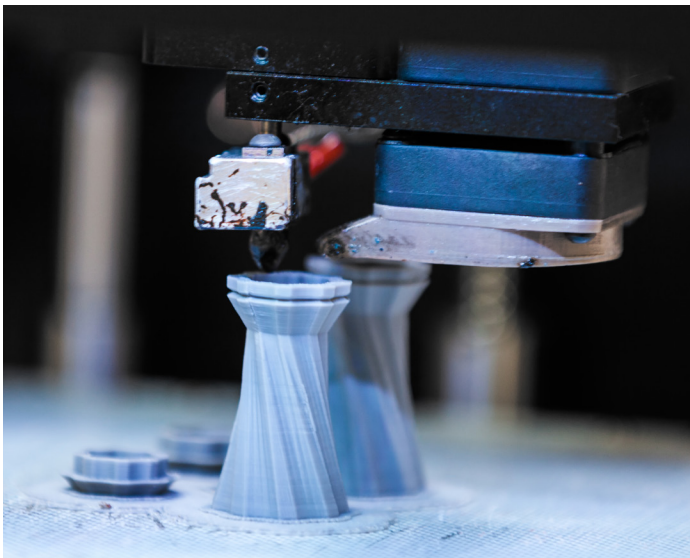


Auswirkung der Variation der Pulverdichte auf die Additive Fertigung (AF)

Additive Fertigung (AF) oder 3D-Druck ist eine der neuesten und aufregendsten Entwicklungen auf dem Gebiet der Fertigung seit der industriellen Revolution. Die Methode basiert zum Großteil auf einer „schichtweisen“ Herstellung und ermöglicht, physikalische Festkörper direkt aus elektronischen Dateien wie Computer-Aided-Design-Software (CAD-Software) zu produzieren.

In Bezug auf Design und Herstellung bietet die AF-Technologie einige Vorteile wie z. B. kurze Produktionszeiten, gestalterische Freiheiten in Bezug auf Geometrie und keinen Werkzeugbedarf. Die Teile können vor Ort ganz nach Bedarf produziert werden und stellen so im Hinblick auf die Anforderungen der Service – und Ausrüstungsverordnungen der US-Streitkräfte und der US-Marine einen enormen Vorteil dar.

Dennoch bleiben einige Probleme bestehen. Da ist zunächst die Frage der Qualität des fertigen Teils (d. h. Prüfung auf mechanisches Versagen). Auch sollte als Ausgangsstoff stets hochwertiges Metallpulver eingesetzt werden, um die Qualität des fertigen Bauteils zu garantieren. Eine uneinheitliche Pulverdichte kann zu porösen, unebenen und mechanisch schwachen Bauteilen führen.



Additive Fertigung im Pulverbett

Das Pulverbett-Schmelzen gehört in der Implantat – sowie der Luft – und Raumfahrtindustrie aktuell zu den am häufigsten angewandten AF-Methoden. Es dient dazu, komplexe Bauteile mit engen Maß – und Oberflächentoleranzen sowie einer guten mechanischen Festigkeit zu produzieren.

Das Elektronenstrahlschmelzen im Pulverbett ist eine relativ neue AF-Technologie. Dabei werden Metallpulverpartikel mittels energiereicher Elektronenstrahlen als mobile Hitzequelle verschmolzen und die zu fertigenden Komponenten so schichtweise aufgebaut. Zu den Verfahrensschritten beim Aufbau der einzelnen Schichten gehören das Auftragen des Pulvers, das Vorheizen, die Konturierung und das Hatch-Schmelzen. Das Pulver wird mit einer Metallraker gleichmäßig Schicht für Schicht verteilt. Die gesamte Pulverbett-Oberfläche wird mit einem einzigen Strahl mit einer Geschwindigkeit von ca. 15 m/s in mehreren Scansvorgängen auf eine konstant hohe Temperatur vorgeheizt.

Nach dem Vorheizen beginnt die Phase der Konturierung bzw. des Hatch-Schmelzens. Dabei werden Elektronenstrahlen über die Pulverschicht bewegt, welche die Kontur des Modellquerschnitts nachzeichnen und anschließend mit einer niedrigeren Scangeschwindigkeit das Innere der Kontur nach einem bestimmten Raster scannen.

Das Elektronenstrahlschmelzen ist eine der wenigen AF-Technologien zur Herstellung von vollständig dichten Metallteilen. Beim Pulverbettsschmelzen ist die Dichte der Pulverschichten im Pulverbett neben der Porosität der eigentlichen Partikel einer der wichtigsten Faktoren.

