

Fallstudie

Monolithische Schubkammer eines Raketentriebwerks



**SLM® Technologie in der Luft- und Raumfahrt
bei der CellCore GmbH**

3D-Druck Erfolgsgeschichte

VERBESSERTE FUNKTIONALITÄT

Kühlung durch innovative Gitterstruktur



DEUTLICHE GEWICHTSREDUZIERUNG

Einsatz von Gitterstrukturen

PROZESSOPTIMIERUNG

Integration mehrerer Teile und interner Features

Bauteildaten

| | |
|---------------|-------------------------------------|
| Bezeichnung: | Monolithische Schubkammer |
| Branche: | Luft- und Raumfahrt |
| Material: | IN718 |
| Schichtdicke: | 30 µm |
| Bauzeit: | 3d 5h 34 min (full load, 1 Bauteil) |
| Gefertigt auf | SLM®280 |



SLM®280

Ausgangssituation

Funktionsweise von Triebwerken in der Luft- und Raumfahrt

Die Anforderungen in der Luft- und Raumfahrt sind extrem hoch. Es ist nicht nur ein konsequenter Leichtbau notwendig, Materialien müssen auch besonders hohen Belastungen standhalten. Zudem sind die Herstellungskosten der komplexen Bauteile in der konventionellen Fertigung sehr hoch.

Bei dem von CellCore und SLM Solutions gefertigten Triebwerk handelt es sich um eine Schubkammer, Kernelement eines Flüssigkeitstriebwerks mit Brennkammerwand, Brennstoffeinlass sowie dem Einspritzkopf mit dem Einlass für den Oxidator. In der Brennkammer findet eine chemische Reaktion statt, wodurch ein Gas entsteht. Dieses Gas dehnt sich durch Hitzeentwicklung aus und wird mit enormer Wucht ausgestoßen. So entsteht die für den Antrieb der Rakete notwendige Schubkraft durch Rückstoß. Während des Verbrennungsvorgangs entstehen in der Kammer enorme Temperaturen, wes-

wegen die Wand gekühlt werden muss, um nicht mit zu verbrennen. Zu diesem Zweck wird der flüssige Brennstoff (z.B. Kerosin oder Wasserstoff) durch Kühlkanäle in der Brennkammerwand nach oben geleitet, bevor er durch den Einspritzkopf in die Brennkammer gelangt. Dort vermischt sich der Brennstoff mit dem Oxidator und wird mit Hilfe einer Zündkerze verbrannt. In konventioneller Bauweise werden die Kühlkanäle in einen Rohling gefräst und anschließend in vielen Arbeitsschritten wieder verschlossen. Die gesamte Herstellung dauerte aufgrund der Komplexität des Triebwerks mindestens ein halbes Jahr und ist somit auch sehr kostenintensiv. Durch den Einsatz des additiven Fertigungsverfahrens kann die Fertigungszeit auf 5 Werktage gesenkt werden, was zu erheblichen Zeit- und Kosteneinsparungen führt. Mit dem 3D-gedruckten Triebwerk konnte CellCore eindrucksvoll die vielfältigen Möglichkeiten aufzeigen, die die SLM® Technologie für die Luft- und Raumfahrt bietet.

Innovationen mit der SLM® Technologie

Filigrane Strukturkühlung zur Effizienzsteigerung

Das mit der SLM® Technologie hergestellte monolithische Raketentriebwerk (Injektor und Schubkammer) vereint integrales Design, also die Zusammenfassung der zahlreichen Einzelkomponenten in einem Bauteil, mit multifunktionalem Leichtbau.

Kernelement ist die nur mit Hilfe der SLM® Technologie zu fertigende innenliegende, von CellCore entwickelte Struktur. Sie garantiert Stabilität und ist für den Wärmetransport geeignet. Die Eigenschaften dieser Strukturkühlung übertrifft konventionelle Ansätze, wie zum Beispiel rechteckige, konzentrisch verlaufende Kühlkanäle, deutlich. Sie bietet ein optimales



Abb. 1
Gemeinsames Entwicklungsprojekt zwischen der CellCore GmbH und SLM Solutions

Verhältnis zwischen Stabilität und Masseneinsatz und weist einen geringen Strömungswiderstand mit gleichzeitig hoher Wirkungsoberfläche auf. Sie ist somit nicht nur effizienter, es werden auch zusätzliche Funktionen integriert. Die Gitterstruktur sorgt zudem für eine Gewichtsreduktion im Vergleich zu herkömmlich gefertigten Bauteilen.

