

Den Druck SIMULIEREN

Additive Fertigung wirkt verlockend – jedoch ist der scheinbar einfache schichtweise Fertigungsprozess komplex – so komplex, dass der menschliche Entwickler kaum noch alle Parameter berücksichtigen kann – spezialisierte Simulationssoftware hilft, die Komplexität zu händeln.

› von Dr. Hendrik Schafstall

Die additive Fertigung (AM) metallischer Bauteile im Pulverbettverfahren etabliert sich zunehmend als ergänzendes und zum Teil auch alternatives Fertigungsverfahren in immer mehr Branchen weltweit. Der wesentliche Vorteil des Verfahrens ist die werkzeuglose Herstellung nahezu jeden beliebigen Designs. Dies erlaubt filigrane, auf ein Minimum an Steifigkeit optimierte Bauteile herzustellen und besondere Funktionselemente wie Kühlkanäle direkt mit zu drucken und in das finale Bauteil einzubringen. Funktionen also, die mit konventionellen Fertigungsverfahren oftmals nicht herstellbar sind.

Noch hohe Zusatzkosten

Ein wesentlicher Nachteil des Verfahrens sind jedoch die noch sehr langen Bauzeiten und der eingeschränkte Bauraum. Weiterhin sind noch nicht alle Folgeprozesse automatisiert, so dass einige Teilschritte noch manuell ausgeführt werden müssen, was zu hohen Zusatzkosten führt. Daher werden kontinuierlich die Verfahren und Technologien entwickelt, um den Gesamtprozess reproduzierbar und voll automatisiert durchführen zu können. Dazu zählen beispielsweise das automatische Entfernen des Restpulvers aus dem gedruckten Bauteil, entfernen der Supportstrukturen

sowie die Oberflächenbehandlung der Bauteile. Auch wird daran geforscht, eine Wärmebehandlung langfristig entbehrlich zu machen, die aktuell noch für die Reduzierungen von Eigenspannungen und Verzug erforderlich ist. (Beim Pulverbettverfahren erfolgt der Aufbau des Bauteils durch das Aufschmelzen des schichtweise aufgetragenen Pulvers. Durch die nachfolgende Erstarrung und das anschließende Abkühlen kommt es zum Verzug.)

Zudem müssen die frisch entstandenen Bauteilbereiche, die kurz nach der Erstarrung noch keine Eigensteifigkeit haben, gestützt werden. Die sogenannten Stützstrukturen erfüllen dabei drei Ziele: Verzugsminimierung, Einbringung der notwendigen Steifigkeit zur Stützung der neuen Schicht und der Einhaltung der Schichtdicke und die Kontrolle und Temperaturführung des Wärmehaushalts zur definierten Gefügeausbildung.

Daher wird sehr viel Zeit bei der Vorbereitung des Druckjobs mit der Erstellung der Stützstrukturen aufgewendet. Dennoch treten oftmals unerwartete Probleme und Fehler beim 3D-Druck auf, die häufig auf kritische Temperaturgradienten oder das gewählte Design und die Anzahl bzw. Anordnung der Supportstrukturen zurück-



Beim Metall-3D-Druck lassen sich mehrere Komponenten gleichzeitig drucken: Hier zwei Komponenten eines Motorraumscharniers.

Bilder: Simufact Engineering

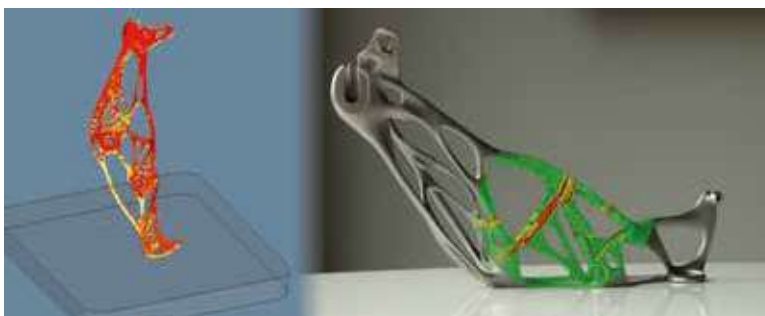
zuführen sind. Dies kann zum Abbruch des 3d-Druckes oder zu Ausschussteilen führt. Die Komplexität und gegenseitige Beeinflussung der Parameter, die hierbei eine Rolle spielen erfordert viel Erfahrung – Erfahrung die mühsam angeeignet oder eingekauft werden muss.

