



voxeljet HSS-Technologie in 5 Schritten zum 3D-Druck Polymer

Whitepaper

Inhalt

Intro	03
Die HSS-Technologie im Überblick	04
Das HSS Materialqualifizierungsverfahren	04
Das Fundament: Die grundsätzliche Materialprüfung	05
Drucker- und Prozessparameter-einstellung	06
Die Variabilität des Schichtauftrages	06
Individuelle Prozesstemperatur	07
Der Bindereintrag und Graustufen	09
TPU-Qualifikation von Covestro	11
Outro	15

Intro

Der Aufstieg der additiven Herstellung von Polymerformkörper ist in verschiedenen Industriezweigen unbestreitbar. Sei es in der Luft- und Raumfahrt, im Automobilbau, in der Schuhindustrie oder sogar in der Biomedizin- und Lebensmittelindustrie. Die additive Fertigung, auch 3D-Druck genannt, erobert immer mehr Marktanteile und stellt in einigen Branchen sogar eine vollwertige Produktionsalternative zu etablierten Fertigungsverfahren wie dem Spritzguss in der Kunststoffverarbeitung dar.

Bei jedem 3D-Druckverfahren sind zwei Komponenten absolut unabdinglich: Das System oder der Drucker selbst und das zu verarbeitende Material. Um sicherzustellen, dass die additive Fertigung immer mehr Industriesektoren beeinflussen kann, müssen System und Material in perfekter Harmonie zusammenarbeiten.

Dieses Verhältnis gestaltet sich oft recht kompliziert, aber das muss nicht sein. Mit der High Speed Sintering (HSS)-Technologie und dem 3D-Drucksystem VX200 HSS stellt voxeljet eine Plattform zur Verfügung, die nicht nur in der Lage ist, Polymerteile in hoher Qualität zu drucken, sondern - als vollständig offenes System - die ideale Plattform für die Entwicklung neuer Materialien bietet. Durch den Zugang und die Anpassung aller relevanten Prozessparameter können Bediener, die für die Prüfung und Qualifizierung neuer Polymermaterialien frei konfigurieren und individuell anpassen.

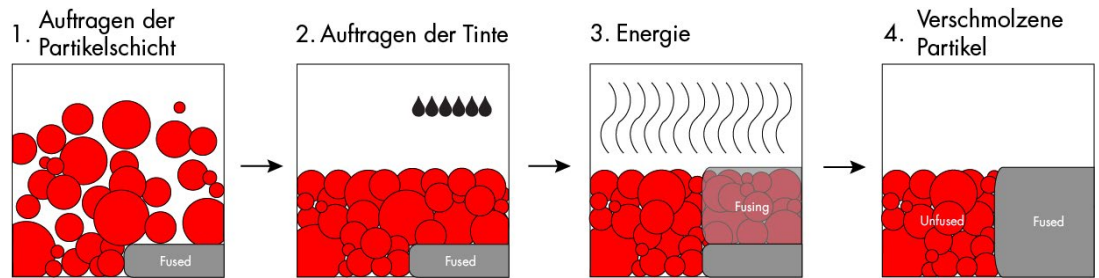
Aber worauf kommt es nun an, um neue Polymere für das High Speed Sintering zu qualifizieren, und wie läuft der Prozess insgesamt ab?

In diesem Whitepaper wollen wir Sie durch den gesamten Prozess führen, den allgemeinen Ablauf erläutern und einen detaillierten Einblick in die anpassbaren Parameter geben. Den Abschluss bildet ein Anwenderbericht mit dem Experten für Spezialchemikalien Covestro. Als einer der ersten Anwender der HSS-Technologie trat Covestro an voxeljet heran, um gemeinsam an der Qualifizierung für ein neues TPU für HSS zu arbeiten.

Also lassen Sie uns beginnen.

Die HSS-Technologie auf einen Blick

Beim HSS Prozess wird eine dünne Schicht Kunststoffpulver, bspw. PA12 oder TPU, auf eine beheizte Bauplattform aufgetragen. Anschließend trägt ein Tintenstrahldruckkopf selektiv einen Absorber (IR-absorbierende Tinte) in diejenigen Bereiche des Pulverbettes ein, in denen die Bauteile entstehen sollen. Im nächsten Schritt, wird die Bauplattform mit Infrarotlicht bestrahlt. Die bedruckten Bereiche absorbieren die Energie, wodurch die eingefärbten Pulverbereiche versintert werden. Die maximale Temperatur zur Verarbeitung von Polymeren liegt derzeit bei 190 °C. Das unbedruckte Pulver bleibt während des Sinterings unterhalb der Schmelztemperatur und damit unverschmolzen. Nach dem Sintervorgang wird die Bauplattform um eine Schichtdicke abgesenkt und der Prozess beginnt mit einem neuen Schichtauftrag von vorne. Dieser Vorgang wiederholt sich so lange, bis die Bauteile in ihrer vollen Höhe gedruckt wurden. Zu guter Letzt wird der gesamte Bauraum kontrolliert abgekühlt. Dann können die gedruckten Bauteile entnommen und ausgepackt werden.



HSS-Druckprozess

Das HSS Materialqualifizierungsverfahren

Das Open Software Kit bietet Entwicklern freie Prozessparametrierbarkeit

In den letzten drei Jahren hat voxeljet sowohl mit Materiallieferanten, Dienstleistern als auch mit Forschungsinstituten bei der Qualifizierung neuer Materialien zusammengearbeitet. Mit Hilfe der offenen VX200-HSS-Plattform und unserem neuen Open Software Kit für Entwickler ist es möglich, die HSS-Prozessparameter frei auf die gewünschten Materialcharakteristika abzustimmen und zu überwachen.

"Für uns als Hersteller von Hightech-Polymerwerkstoffen war das von Anfang an klar: Die additive Fertigung hat das Potenzial, die heutigen Fertigungsparadigmen zu verändern. Aber um dies zu erreichen, sind die geeigneten Materialien entscheidend. Deren Entwicklung und die Versuche auf 3D-Drucksystemen erfordern große Bemühungen. Durch die Zusammenarbeit mit dem Material Certification Lab von voxeljet konnten wir aus erster Hand und vor Ort mit unseren Pulverprodukten auf dem spezifischen Drucksystem experimentieren. Dies erwies sich als äußerst effizient und ermöglichte es uns, ein neues Material schneller als jemals zuvor zu qualifizieren."