SLM Solutions unterstützte CellCore bei der Aufbereitung des hochkomplexen Bauteils, um dieses optimal für das Selective Laser Melting Verfahren vorzubereiten. Dazu gehörte die Entwicklung spezifischer Parameter für die Bauteilgeometrie einschließlich Downskin-Optimierung sowie die optimale Bauteilorientierung im Bauraum. Zur Vermeidung von Fehlern wurden zudem kritische Baubereiche identifiziert, um den Erfolg des Baujob zu gewährleisten. Um den hohen Materialanforderungen in der Luft- und Raumfahrt gerecht zu werden, ist das Triebwerk in der Nickelchromlegierung IN718 auf der Selective Laser Melting Maschine SLM®280 gefertigt worden.

IN718 ist ein ausscheidungshärtbarer Werkstoff, der über herausragende Zug-, Ermüdungs-, Kriech- und Bruchfestigkeiten bis 700°C verfügt. Dies macht IN718 zu einer wichtigen Legierung für Flugzeug- und Gasturbinenbauteile sowie weitere vielfältige Hochtemperaturanwendungen, wie zum Beispiel Raketenantriebe. In der konventionellen Verarbeitung ist der Werkstoff schwer zerspanbar mit einem hohen Werkzeugverschleiß. Durch die additive Fertigung wird der Nachbearbeitungsaufwand des Bauteils trotz komplexer Struktur minimiert. Ebenso wird ein hoher Werkzeugverschleiß vermieden.

Mit Hilfe der SLM® Technologie können durch die Einsparung teurer, zeitaufwendiger Fertigungsschritte und die Vereinfachung der Triebwerksstruktur erheblich Kosten eingespart werden. Die SLM® Technologie bietet damit Unternehmen aus dem Raumfahrttransportsektor die Möglichkeit die Wettbewerbsfähigkeit zu steigern und die Funktionalität von Raketen systemen bei gleichbleibend herausragender Qualität zu erhöhen.

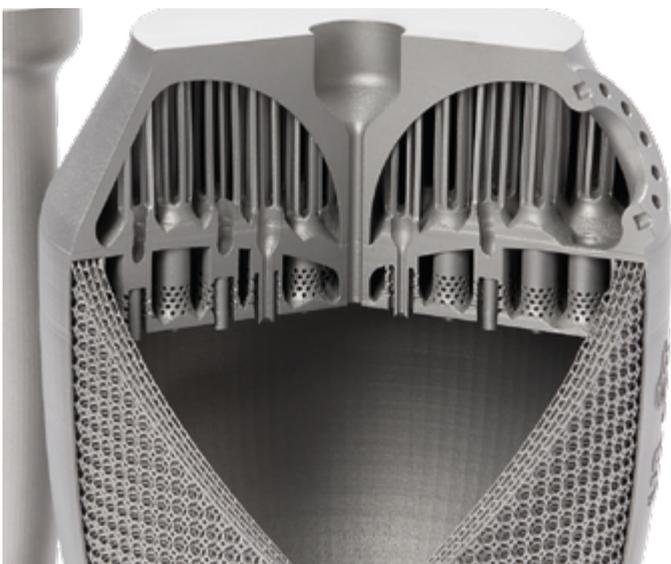


Abb. 2 und 3

Die von Cell Core entwickelte Strukturkühlung sorgt für ein optimales Verhältnis zwischen Stabilität und Masseneinsatz

Zusammenfassung

Monolithische Schubkammer eines Raketentriebwerks

- Einfache Herstellung: Minimierte Nachbearbeitung trotz komplexer Struktur und Vermeidung von hohem Werkzeugverschleiß bei schwer zerspanbarer Nickelbasislegierung (IN718)
- Innovation: Direkte Integration mehrerer Teile und interner Features, wie z.B. innenliegender Kanäle
- Verbesserte Funktion: Kühlung durch innovative Gitterstruktur, die auch zu höherer Stabilität beiträgt
- Effizienz: Einsparung vieler einzelner Prozessschritte und Kombination mehrerer Einzelteile in einem Teil
- Leichtbau: Deutliche Gewichtsreduzierung durch den Einsatz von Gitterstrukturen