First Time Right

Ziel muss es sein, mit dem ersten Versuch auf der Maschine bereits einen erfolgreichen Druck zu ermöglichen („First Time Right“), um so kostenintensive Iterationschleifen in der Fertigungslinie zu vermeiden und die Produktivität der Anlage zu gewährleisten. Um dies zu unterstützen, kommt der additiven Fertigungssimulation eine besondere Bedeutung zu, mit der ein virtueller, digitaler Zwilling des realen Bauprozesses geschaffen wird, der die Analyse des Baujobs ermöglicht.

Simulationsmethoden wie beispielsweise Simufact Additive ermöglichen es, das erforderliche Prozessverständnis zu bekommen, den Prozess zu optimieren, robust auszuliegen und ein First-Time-Right-Bauteil zu drucken. Fertigungssimulation sollte daher in naher Zukunft zu einem routinemäßigen

Die Fertigungssimulation liefert Informationen über mögliche Probleme – innere Spannungen, Verzug, kritische Temperaturen – die das Bauteil schwächen oder unbrauchbar machen könnten.





Werkzeug in der Fertigungsauslegung von 3D-Druckprozessen werden.

Die Fertigungssimulation

Die Fertigungssimulation Simufact Additive wird weltweit von einer Vielzahl Industrieunternehmen und Forschungseinrichtungen eingesetzt. Einzigartig hierbei sind eine fertigungsnahe Benutzerführung, die einen frühzeitigen Einsatz sowohl in der Design- als auch der Produktionsphase ermöglicht. Das skalierbare Simulationsprogramm erlaubt es, den Pre-Build-Prozess transparent zu gestalten und so den 3D-Druck optimal auszulegen. Die Kernpunkte hierbei sind die durchgängige Betrachtung aller wesentlichen Fertigungsschritte vom Drucken, über eine nachgeschaltete Wärmebehandlung, das Abtrennen von der Bauplatte und die Entfernen der Supportstrukturen bis hin zu einem möglicherweise erforderlichen Prozess des heißisostatischen Pressens (HIP-Prozess). Dieser ist ein relevanter Bestandteil in der Prozesskette metallischer Bauteile für die Luft- und Raumfahrt und kann zu deutlichen Verzug der Bauteile führen.

Beispielprojekt

Die prinzipielle Vorgehensweise zeigt sich an einem typischen 3D-Druckteil eines Motorhaubenscharniers aus dem LightHinge+-Projekt, das EDAG Engineering, das Voestalpine Additive Manufacturing Center und Simufact Engineering gemeinsam durchführt haben, um exemplarisch die Vision einer neuen, innovativen Fahrzeugkomponente zu realisieren. LightHinge+ verzichtet auf die gewichtsintensive und aufwendige Kinematik verschiedener Einzelteile, hergestellt in klassischer Stanz-Biege-Technologie und erzielt durch eine bionische Struktur kombiniert mit einer additiv gefertigten Losbruchstruktur, einen zusätzlichen Freiheitsgrad in der Bewegungskinematik.

Losbruchstruktur und ultraleicht gedruckte Kinematik wirken mit pyrotechnisch ausgelösten Aktuatoren zusammen, die die Motorhaube im Scharnierbereich anheben, um Fußgänger im Fall eines Aufpralls besonders zu schützen. Dieses neue Konzept geht einher mit einer Halbierung des Gewichtes im Vergleich zum konventionell gefertigten Original.

Erst der konsequente Einsatz von Virtual Engineering, um den gesamten Druckprozess zu simulieren und zu optimieren, ermöglichte die Entwicklung solch einer Struktur. Dank der einzigartigen Verzugkompensation innerhalb von Simufact Additive lassen sich die Teile so drucken, dass sie die geforderten Qualitätskriterien erfüllen.