Bettina Mettmann, Technical Expert pulverbasierte AM Materialien
Covestro



Unsere globalen Polymer-Partner: Passen Sie den HSS-Prozess individuell auf Ihre Materialanforderungen an.

Drei Schritte führen zur optimalen Materialentwicklung.

Generell bietet voxeljet die Wahl zwischen zwei Herangehensweisen zur Materialqualifizierung:

Zum einen können Kunden ihre eigene VX200 HSS dafür nutzen oder alternativ mit dem Material Certification Lab von voxeljet in Friedberg, Deutschland, zusammenarbeiten. Im Material Certification Lab von voxeljet erfolgt die Materialqualifizierung in fünf Schritten. Bis erste Testteile gedruckt werden können, vergehen ca. 40 Tage. Diese 40 Tage sind eine entscheidende Lernphase, die im Folgenden erläutert wird.

Das Fundament: Die grundsätzliche Materialprüfung

Sicherheitsdatenblätter geben erste Hinweise auf die Druckbarkeit eines Materials

Der erste Schritt, bevor ein neues Material auf dem 3D-Drucker getestet wird, ist eine allgemeine Werkstoffprüfung, bei der das Sicherheitsdatenblatt überprüft und eine optische Analyse hinsichtlich der Korngrößenverteilung, Fließfähigkeit und Homogenität etc. durchgeführt wird. Diese Analyse liefert erste entscheidende Erkenntnisse darüber, ob das Material im Allgemeinen verdichtet werden kann. Als nächstes wird - je nach Material - eine dynamische Differenzkalorimetrie (DSC) durchgeführt, um die Phasenübergänge wie Schmelz- und Rekristallisationstemperaturen des Materials zu bestimmen. Dabei handelt es sich in der Regel um die maßgeblichen Temperaturen, die für den HSS-Prozess definiert werden müssen.

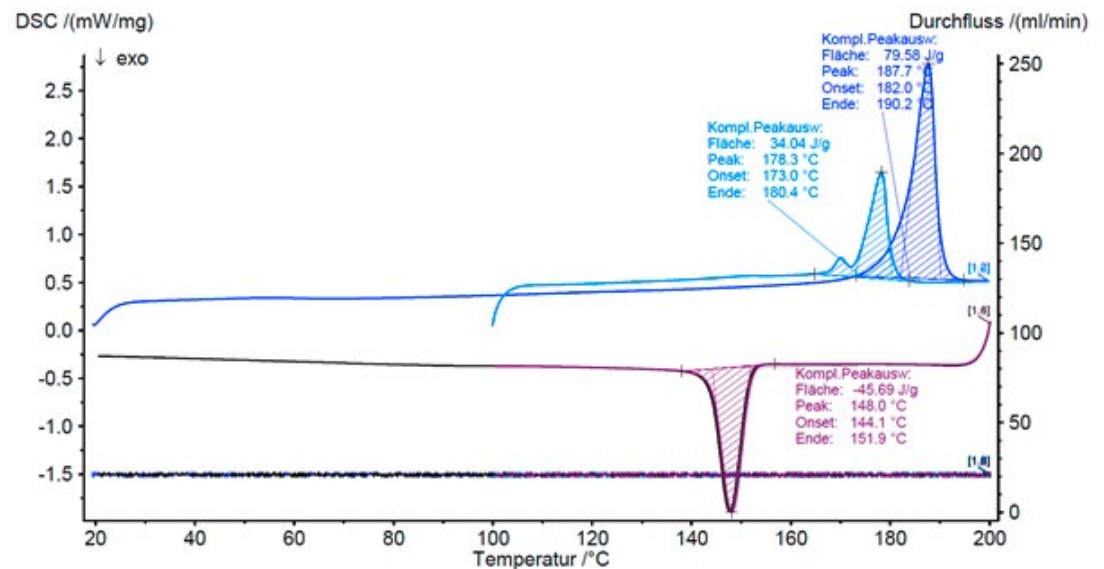
Neben diesen Temperaturen sind weitere Informationen wie z. B. die Abkühlgeschwindigkeit und Informationen über die Schmelzenthalpie ebenfalls von Bedeutung für die Verfeinerung und Optimierung des Druckprozesses. Diese Angaben liefern erste Anhaltspunkte dafür, wie die Verarbeitungstemperaturen innerhalb des Druckers in einem späteren Stadium eingestellt werden können.

Es gibt jedoch auch Pulver, bei denen eine DSC-Analyse keine aussagekräftigen Erkenntnisse über die Verarbeitung mittels HSS bietet. Beispielsweise thermoplastisches Polyurethan (TPU); da es sich im Vergleich zu anderen Pulvern wie z.B. PA12 physikalisch anders verhält. TPU neigt beispielsweise dazu, beim Abkühlen nicht so stark zu schrumpfen wie Polyamid 12 (PA12). Aus diesem Grund ist das Wissen über das sog.

Nicht bei allen Materialien ist die DSC Analyse aussagekräftig.

Sinterfenster nicht von wesentlicher Bedeutung. Für Werkstoffe wie TPU sind vielmehr andere Kennzahlen relevant, um eine erfolgreiche HSS-Verarbeitung zu ermöglichen. Diese werden weiter unten in der Zusammenarbeit mit Covestro ausführlicher diskutiert.

"Bei der ersten, initialen Materialprüfung verlassen wir uns sehr auf unsere Erfahrung und visuelle Inspektionen", erwähnt Christoph Scheck, Leiter der HSS-F&E bei voxeljet. "Über die Zeit und mit jedem neuen Pulver, das wir getestet haben, konnten wir eine Menge an Know-how sammeln. Dieses haben wir in einem eigenen Berechnungstool festgehalten. Diese Berechnungen und Datensammlungen geben uns erste Hinweise, wie sich der Werkstoff auf dem Drucksystem verhalten könnte und welche Einstellungen am besten für einen erfolgreichen Druckprozess geeignet sind."



