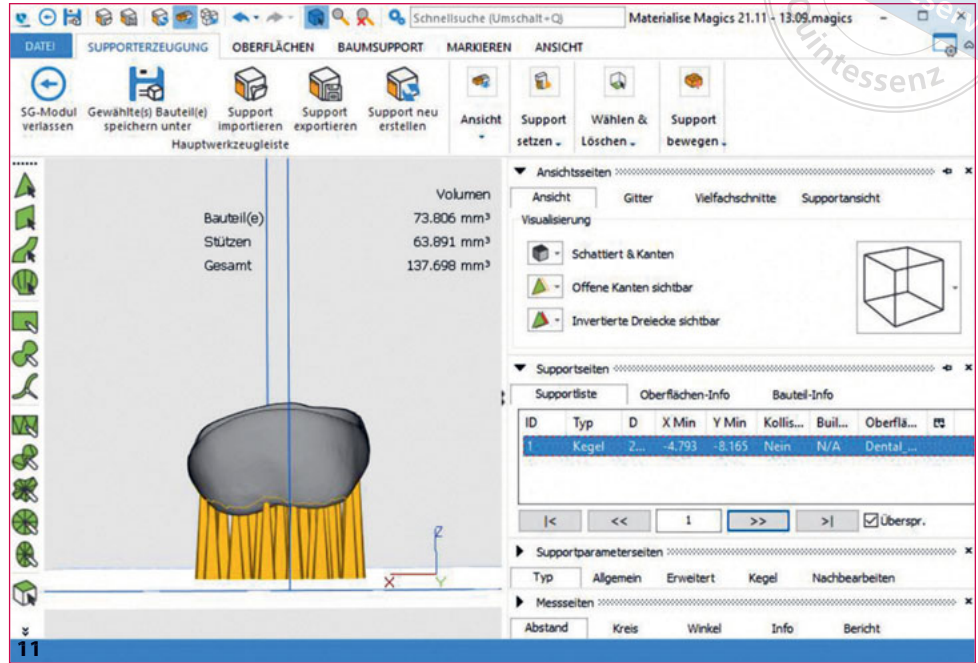


Abb. 10 Die gedruckten Bauteile werden auf der Bauplatte in der Hochleistungsfräsmaschine nachgefräst. **Abb. 11** Supportmodul Materialise Magics mit seinen vielseitigen Parametern.

Detailtreue der digitalen Vorgabe auf der Bauplatte sicherzustellen. So kann das Sekundärteil exakt in der CNC-Fräsmaschine nachbearbeitet und die nötige Friktion für die Passung eingestellt werden (Abb. 10 und 11).

Der Workflow für die Kronen und Brückenobjekte wird in der Software Materialise Magics gestartet, in der die Supports und die Baujobeigenschaften bestimmt werden. Der daraus generierte Datensatz wird dann auf die TruPrint 1000 übertragen. Für einen Printjob wird auf der Maschine ca. 2,5 kg Material benötigt. Diese Menge variiert je nach Anzahl der zu bauenden Schichten. Das Material kann mit einem Sieb auf einem Siebturm wiederaufgearbeitet werden. Dabei trennen sich Verunreinigungen, wie Schmauchreste, vom restlichen Pulver. So wird eine hohe Reinheit des Pulvers garantiert, das erneut in den Printprozess eingeführt werden kann.

Fazit

Dank der neuen Möglichkeiten mit der additiven Fertigung sind eine ständige Weiterentwicklung des altbewährten Werkstoffes Edelmetall und die Zukunft für das Edelmetall in der Zahntechnik gesichert. Schnelle, einfache und kostensparende Technologien können die hohen Kosten für das Edelmetall an sich zum Teil kompensieren, sodass Edelmetall auch künftig ein attraktiver Werkstoff bleibt.

Mit dem Aufbau eines Maschinenparks für additive Fertigung ist ein Hauptziel von C.Hafner bereits erreicht. So ist das Unternehmen für die Zukunft gerüstet. Mit der angestrebten Markteinführung im 2. Halbjahr 2020 stellt C.Hafner eine weitere Lösung für zahntechnische Labore bereit. Denn Edelmetall ist die DNA und die Leidenschaft des Unternehmens zugleich.



Nico Gabler

Systemberater für digitale Lösungen,
 Vertrieb Dentale Technologien/FIE
 C.Hafner
 Gold- und Silberscheideanstalt
 Maybachstraße 4
 71299 Wimsheim
 E-Mail: nico.gabler@c-hafner.de