

Die Charakterisierung von Metallpulvern in der Additiven Fertigung



Der amerikanische Ökonom Jeremy Rifkin beschreibt die Additive Fertigung – weithin auch als 3D-Druck bezeichnet – als ein Element der dritten industriellen Revolution [1]. Und in der Tat: Der Sektor der Additiven Fertigung mit Metallpulvern erlebt ein explosives Wachstum. Und dennoch hat sie bei weitem nicht ihr volles Potenzial ausgeschöpft. Einer der Gründe hierfür ist häufig die uneinheitliche Charakterisierung der Ausgangsmaterialien, nämlich der Metallpulver.

Schon lange vor der ersten industriellen Revolution, und auch heute noch, wurden die meisten Produkte gefertigt, indem Materialien von einem Ausgangswerkstück entfernt wurden.

Die Additive Fertigung ist das genaue Gegenteil der herkömmlichen Fertigungsweise: Anhand von Daten eines durch computergestütztes Design (CAD) errechneten Modells wird ein Werkstück Schicht für Schicht aufgebaut. Ein Metallobjekt kann in zwei alternativen Schritten additiv gefertigt werden: Durch Abscheidung einer dünnen Metallschicht, eines so genannten Pulverbetts, und durch Sintern, d. h. der Fusion von Partikeln mittels Wärme, die von einem Laser- oder einem Elektronenstrahl generiert wird.

Warum wird so viel Aufhebens um die Additive Fertigung gemacht?

Die Additive Fertigung zeichnet sich bei bestehenden Produkten durch eine ganze Reihe von Vorteilen aus, etwa durch geringere Produktionskosten oder durch weniger Ausschuss [2,3]. Die Luftfahrtindustrie hat damit begonnen, Additive Fertigungsverfahren bei der Herstellung von Bauteilen einzusetzen und so von den Vorteilen eines geringeren Gewichts zu profitieren, um sowohl Treibstoff als auch Materialkosten zu sparen.

Gleichzeitig öffnet der radikal andere Fertigungsansatz die Tür für die Produktinnovation [2,3]. Dank Additiver Fertigung lassen sich Sonderanfertigungen leicht herstellen und Produkte können auf individuelle Bedürfnisse maßgeschneidert zugeschnitten werden – attraktiv ist dieser Aspekt z. B. für die Gesundheits- und Medizinproduktebranche. Mit ihrer kurzen Produktionszeit ist die Additive Fertigung ideal geeignet für die Herstellung von Prototypen, wie dies u. a. in der Automobilindustrie, in der Werkzeugherstellung und in der Energiewirtschaft üblich ist.

Aus welchem Grund ist die industrielle Additive Fertigung von Metallen die Ausnahme und nicht die Regel?

Trotz ihrer vielen Vorteile hat sich die Additive Fertigung von Metallbauteilen noch nicht in allen Bereichen der industriellen Fertigung durchgesetzt. Das Energieministerium der USA hat eine Reihe von Faktoren identifiziert, welche dafür sorgen könnten, dass die Additive Fertigung in der Industrie weiter vorangetrieben wird. Zu diesen Faktoren zählen die Qualität von Oberflächen, die Zuverlässigkeit von Prozessen und die Reproduzierbarkeit von Teilen [2] – die alle grundlegend von der Natur des Metallpulvers beeinflusst werden, das für das Ausgangsmaterial verwendet wird. Die Wissenschaftler des Staatlichen Instituts für Normen und Technologie (National Institute of Standards and

Technology) erkennen hier, dass fehlende Standardverfahren zur Charakterisierung des rohen Metallpulvers ein Teil des Problems sind [4]. Sie betonen, welche Bedeutung den einheitlichen Metallpulvereigenschaften zukommt, um die reproduzierbare Fertigung von Metallteilen zu gewährleisten.

So können die wesentlichen Eigenschaften des Metallpulvers charakterisiert werden

Zu berücksichtigende Eigenschaften des Metallpulvers sind dabei Größe, Form, Dichte, Porosität, Oberfläche und Topographie der Partikel:

- **Partikelgröße:** Die korrekte Partikelgrößenverteilung des Metallpulvers ist von entscheidender Bedeutung, um zu gewährleisten, dass das Pulver sich gleichmäßig im Bett ausbreitet; zudem verhindert sie, dass die Oberfläche des Endprodukts rau wird.

Der Micromeritics Saturn DigiSizer®II nutzt das Prinzip der Lichtstreuung, um die Partikelgrößenverteilung zu bestimmen. Das Gerät ist mit einer Laserdioden- und einem ladungsgekoppelten (CCD-) Detektor ausgestattet, was eine hohe Sensitivität, Auflösung und Reproduzierbarkeit bei der Partikelgrößenbestimmung sicherstellt.

- **Partikelform:** Metallpulver, die sich aus kugelförmigen Partikeln zusammensetzen, werden generell bevorzugt, da davon ausgegangen werden kann, dass diese sich stärker verdichten als nicht kugelförmige Partikel. Einheitliche Pulverbettichten führen zu der gewünschten homogenen Porosität des Endprodukts.