Die DSC-Analyse, hier am Beispiel von Polyamid 12 gibt Auskunft über das Schmelz und Rekristalisationsverhalten des Materials. Hier an den blauen Graphen ist der Schmelzbereich des Materials ab 173°C erkennbar. Der violette Graph zeigt, dass das Material ab etwa 152°C wieder in einen festen Aggregatzustand übergeht. Entsprechend sollte die Prozessparametrierung anhand dieser Kennzahlen orientiert werden.

Drucker- und Prozessparametereinstellung

Während das Berechnungstool Ihnen einen ersten Eindruck davon vermittelt, wie das Material gedruckt werden kann, muss die detaillierte Drucker- und Parametereinstellung für jedes neue Material angepasst und definiert werden.

Nachdem das Material die Grundqualifikation bestanden hat, kann die Einrichtung der HSS-Parameter beginnen. Zu den wichtigsten einstellbaren Parametern gehören die Wiederbeschichtungseinstellungen, die Prozesstemperatur, die Sinterenergie und -geschwindigkeit, sowie die Absorberdichte oder der Bindemittelgehalt.

Die Variabilität des Schichtauftrages

Beschichtungsversuche legen den Grundstein bei der Qualifizierung.

Beschichtungsversuche, auch Recoating-Tests genannt, liefern die Ausgangslage über wertvolle Informationen wie die Korngrößenverteilung oder Pulversteifigkeit. Diese Faktoren sind nicht immer von der Kornform abhängig. Die Mechanik hinter der Neubeschichtung ist insgesamt recht komplex, und derzeit gibt es keine rechnergestützten Simulationen, die diese Phase der Materialentwicklung vereinfachen können.

Aus diesem Grund werden bei den ersten Recoating-Tests untersucht, wie glatt und gleichmäßig das Pulver aufgetragen werden kann. Diese Testphase wird ohne Energieeintrag durchgeführt und konzentriert sich ausschließlich auf die Verteilbarkeit des Pulvers. Stellschrauben für das Anpassen an die Pulveranforderungen stellen in dieser

Der Pulverauftrag entscheidet die Druckgeschwindigkeit und Oberflächengüte

Phase die Recoaterspalte, Rakel und Vibrationsfrequenz des Recoaters - die das Pulver zum Fließen bringt - dar. Diese können entsprechend für eine optimale Beschichtung schnell digital oder manuell angepasst werden.

Abhängig von der durchschnittlichen Korngröße des Pulvers können die Schichtstärken individuell eingestellt werden. Die Korngröße ist zudem entscheidend, wenn es um die Oberflächenqualität der gewünschten Bauteile geht. Je größer das Korn, desto rauer die Oberfläche. Bisher wurden auf der VX200 Korngrößen von 55 µm bis 1 mm erfolgreich verarbeitet. Nach diesen Versuchen beginnt die Feinabstimmung der Prozesstemperaturen und des tatsächlichen Sinterverhaltens des Materials.

Hardware

Test-Makro

Job-Makros

Prozesse

Rückgabeparameter Mapping

UI-Konfiguration

Texte

Schnellkonfiguration

Vamos-Konfiguration

Delay_RecoaterEmpty00:02:00.000

Delay_RecoaterPredose1.0

Delay_Refill1.0

Delay_Venturi_Parallel_Stop2.5

Fireboard

Fireboard_Palette0,1,2,3,4,5,6,2

Fireboard_Palette_BACKUP0,0,0,0,0,0,2

Fireboard_TestImage_NozzleTestD:\voxeljet\ProPrint\Config\Bitmaps\bitmap_testimage.png

Fluidsystem

Fluidsystem_Pressure_High-55

PROZESSVARIABLEN

VX200HSS-Parallel

Speed_Rec0.07

Speed_Sinter0.22

Speed_Print0.39

LayerThickness0.1

VX200HSS-Parallel_Continue

Speed_Rec0.07

Speed_Sinter0.22

Speed_Print0.39

LayerThickness0.1

Recoater-Anpassungen in Software

Individuelle Prozesstemperatur

Die Einstellung der richtigen Prozesstemperatur ist einer der wichtigsten Faktoren für den Druck qualitativ hochwertiger Bauteile.

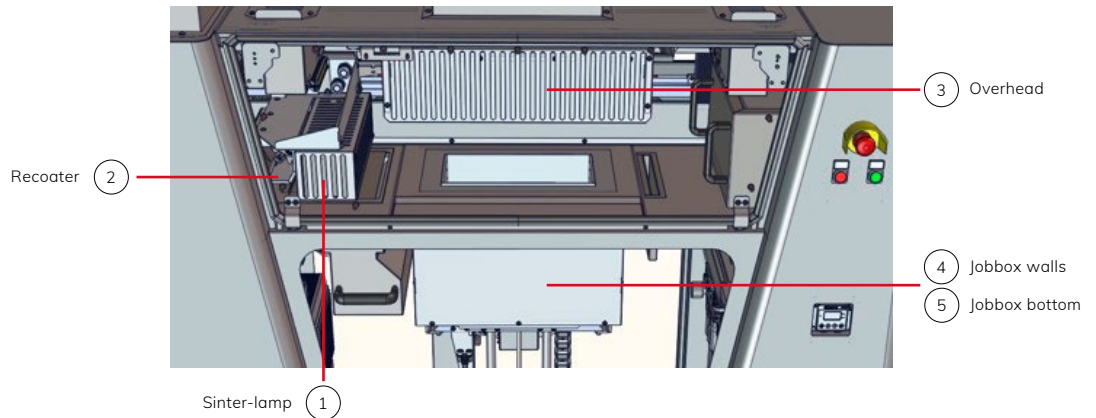
Die VX200-HSS verfügt insgesamt über fünf verschiedene Wärmequellen, die individuell angepasst werden können.

Alle einzelnen Wärmequellen werden von der Heat Control Unit (HCU) gesteuert, geregelt und bestehen aus der IR-Sinterlampe, der Oberlichtlampe sowie den Wärmequellen im Recoater, den Jobbox-Wänden und der Jobbox-Plattform. Dies ermöglicht die präzise Temperaturregelung, um die Prozessumgebung extrem stabil und präzise zu temperieren.