Definition von Pulverbettdichte

Die Reindichte ist eine inhärente Eigenschaft eines Materials, während die scheinbare Dichte alle im Material eingeschlossenen Hohlräume berücksichtigt. Für den Aufbau des Pulverbetts und das Sinterverhalten während des

AF-Prozesses sowie die Porosität oder fehlende Porosität des Endprodukts ist es wichtig, die Reindichte und/oder die scheinbare Dichte des Ausgangsstoffs zu kennen.

Die ermittelte Stampfdichte und die scheinbare Dichte entsprechen nicht notwendigerweise der Dichte des Pulverbetts oder der Pulverschicht. Die scheinbare Dichte simuliert die lose Lagerung des Pulvers und wird mithilfe der ASTM-B212-Norm gemessen. Dennoch werden in der Literatur zum Thema additive Fertigung häufig Begriffe wie Schüttgutdichte, Pulverbettdichte oder Packungsdichte verwendet, um die Dichte des Pulverbetts während des Pulverbettschmelzens zu beschreiben.

Die Pulverbettdichte eignet sich am besten, um die Dichte eines Metallpulvers bei der additiven Fertigung zu messen. Auch wenn es bereits einige Versuche gab, die Pulverbettdichte zu untersuchen, gibt es keine aktuellen Messnormen. Die Herausforderungen sind:

- Die Ermittlung der tatsächlichen Schichtdichte während des Druckprozesses
- Die Festlegung, wie die entsprechenden Verfahrensparameter bei der additiven Fertigung optimiert werden können, um die höchste Pulverdichte zu erreichen und hochwertigere Bauteile zu erhalten.

Alternativ kann auch die Schüttgutdichte gemessen werden. Diese wird in erster Linie von der Verteilung der Partikelgrößen und -formen beeinflusst. Die Schüttgutdichte ist entscheidend bei der Festlegung von Materialspezifikationen und gibt darüber hinaus unter Umständen Sicherheit hinsichtlich des Fließverhaltens des Pulvers und der Struktur des Pulverbetts. Die Hülldichte ist eine weitere nützliche Kennzahl. Sie basiert

auf dem geometrischen Volumen der Probe und eignet sich für die Charakterisierung des Endprodukts, denn mit ihrer Hilfe kann das Volumen aufwändiger und ungleichmäßiger Endprodukte gemessen werden.

Mit dem AccuPyc II 1340 Helium Pyknometer sowie dem GeoPyc 1365 Hülldichte- und T.A.P.-Dichte-Analysegerät von Micromeritics können Arbeiter wichtige Messungen der Dichte und Porosität durchführen, die erforderlich sind, um die Prozesskennzahlen zu standardisieren und anschließend die gelieferten Rohmaterialien zu klassifizieren und zuzulassen. Außerdem liefern sie wichtige Hinweise zur Qualität des Endprodukts.

Kombiniert mit der mittels einer AccuPyc-Messung ermittelten Reindichte kann die Porosität schnell und einfach bestimmt werden. Beide Instrumente verwenden zerstörungsfreie Prüfmethoden und können bei gemeinsamer Verwendung die Gesamtporosität eines beliebigen Metallpulvers anzeigen.

Variationen der Pulverdichte

Die verschiedenen Ergebnisse des additiven Fertigungsprozesses werden von mehreren Faktoren beeinflusst, sogar dann, wenn wir davon ausgehen können, dass die äußeren Einflüsse konstant sind. Den größten Effekt haben die Laser-/Elektronenstrahl-Parameter, die Prozessumgebung (d. h. das Vorhandensein eines Inertgases, übermäßige Feuchtigkeit) oder der Zustand der Metallpulver selbst (Partikelform, Verteilung der Partikelgrößen oder Fließverhalten).

Das Fließverhalten wird in erster Linie von der Partikelmorphologie bestimmt und ist ein wichtiges Merkmal der für die additive Fertigung geeigneten Pulver. Kugelförmiges Pulver mit einer passenden Partikelgröße garantiert die optimale Packungsdichte während der Verarbeitung. Diese wirkt sich positiv auf die Vollständigkeit und die Oberflächenbeschaffenheit der additiv gefertigten Teile aus. Das liegt daran, dass kugelförmige Partikel im Vergleich zu andersförmigen Partikeln die höchste relative Dichte erreichen können.

Die für additive Fertigung im Pulverbett geeigneten Pulver werden in der Regel mittels eines Gasverdüsung genannten Verfahrens produziert, mit dem die beste Morphologie erreicht werden kann. Die für die additive Fertigung hergestellten Pulver sollten erneut mit einem Rasterelektronenmikroskop (REM) überprüft werden, um festzustellen, ob sie für ein entsprechendes additives Fertigungsverfahren geeignet sind oder ob sie weitere Verarbeitung benötigen, um unregelmäßigen Partikeln eine Kugelform zu verleihen.