Bauteilorientierung und Supportstrukturen

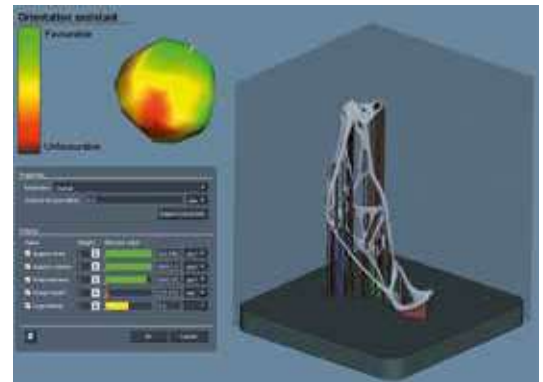
Zu Beginn sollte die optimale Orientierung der Bauteile im Druckraum festgelegt werden. Dies wird oftmals vernachlässigt, da als einziges Kriterium häufig die Verschachtelung möglichst vieler Bauteile im Bauraum berücksichtigt wird. Allerdings hat die Bauteilorientierung durch den schichtweisen Aufbau einen wesentlichen Einfluss auf das Druckergebnis. Daher sollte die Orientierung schon in der Designphase festgelegt werden.

In Simufact Additive steht hierzu ein Orientierungsassistent zur Verfügung, bei dem nach vordefinierten gewichteten Kriterien (Minimierung Supportstrukturen, minimale Bauzeit) mögliche optimale Ausrichtungen vorgeschlagen werden. Damit kann der Anwender einfach die Bauteilorientierung auf der Basis des vorgegebenen Designs bestimmen und festlegen. Anschließend müssen die Supportstrukturen generiert werden. Dies kann durch verschiedene, geometrisch basierte Algorithmen oder auch mit Hilfe einer simulationsgestützten automatischen Optimierung erfolgen.

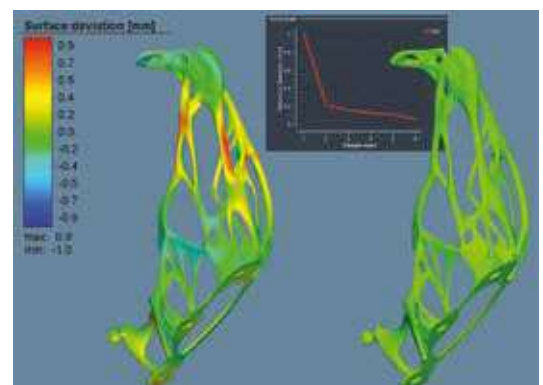
Fertigungssimulation

In der Fertigungssimulation werden alle notwendigen Prozessschritte berechnet bis zum fertigen Bauteil nach der Wärmebehandlung beziehungsweise dem HIP-Prozess. Dabei zeigen sich entstehend Verzug und Spannungen, womit sich daraus möglicherweise folgende Fertigungsprobleme wie Recoater-Kollisionen, Brüche im Bauteil oder den Supportstrukturen sowie Shrinklines erkennen und darstellen lassen. Hierbei stehen dem Anwender der Fertigungssimulation unterschiedliche Analysemöglichkeiten zur Verfügung.

Je nach Aufgabe können Verzug und Spannungen dargestellt werden, aber auch die Auswertung des Temperaturfeldes um beispielsweise kritische Überhitzungen oder zu geringe Aufschmelztemperaturen zu erkennen. Die Analyse kann auch den gegenseitigen Temperaturein-



Die Orientierung der Teile im Aufbauprozess sollte nicht willkürlich getroffen werden. Simulationssoftware ermöglicht heute eine automatische Bestimmung der optimalen Orientierung und damit eine Verringerung von Spannungen im fertigen Bauteil.



Maßabweichungen des gedruckten Bauteils (links) lassen sich mittels einer automatischen, iterativen Verzugkompensation minimieren (rechts).

fluss bei mehreren Bauteilen sowie das Vorheizen der Grundplatte berücksichtigen. Zudem lassen sich lokale Einflüsse, wie der Gasflusses auf das Druckergebnis verlässlich vorherzusagen. Aufgrund der weitreichenden Berücksichtigung derartiger physikalischer Effekte, können Verzug äußerst genau vorhergesagt werden und selbst Beuleffekte bei dünnwandigen Bauteilen sind verlässlich erkennbar.

Verzug kompensieren

Das Erkennen des Verzugsverhaltens ist das eine, diese so zu kompensieren, dass das finale Bauteil annähernd der vorgegebenen Sollgeometrie entspricht, das andere. Hierfür bietet Simufact Additive eine automatische Kompensationsfunktionalität, die die Druckgeometrie so lange iterativ modifiziert, bis die Abweichungen zur Sollgeometrie nach Abkühlung einen minimalen Wert erreichen. Dadurch können Aufmaße minimiert und Nachbehandlungskosten deutlich reduziert werden.

JBI ◀

Dr. Hendrik Schafstall ist CEO und Geschäftsführer von Simufact Engineering.