"Jede einzelne Wärmequelle spielt für jedes Material eine wichtige Rolle und die Parametersätze können sehr unterschiedlich sein. Im Laufe der Zeit haben wir viele Erkenntnisse über bestimmte Beziehungen zwischen diesen Wärmequellen gewonnen, die uns helfen, die Materialentwicklung zu beschleunigen. Alles in allem liefert jedes

Das Temperaturmanagement ist entscheidend für erfolgreichen 3D-Druck.

neue Polymer einen dynamischen Prozess, bei dem jede Wärmequelle die andere beeinflusst." erklärt Christoph Scheck:

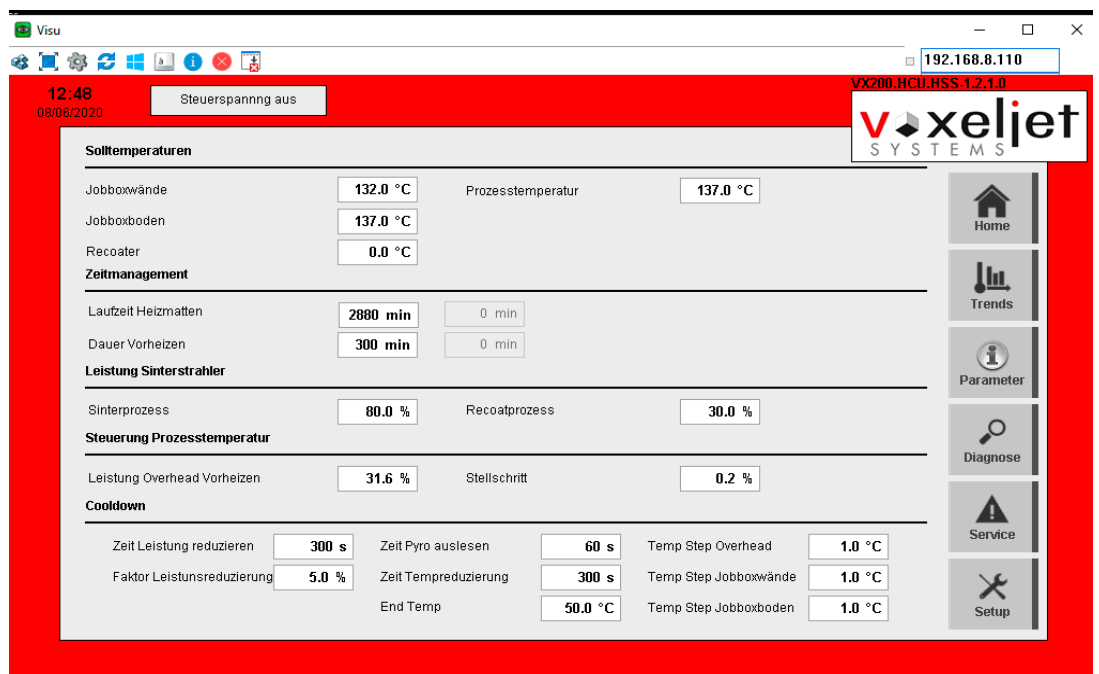


Innenraum-Aufbau inkl. Temperaturquellen der VX200-HSS

Unterschiedliche Wellenlängen eliminieren den Bedarf für sekundäre Bindemittel.

Der springende Punkt ist, dass mindestens zwei Wärmequellen im System zusammenarbeiten. Eine, die im sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums arbeitet und eine, die im unsichtbaren Bereich arbeitet. Das VX200 HSS-System ist in der Lage, zwischen bedruckten und unbedruckten Bereichen zu unterscheiden und den Energieeintrag gezielt zu steuern, was eine Feinststeuerung des Sinterprozesses ermöglicht. Während das Overhead-Aggregat den gesamten Bauraum und das Baufeld gleichermaßen erhitzt, also nicht zwischen bedruckt und unbedruckt unterscheidet, emittiert die sogenannte Sinterlampe am Recoater Wellenlängen im nahen infraroten Spektralbereich die nur von den gefärbten Teilen des Pulvers absorbiert werden. Das Ergebnis ist, dass die bedruckten Bereiche ihren Schmelzpunkt erreichen und von einem festen in einen flüssigen Aggregatzustand übergehen.

Die Grundtemperaturen werden hauptsächlich aus der DSC-Analyse entnommen und die Oberflächentemperaturen sowie die Sintertemperatur in der HCU feinjustiert.

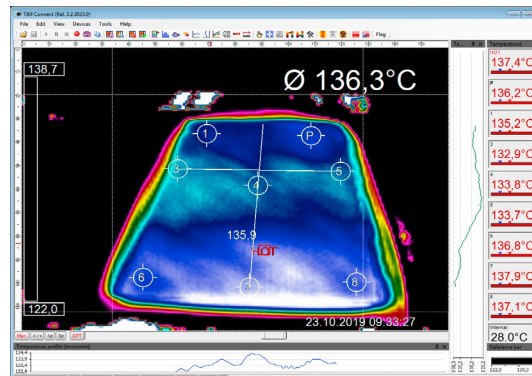


Ein Blick in die Heat-Control-Unit (HCU) der VX200 HSS. Die HCU steuert alle Temperaturquellen des 3D-Drucksystems.

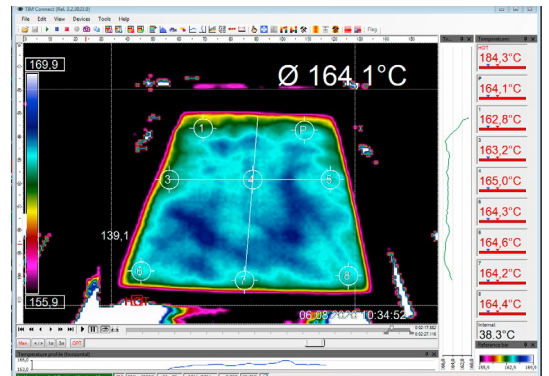
Die externe Heat Control Unit überwacht und adaptiert das Temperaturmanagement.

Mit Hilfe eines Pyrometers werden die Live-Temperaturen auf der Baufeldoberfläche und die in der HCU eingestellten Soll-Temperaturen nach jeder neuen Schicht verglichen und durch Anpassung der Energieabgabe für jede nachfolgende Schicht automatisch ausgeglichen.