Aktuelle Studien weisen darauf hin, dass eine höhere Packungsdichte des Pulvers zur Produktion dichter Bauteile mit glatteren, wie konzipierten Oberflächen führt. Eine mäßig geringere Packungsdichte scheint die Flüssigkeitskonvektion aufgrund der Schwerkraft zu verbessern. Diese starken Abwärtsbewegungen fördern eher die hydrodynamische Instabilität des Schmelzbads und führen zu einem „Zusammenballen“ und der Ausbildung entsprechender Defekte.

Es kommt zu einem Zusammenballen, wenn ein während des selektiven Laserschmelzens beim additiven Fertigungsverfahren entstandenes Schmelzbad unterbrochen wird und mehrere getrennte Inseln entstehen, welche die Wahrscheinlichkeit möglicher mechanischer Defekte und Oberflächenprobleme erhöhen. Die Erhöhung der durchschnittlichen Packungsdichte von 38 % auf 45 % verhindert das Unterbrechen des Schmelzbads und sorgt für eine glattere Oberfläche.

Aufbau des Pulverbetts

Die Art und Weise, in der die Pulverpartikel während des Auftragens des Pulvers mit der Rakel eng aneinander liegen, ist für die additive Fertigung von höchster Wichtigkeit, um dichte Teile zu erhalten.

Es ist bestens bekannt, dass kugelförmige Partikel im Vergleich zu anderen Partikelformen die höchste Packungsdichte aufweisen. Größere Partikel haben aufgrund des relativen Beitrags der Schwerkraft im Vergleich zu der Haftkraft zwischen zwei Partikeln eine höhere Packungskapazität als kleinere. Partikel mit einer breiteren Partikelgrößenverteilung haben bessere Packungseigenschaften als solche mit einer engeren Partikelgrößenverteilung. Zusätzlich verwenden unterschiedliche Pulverbett-Schmelzmaschinen wie Arcam, EOS, Concept Laser und 3D-Systeme beim Auftragen des Pulvers verschiedene Techniken, die zu unterschiedlicher Dichte des Pulverbetts führen.

Die aktuelle Packungsdichte des Pulvers beträgt bei der Verwendung von Weich- oder Hartbeschichtungen 47 % bis 55 %, das entspricht ungefähr der Packungskapazität bei scheinbarer Dichte. Andere 3D-Drucker verwenden eine Walztechnik, um das Pulver aufzutragen und zu verdichten. Dadurch sollen eine bessere Pulverbettichte und qualitativ hochwertigere Bauteile erreicht werden. Es ist außerdem richtig, dass sich das Verfahren zeitlich deutlich verkürzt, wenn die Pulverbettichte verbessert wurde.

Schlussfolgerung

Die Methoden der additiven Fertigung unter Verwendung von Metallpartikeln befinden sich derzeit in der Entwicklung. Die Bedingungen für Erfolg können anspruchsvoll sein und es gibt eine Reihe von Faktoren, die berücksichtigt werden müssen. Was Metallpartikel betrifft, stellen die Partikelgröße, die Partikelform (wenn möglich kugelförmig), das Fließverhalten und die erreichbare Dichte bei der Positionierung des Pulvers in den einzelnen Schichten vor dem Sintern oder Schmelzen die vorrangigen Probleme dar.

Die Metallpulver müssen für die Verwendung bei der additiven Fertigung sorgfältig optimiert werden. Micromeritics verfügt über eine Reihe von Instrumenten zur Messung von Dichte und Poren wie Helium-Pyknometer und Quecksilberporosimeter, die sich perfekt für diesen Zweck eignen.

Referenzen

1. Xibing Gong et al., Powder-Bed Electron-Beam-Melting Additive Manufacturing:
2. Powder Characterization, Process Simulation and Metrology, ASME Early Career Technical Journal, 2013 ASME Early Career Technical Conference, ASME ECTC, November 2 – 3, Birmingham, Alabama USA
3. Gong X, Anderson T, Chou K. Review on Powder-Based Electron Beam Additive Manufacturing Technology. ASME. International Symposium on Flexible Automation, ASME/ISCIE 2012 International Symposium on Flexible Automation ():507-515. doi:10.1115/ISFA2012-7256.
4. Slotwinski J, Garboczi E, Stutzman P, Ferraris C, Watson S, Peltz M. Characterization of Metal Powders Used for Additive Manufacturing. Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology. 2014; 119: 460-493. doi:10.6028/jres.119.018.
5. Paul A. Webb, Volume and Density Determinations for Particle Technologists, February 2001
6. G. Jacob, et al., Measurement of powder bed density in powder bed fusion additive manufacturing processes, Measurement Science and Technology, 27, 2016, 115601, pp12
7. Quy Bau Nguyena, et al., Characteristics of Inconel Powders for Powder-Bed Additive Manufacturing, Engineering, Volume 3, Issue 5, October 2017, Pages 695-700