Der Micromeritics/Particulate Systems Particle Insight ist ein hochmodernes dynamisches Bildanalysegerät, das in der Lage ist, Bilder von den sich in Bewegung befindlichen Teilchen aufzuzeichnen. Es können sowohl die Partikelgröße als auch bis zu 28 unterschiedliche Formparameter in Echtzeit analysiert werden.

- **Dichte:** Es wird zwischen mehreren Dichteparametern unterschieden, die Auswirkungen beispielsweise auf die Sinterkinetik des Pulverbetts oder auf die Porosität und auf die mechanischen Eigenschaften des Endprodukts haben

können. Zwei Beispiele hierfür sind die scheinbare Dichte, welche die Dichte des porösen Materials ausschließlich aller offenen Poren beschreibt, und die Klopfdichte, die ein Maß dafür ist, wie gut sich das Pulver verdichtet.

Diese Eigenschaften können mit dem AccuPyc Heliumpyknometer und dem GeoPyc Rohdichte-/Klopfdichte-Messgerät von Micromeritics bestimmt werden. Die Geräte arbeiten mit zerstörungsfreien Verfahren und können bei kombiniertem Einsatz auch die Gesamtporosität des Metallpulvers angeben.

- **Porosität:** Die Porosität eines Metallpulverbetts kann die mechanische Festigkeit der Endkomponenten beeinflussen. Bei bestimmten Anwendungen ist eine hohe Porosität des Endprodukts erwünscht, wie etwa bei künstlichen Knochenimplantaten, die einerseits zwar leicht sein und die gleiche Porosität aufweisen sollten wie das umgebende Knochengewebe, aber dennoch eine gewisse mechanische Festigkeit wahren sollten.

Der Quecksilber-Porosimeter der AutoPore V-Reihe von Micromeritics ist in der Lage, die Porosität von Metallpulvern zu messen. Die Technik der Quecksilber-Porosimetrie basiert darauf, dass unter kontrollierten Druckbedingungen Quecksilber in eine poröse Struktur gepresst wird. Bei dem Instrument handelt es sich um ein automatisches Gerät, das sich durch Schnelligkeit und Präzision auszeichnet und das eine umfassende Palette an Sicherheitsmerkmalen aufweist. Es erlaubt dem Bediener, verschiedene Porositätsparameter zu erfassen, wie z. B. die Porengrößenverteilung, das Gesamtporenvolumen, die Gesamtporenoberfläche und den medianen Porendurchmesser der Probe.

- **Oberfläche:** Die Oberfläche pro Einheit Pulvermasse, d. h. die spezifische Oberfläche, hat Auswirkungen darauf, wie gut das Metallpulver sintert. Sie lässt sich mit dem TriStar II Plus Gasadsorptions-Messgerät von Micromeritics in nur 20 Minuten bestimmen.

Die Analyse beruht auf dem BET-(Brunauer-Emmett-Teller)-Verfahren, d. h. die Menge des physisorbierten Stickstoffs oder des Krypton-Gases auf der Oberfläche des Pulvers

wird gemessen, die sich proportional zur spezifischen Oberfläche verhält. Das Instrument mit drei Anschlüssen erlaubt bei der Analyse der Proben einen hohen Durchsatz.

- Oberflächentopographie: Die Agglomeration von Partikeln, eine raue Oberfläche oder unregelmäßig geformte Partikel können einen gleichmäßigen Pulverfluss während des Sinterungsverfahrens behindern. Darüber hinaus korreliert die Rauigkeit der Oberfläche mit der Dauerfestigkeit des endgültigen Metallobjekts. Daher ist es wichtig, die Oberflächentopographie des Metallpulvers zu untersuchen.

Das Phenom ProX Tischgerät-Rasterelektronenmikroskop (SEM) ist ein All-in-One-Bildgebungs- und Röntgenanalyse-Tischgerätsystem, das in der Lage ist, sowohl die Oberflächentopographie zu prüfen als auch eine Analyse der Elementzusammensetzung durchzuführen.

Durch den kombinierten Einsatz der Micromeritics-Instrumente kann eine gründliche Charakterisierung der Eigenschaften von Metallpulvern vor ihrem Einsatz in der Additiven Fertigung durchgeführt werden. Auf diese Weise kann eine reproduzierbare Fertigung von Metallkomponenten sichergestellt werden, die alle gewünschten Materialeigenschaften erkennbar werden lässt.

Literatur:

- [1] Jeremy Rifkin. [2011] The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World. New York, United States.
- [2] U.S. Department of Energy. [2015] Quadrennial Technology Review, Chapter 6: Additive Manufacturing.
- [3] Royal Academy of Engineering. [2013] Additive manufacturing: opportunities and constraints.
- [4] J. A. Slotwinski et al. [2014] Characterization of Metal Powders Used for Additive Manufacturing. Vol. 119, Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, Maryland, USA.