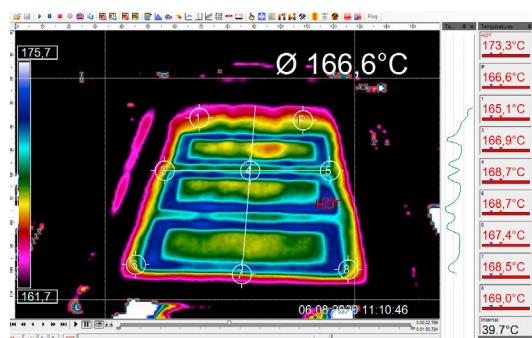
Darüber hinaus liefert eine IR-Kamera Informationen über die Temperaturverteilung auf dem Baufeld und bewertet, wie stark sich das Pulverbett nach einer frisch aufgetragenen Schicht abkühlt. Bei Bedarf kann dieser Temperaturabfall z.B. durch das Overhead-Aggregat kompensiert werden.



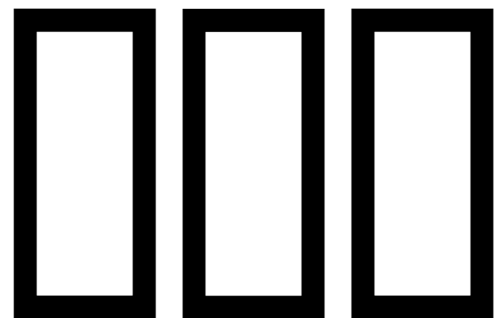
Das Baufeld der VX200 HSS mit schlechter Temperaturverteilung (zu niedrig)



Das Baufeld der VX200 HSS mit guter Temperaturverteilung (kurz vor dem Schmelzpunkt)



Hier erkennbar: Die bedruckten Flächen des Baufeldes absorbieren mehr Hitze und erreichen den Schmelzpunkt (170 °C). Unbedruckte Flächen erreichen den Schmelzpunkt nicht und das Pulver bleibt lose.



Zu den Druckteilen gehörige Bitmap

Das absichtliche verbacken und provozieren von Curling hilft das Sinterfenster zu ermitteln.

"Offen gesagt versuchen wir in dieser Entwicklungsphase das Pulver mehr oder weniger zu verbacken. Haben wir diesen Punkt erreicht, starten wir damit, erste Biegeriegel zu drucken und die Temperatur nach und nach zu senken. So lange, bis wir erste Curling- oder Warpingscheinungen an den Bauteilen erkennen. So lernen wir das Sinterfenster des Materials kennen und beginnen in diesem Temperaturbereich damit, die endgültigen Parameter zu definieren." so Scheck.

Sobald die Beschichtungs- und Temperatureinstellungen festgelegt sind, bleibt nur noch eine Variable zum Anpassen, nämlich der Absorbereintrag.

Die Absorberdichte und die Graustufen

Nicht zuletzt spielt der Bindemittel- bzw. Absorbergehalt bei der Einstellung der richtigen Prozessparameter eine weitere, zentrale Rolle. HSS verwendet IR-absorbierende Tinte (auch Absorber genannt), um die Energie zu übertragen und so die eingefärbten Teile jeder Schicht zusammen zu sintern. Der größte Teil der Tinte besteht aus der Trägerflüssigkeit, die während des Sinterprozesses verdampft. Zurück bleibt ein kleiner Prozentsatz des Farbstoffs, der geschmolzen und in das Pulver gemischt wird, wodurch die Bauteile eine gräuliche Optik erhalten.

Um die qualitativ hochwertigsten Ergebnisse in Hinblick auf Dichte, Zugfestigkeit und Bruchdehnung zu erzielen, ist es wichtig, die richtige Menge an Tinte und die Menge der zugeführten Energie auszubalancieren.

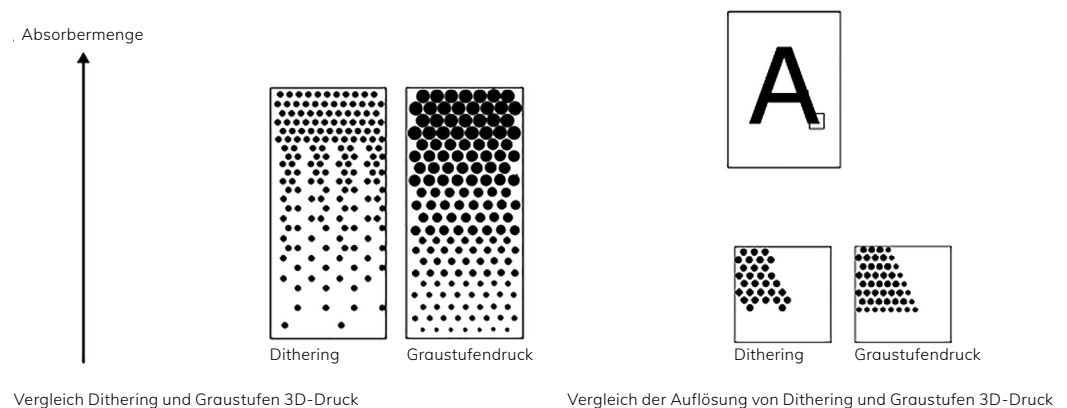
Die größte Herausforderung bei der Suche nach dem richtigen Tintenvolumen besteht

The absorber volume is dependent on the melting enthalpy of the material.

darin, diese auf die jeweilige Schmelzenthalpie abzustimmen. Pulver mit niedriger Schmelzenthalpie benötigen eine geringere Menge an Tinte und umgekehrt. Da die Tinte jedoch den Energieabsorber trägt und die Sinterlampe am Recoater befestigt ist, wird die Recoatinggeschwindigkeit zu einer weiteren entscheidenden Variablen. Beide Variablen können unabhängig voneinander eingestellt werden. Die Absorberdichte bestimmt die Intensität des Energieflusses, während die Sinter- bzw. Recoatinggeschwindigkeit die Dauer der Energieeinwirkung dezidiert. Je mehr Tinte in das Pulverbett eingetragen wird und je mehr Energie von den eingefärbten Bereichen des Pulvers absorbiert wird, desto größer ist das Risiko, dass die Bauteile sich verziehen oder krümmen. Bei der HSS-Technologie können beide Parameter individuell eingestellt werden, um die optimalen Bauteileigenschaften zu erreichen.