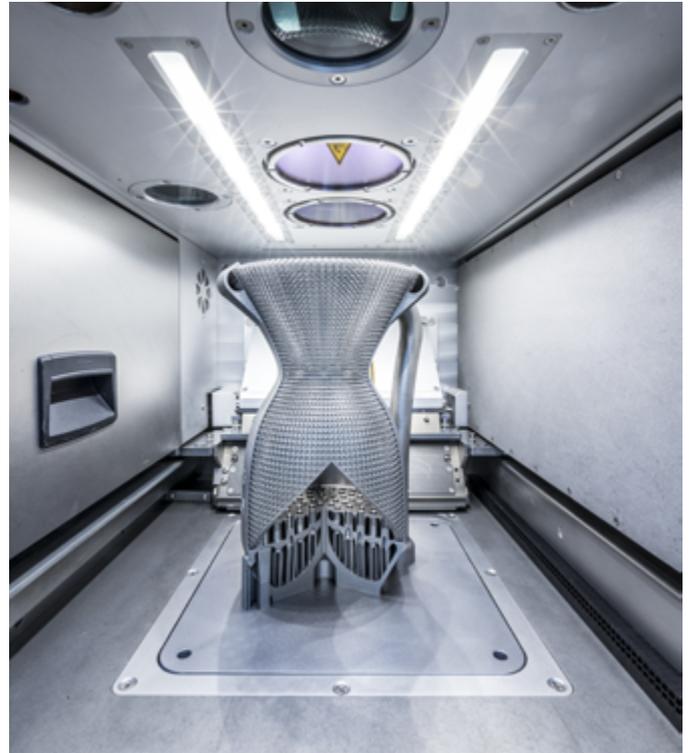


Abb. 4
Das Bauteil wurde in einem Stück in 3 Tagen auf einer SLM®280 gefertigt

CellCore GmbH

CellCore ist ein junges Ingenieursunternehmen aus Berlin, das sich auf eine neue Art des Konstruierens und Ausgestaltens von Bauteilen und Produkten spezialisiert hat. Das bionische Engineering greift hocheffiziente und evolutionär optimierte Strukturprinzipien der Natur auf und überführt diese in die Technik. Als Entwicklungspartner schafft CellCore so innovative Lösungen für individuelle Anwendungen und Ideen, bei denen konventionelle Ansätze an ihre Grenzen stoßen. Das Kern-Know-how liegt in der Berechnung und Konstruktion zellulärer Strukturen, die mit formoptimierten Außenkonturen kombiniert und für den spezifischen Anwendungsfall optimal eingestellt werden.

Anhand eines Raketentriebwerks hat CellCore nun gezeigt, wie die Vorteile des Selective Laser Melting Verfahrens in der Luft- und Raumfahrt optimal genutzt werden können. In Zusammenarbeit mit SLM Solutions ist ein monolithisches Werkstück aus dem Werkstoff IN718 entstanden.

SLM Solutions - Technologiepionier und Innovationsführer

SLM Solutions, als einer der Erfinder der Selective Laser Melting Technologie, war einer der ersten Hersteller von Multilasersystemen und gilt heute als führender Anbieter und ganzheitlicher Partner in der metallbasierten additiven Fertigung. Ziel des Unternehmens ist es, Kunden zu langfristigem Erfolg mit der SLM® Technologie zu führen. Die Experten von SLM Solutions arbeiten in jeder Phase des additiven Fertigungsprozesses mit dem Kunden zusammen und bieten umfassende Unterstützung und stetigen Wissensaustausch. Der Nutzen der SLM® Technologie wird dabei für den Kunden erhöht und der Return on Investment maximiert. Optional verfügbar mit Software-, Pulver- und Qualitätssicherungsprodukten eröffnet die SLM® Technologie eine neue Design- und Geometriefreiheit, ermöglicht Konstruktionen in Leichtbauweise oder die Integration von Kühlkanälen. Zudem kann die Markteinführungszeit verkürzt werden.

Die SLM Solutions Group AG ist ein börsennotiertes Unternehmen mit Hauptsitz in Deutschland und Niederlassungen in China, Frankreich, Indien, Italien, Russland, Singapur, den USA sowie einem Netzwerk aus globalen Sales-Partnern.



SLM Solutions Group AG | Estlandring 4 | 23560 Lübeck | Deutschland
 +49 451 4060 - 3000 | info@slm-solutions.com | slm-solutions.com

SLM® ist eine eingetragene Marke der SLM Solutions Group AG.