"Mit unserer einzigartigen Druckkopftechnologie sind wir in der Lage, sechs verschiedene Graustufen zu drucken, die die Menge der in das Pulver gedruckten Tinte angeben. Wir können die Menge im Pikoliterbereich äußerst präzise variieren. Unterschiedliche Graustufen ermöglichen es uns, den Absorptionsgrad zu beeinflussen. Das bedeutet, dass die Absorption umso höher ist, je dunkler der Druckbereich ist. Dadurch sind wir in der Lage, nicht nur verschiedene Teileigenschaften innerhalb einer Schicht zu drucken, sondern diese Bauteileigenschaften in allen drei Dimensionen zu beeinflussen."

Christoph Scheck, Manager High Speed Sintering
voxeljet AG



Mit der Graustufentechnologie ist es möglich, unterschiedliche Materialfestigkeiten in nur einer Schicht zu realisieren.

Selektiver Tinteneintrag
fördert die Recyclingrate.

Sobald die Tinte gedruckt wird, passen sich die Wärmequellen, z.B. das Overhead-Aggregat an. Das Drucksystem balanciert sich gewissermaßen selbst wieder aus. Auf diese Weise wird die Prozesstemperatur schnell angeglichen, um eine konstante Gesamttemperatur zu gewährleisten. Anschließend wird das Pulverbett von der Sinterlampe bestrahlt. Diese Lampe bringt genau die Energiemenge ein, die benötigt wird, um die mit Druckfarbe bedruckten Pulverpartikel zum Sintern zu bringen. Dieser selektive Energieeintrag schützt das unbedruckte Pulver, sichert die Materialeigenschaften und ermöglicht eine höhere Recyclingrate.

Die Tintenstrahldruckköpfe sind in der Lage, neben dem eigentlichen Volumen den Eintrag zusätzlich durch Dithering weiter anzupassen. Im Gegensatz zum Graustufen-Druck beschreibt die Dithering-Technologie eine Rasterdrucktechnik, um eine Illusion verschiedener Farb- bzw. Grautöne zu erzeugen.

Die Graustufentechnologie ermöglicht variable Materialeigenschaften in einer Schicht.

Hinsichtlich der Kantenschärfe bietet der Graustufendruck eine höhere Auflösung und verbesserte Ergebnisse. Allerdings lassen sich mit Hilfe des Ditherings mehr Grautöne realisieren, da die Abstände zwischen den einzelnen Tropfen variiert werden können. Beide Techniken können aber auch kombiniert werden, um beide Vorteile, hohe Präzision in der Kantenschärfe und zusätzliche Grautöne zur Beeinflussung der mechanischen Eigenschaften der gedruckten Bauteile, zu vereinen. Zum Beispiel, um verschiedene Härtebereiche innerhalb einer Schuhsohle zu implementieren, und somit die Dämpfungseffekte für den Fuß zu optimieren.

Nachdem die Einstellungen für den Tinten- bzw. Absorbereintrag abgeschlossen sind, muss der Prozessablauf abgestimmt werden. Die tatsächlichen Druckgeschwindigkeiten, die Temperaturvariationen und alle relevanten Prozessschritte müssen in der richtigen, zeitlichen Sequenzierung definiert werden, um die endgültigen Parameter des Druckprozesses final zu definieren. voxeljets offenes Software-Kit für den VX200 HSS gestattet die individuelle Makroprogrammierung, um dies auf reproduzierbare und präzise Art und Weise zu erreichen.

Außerdem ist eine genaue Überwachung der Oberflächentemperatur des Baufeldes von entscheidender Bedeutung. Zu diesem Zweck liefert das zusätzliche Softwaretool VAMOS individuelle, wertvolle Informationen zur Prozessstabilität. Zum Beispiel die für jede Schicht gemessenen Prozesstemperaturen. Die Daten werden in einer relationalen Datenbank gesammelt und archiviert, um vertiefte Einblicke in das Temperatur- und Druckverhalten zu gewähren. Beispielsweise kann das Abkühlverhalten nach dem Wiederbeschichten einer neuen Schicht analysiert werden, um die Wärmequellen fein abzustimmen und die Prozessstabilität für die kommenden Druckaufträge weiter zu optimieren.

Zur Finalisierung und Optimierung der Wirtschaftlichkeit des Prozesses müssen die Recyclingquote des Materials, die Schichtzeitoptimierung und die mechanischen Eigenschaften des Bauteils untersucht werden. All diese Eigenschaften werden durch die definierten Prozessparameter beeinflusst. Durch genaues Beobachten und Verbessern der Werkstoffe und des Systemverhaltens während der Entwicklungsphase können die Parameter so detailliert definiert werden, dass auch die Wirtschaftlichkeit für Produktionsprojekte optimiert wird, wodurch sowohl perfekte Bauteilequalität und -eigenschaften als auch die Wirtschaftlichkeit der Gesamtproduktion sichergestellt wird.

TPU-Qualifikation von Covestro

2019 gingen Covestro und voxeljet eine Kooperation zur Entwicklung eines TPUs ein.

Anfang 2019 gingen Covestro und voxeljet eine solche Qualifikations-Kooperation ein, um gemeinsam ein thermoplastisches Polyurethan (TPU) für den High Speed Sintering (HSS) Prozess zu qualifizieren. Nicht nur aufgrund der Flexibilität bei der Einstellung und Anpassung der Prozessparameter, sondern auch, weil HSS in der Massenproduktion große Durchsatz- und Kostenvorteile bietet.

Auf der 3D-Druck Fachmesse Formext, präsentierte Covestro im November 2019

Die additive Fertigung bedient viele Trends in der Schuhindustrie.

erste, teilweise im HSS-Verfahren gedruckte TPU-Teile für die Schuhindustrie. Seitdem hat der Hersteller von Hightech-Polymerwerkstoffen die Entwicklung und Adaptierung von Additive Manufacturing für die Orthopädie- und Schuhindustrie kontinuierlich weiterentwickelt.

"Es gibt drei große Trends in der Schuhindustrie: Individualisierung, Automatisierung und Nachhaltigkeit. Mit Hilfe der additiven Fertigung können all diese Trends bedient werden."

Lukas Breuers, Business Development Manager
Covestro



Mit Hilfe der additiven Fertigung schuf Covestro den ersten vollständig in 3D gedruckten Schuh, bei dem verschiedene AM-Verfahren zum Einsatz kamen. Die Zwischensohle wurde beispielsweise aus TPU im HSS Prozess gedruckt.

Covestro ist einer der weltweit führenden Hersteller von High-Tech-Polymeren für verschiedene Industriezweige. Als etabliertes und zukunftsorientiertes Unternehmen begann Covestro vor acht Jahren mit der Entwicklung hochperformanter Materialien für die additive Fertigung. Seitdem hat Covestro zahlreiche Materialien für alle relevanten 3D-Drucktechnologien wie Filament Extrusion, Photopolymerisation und Powder-Bed-Fusion auf den Markt gebracht. Im Jahr 2019 führte Covestro dann erfolgreich seine erste, eigene Marke Addigy ® ein, die alle hochwertigen Polymermaterialien für den industriellen 3D-Druck umfasst. Neben einer Vielzahl von Materialien kann Covestro auch ein breites Portfolio an TPU Pulvern für Powder-Bed-Fusion-Prozesse anbieten. Für das HSS-Verfahren, bei dem es sich um eine solche Prozesstechnologie handelt, sind verschiedene TPU-Typen erfolgreich evaluiert worden, darunter Materialien mit einer Shore-Härte von 77A, 86A und 60D.

Zahlreiche Materialeigenschaften können durch Druckprozessoptimierung sichergestellt werden.

TPU ist ein sehr vielseitiges Material, dessen Eigenschaften stark variieren können: Es kann elastisch wie Gummi sein, aber auch Steifigkeiten und Härten ähnlich dem eines technischen Thermoplasts ausweisen. Auf Grund dessen, findet TPU in Industriezweigen, wie der Herstellung von Schuhen und orthopädischen Produkten, der Automobil- und der Transportindustrie, Anwendung.

Das Material weist unter anderem Eigenschaften wie hohe Elastizität und Stoßdämpfung, Reiß- und Abriebfestigkeit sowie eine regulierbare Rückstoß- und Dämpfungsrate auf. Die Konservierung dieser Kerneigenschaften ist das Hauptziel bei der Qualifizierung eines neuen Materialsatzes und kann durch Hardware- und Softwareanpassungen des 3D-Drucksystems gesteuert werden.

Materialdaten TPU

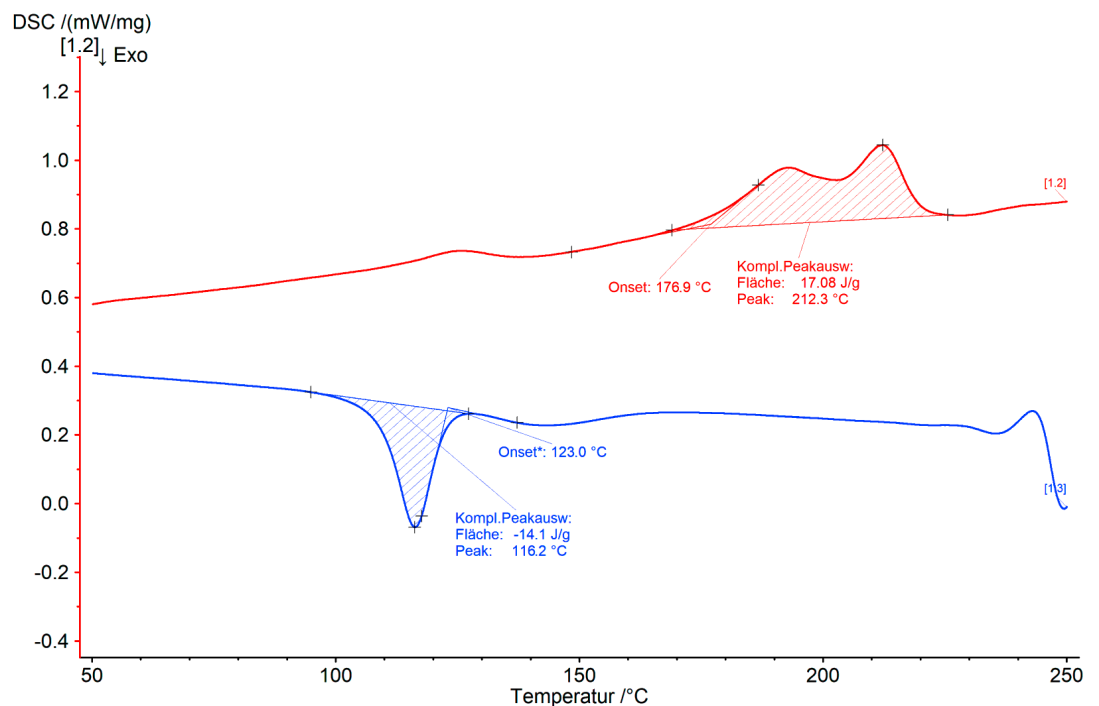
Material	TPU 77A	TPU 86A	TPU 60D
Shore Härte	75-84A	85-89A	60-64D
Partikelgröße D50	96 µm	-	100 µm
MVR (10kg/190°C/5min// 220°C//**210°C// ***2,16kg/190°C)	16 ccm/10 min	45 ccm/10 min	124 ccm/10 min
Melting range	ca. 100-180 °C	ca. 100-150 °C	ca. 190-260 °C
Tg	-35 °C	-47 °C	-30 °C
Powder bulk density	0,42 g/ccm	0,44 g/ccm	0,47 g/ccm
Tear strength (SLS) XY	4 MPa	12 MPa	18 MPa
Elongation at break (SLS) XY	216 %	500 %	217 %

Ein breites Sinterfenster vereinfacht den 3D-Druck und erhöht die Recyclingrate.

Die Verarbeitung von TPU ermöglicht das Drucken bei einer niedrigen Bauraumtemperatur, wodurch fast 100% des ungesinterten Pulvers recycelt und wiederverwertet werden können. Darüber hinaus hat TPU ein vorteilhaftes Rekristallisationsverhalten, das zu einer geringen Schrumpfung der gedruckten Bauteile führt. Somit ist es nicht erforderlich, die Bauraumtemperatur bis zum Ende des Druckprozesses konstant hoch zu halten. So können die gedruckten Bauteile ohne eine zeitaufwändige und kontrollierte Abkühlung sofort entpackt werden. Während andere Materialien ein sehr enges Verarbeitungs- und Sinterfenster haben können, weist TPU ein weites Fenster von > 50°C aus. Im Bezug auf die Prozesseinstellungen und Druckparameter hat TPU somit eine reduzierte Empfindlichkeit und ermöglicht eine ideale Abstimmung von Druckgeschwindigkeit und Bauteilqualität.

Unterschiedliche 3D-Drucksysteme und Verarbeitungstechnologien stellen unterschiedliche Herausforderungen an das zu verarbeitende Material. Mit Zusatzstoffen können die Pulvereigenschaften, wie z.B. die Fließfähigkeit, beeinflusst werden. Werden dem Pulver jedoch zu viele Zusätze beigemischt, können die Materialeigenschaften negativ beeinflusst werden. Daher ist es notwendig, die richtige Balance zwischen verbesserter Materialleistung und der prozessabhängigen Verarbeitbarkeit zu finden.

"Mit dem umfangreichen Material- und Technologie-Know-how von Covestro und dem einzigartigen Ansatz von voxeljet, ihre Anlagen physikalisch an den Werkstoff anzupassen."



Im Vergleich zu Polyamid 12 weist TPU ein deutlich breiteres Sinterfenster auf. Seinen Schmelzpunkt erreicht das Thermoplast bei ca. 177°C. Bei ca. 123°C beginnt das Material wieder zu rekristallisieren. Dieses breite Sinterfenster erleichtert die Verarbeitung des Materials sowie die Einstellung der Prozessparameter.

Hardwareoptimierungen
stellen Druckbarkeit
sicher.

passen, können gemeinsam optimale Lösungen für unsere Kunden entwickelt werden", erklärt Bettina Mettmann.

Im Falle des spezifischen TPUs für den HSS Prozess, wurden um die Fließ- und Beschichtungsfähigkeit des Pulvers zu verbessern, nicht nur die Dosierung analysiert und angepasst, sondern auch die Hardware optimiert. Durch den niedrigen Einschmelzbereich des Pulvers, neigt es dazu innerhalb der Materialzuführung zu verbacken. Dies führt wiederum dazu, dass eine saubere Neubeschichtung nicht möglich ist und der Druckprozess fehlschlägt. Dies war eine komplexe Herausforderung, die durch enge Zusammenarbeit überwunden werden konnte.

Die Skalierbarkeit des
Binder-Jettings gibt
Zukunftsperspektiven für
die Massenfertigung.

"Das entscheidende Know-how, das wir für die Parametrisierung des Systems benötigen, sind die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Werkstoffs sowie die Eigenschaftsbeziehungen untereinander. Bspw. die genauen Daten des Kristallisations- und Schmelzverhaltens, die Sphärizität der Pulverkörner und viele mehr. Diese Daten können nur vom Materialhersteller geliefert werden." erklärt Christoph Scheck, R&D Manager für HSS bei voxeljet.

Eine weitere Hardware-Modifikation war das Hinzufügen einer Pulverfluidisierung in das Materialreservoir. Durch den vorsichtigen Eintrag von Druckluft durch das Reservoir bleibt das Pulver locker und verhält sich gewissermaßen wie eine Flüssigkeit. Andernfalls würde das Materialgewicht ausreichen, um das Pulver so stark zu verdichten, dass dieses zu stark komprimiert und damit unbedruckbar wird.

"Durch die Bündelung der Kompetenzen können sowohl Covestro als auch voxeljet beide Schlüsselemente - Material und Prozess – dahingehend optimieren, dass sie perfekt miteinander harmonisieren. So können wir unseren Kunden eine fortschrittliche Lösung anzubieten", sagt Lukas Breuers, Business Development Manager bei Covestro. "Außerdem bietet HSS einzigartige Möglichkeiten in Bezug auf die Skalierbarkeit. Durch den Einsatz hochleistungsfähiger, industrieller Druckköpfe, die problemlos vergrößert werden können, kann die Leistung der Systeme um ein Vielfaches gesteigert werden und die Voraussetzungen für die additive Massenproduktion erfüllen. Dies ist der nächste Meilenstein, an dem sowohl Covestro als auch voxeljet arbeiten".

Outro

Additive Manufacturing gibt es nun seit über 40 Jahren, und die Technologie wächst und reift stetig weiter. Und genau wie das Fertigungsverfahren selbst, entwickeln sich auch die Anwendungsmöglichkeiten mit jedem neuen, qualifizierten Material.

Während der VX200-HSS auch in kleinem Maße für die Produktion kleiner Losgrößen von kleinen Teilen eingesetzt werden kann, ist ein größeres 3D-Drucksystem erforderlich, um die additive Massenproduktion weiter voranzutreiben und neu zu definieren. Mit unserem VX1000 HSS, das demnächst käuflich zu erwerben sein wird, werden wir in der Lage sein, das richtige System für jede Art von Massenproduktion von Polymerteilen anzubieten.

Gerade für die Massenproduktion ist das Zusammenspiel von Material und Maschine von entscheidender Bedeutung. Deshalb ist der VX200-HSS die ideale, skalierbare Forschungslösung, um die Grenzen auszuloten und zu sprengen.

voxeljet AG

Paul-Lenz-Straße 1a
86316 Friedberg
Germany
Tel +49 821 74 83-100
Fax +49 821 74 83-111
info@voxeljet.de
www.voxeljet.com



Garantie/Haftungsausschluss: Die Leistungsmerkmale dieser Produkte können je Einzelfall variieren. voxeljet übernimmt keine Haftung für die tatsächliche Verkehrsfähigkeit der Produkte, sowie für die Anwendbarkeit der Produkte im Einzelfall. ©voxeljet. Alle Rechte vorbehalten. Die Bezeichnungen voxeljet, VX200, VX500, VX1000, VX2000 und VX4000 sind eingetragene Marken der voxeljet AG. Änderungen vorbehalten. Stand: 10/2020. Änderungen vorbehalten. voxeljet ist ISO 9001 - zertifiziert.