



VERDER SCIENTIFIC



Materialographie & Härteprüfung

info@qatm.de
www.qatm.de

Wärmebehandlung

info@carbolite-gero.de
www.carbolite-gero.de

Elementaranalyse

info@eltra.com
www.eltra.com

Zerkleinern & Sieben

info@retsch.de
www.retsch.de

Partikelanalyse

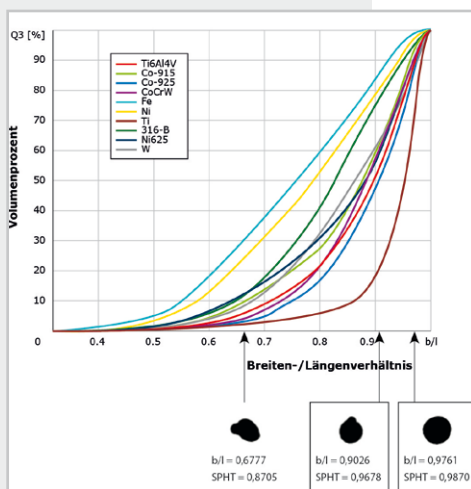
info@microtrac.de
www.microtrac.de

Höchste Qualität bei Additiver Fertigung ermöglichen

Additive Fertigung und Pulverspritzgießen bieten großes Potential, aber damit Qualität und Kosten der Bauteile stimmen, müssen nicht nur der eigentliche Prozess, sondern auch die vorausgehenden und nachfolgenden Schritte überwacht werden.

Das große Potential des Additive Manufacturing (AM) besteht darin, funktionsfähige Bauteile aus CAD-Daten direkt, ohne Werkzeuge, herstellen zu können. Das beschleunigt die Prototypenentwicklung und macht sie kostengünstiger. Dabei gibt es für die Komplexität der Bauteile nur wenige Grenzen. Diese Technik bietet sich auch im Sinne von Industrie 4.0 mit der möglichen Losgröße 1 an, aber auch um z. B. beim Reverse Engineering Ersatzteile älterer Maschinen zu akzeptablen Kosten zu fertigen. Nur taugt das Verfahren leider für die Serienfertigung momentan noch wenig und ist im Bereich Metall dem Pulverspritzgießen deutlich unterlegen.

Dabei darf man bei AM und Pulverspritzgießen nicht nur die eigentlichen Prozesse betrachten. Beide stellen **große Anforderungen an das Material und die Nachbehandlung** und dank des teuren Metallpulvers geht auch das **Recycling** als wichtiger Punkt in die Kostenrechnung ein.



Partikelformanalyse von 10 unterschiedlichen Metallpulvern mit Dynamischer Bildanalyse (CAMSIZER X2). Kleinste Anteile unregelmäßiger Partikel werden auch in einer großen Menge zuverlässig detektiert.

Partikelqualität garantieren

Für AM braucht man Metallpulver, die aus perfekt runden, möglichst gleichgroßen Partikeln bestehen, wobei die durchschnittliche Partikelgröße zwischen 10 und 50 μm liegt. Der Metallspritzguß (MIM) dagegen benötigt ebenfalls runde, aber sehr feine Partikel unter 10 μm Durchmesser. Zu große oder unregelmäßige Teilchen verursachen mit hoher Wahrscheinlichkeit Defekte im fertigen Bauteil. Entsprechend sorgfältig muss das Ausgangsmaterial aufbereitet und analysiert werden.

Das einfachste Verfahren ist hier das mechanische Sieben, was aber wegen der kleinsten nutzbaren Maschenweite von 20 μm ungeeignet ist. Besser zur Messung feiner Metallpulver eignet sich die Laserbeugung. Sie ist einfach zu bedienen und liefert schnelle Ergebnisse. Die Verteilung der Partikelgrößen berechnet eine Software, die allerdings davon ausgeht, dass alle Partikel rund sind.

Um aber Partikelgrößen und -formen parallel zu analysieren gibt es zwei Verfahren: die statische und die dynamische Bildanalyse. Die statische wertet systembedingt nur relativ kleine Proben aus. Bei der dynamischen Bildanalyse bewegen sich die Partikel in einem Luftstrom oder einer Flüssigkeit vor der Kamera vorbei. So lassen sich Hunderttausende bis zu mehreren Millionen Partikel innerhalb weniger Minuten automatisiert analysieren und liefern so ein echtes Bild der Materialqualität.

Der CAMSIZER X2 von Microtrac MRB nutzt diese Dynamische Bildanalyse (DIA) zur schnellen, genauen Partikelanalyse von gängigen Metallpulvern bei bester Wiederholbarkeit. Zusätzlich erhält der Anwender eine Fülle von Materialdaten zum besseren Verständnis der Pulverqualität. Im dem System arbeiten zwei Kameras mit unterschiedlichen Abbildungsmaßstäben und decken so einen sehr breiten Messbereich von 0,8 μm bis 8 mm ab.

Der große Vorteil hier: Das Verfahren ermöglicht zusätzlich auch die **Messung der Partikelform** (Verhältnis runder/unregelmäßig geformter, Satelliten, Agglomerate usw.). Auch geringste Mengen von Überkorn, Unterkorn oder unregelmäßigen Partikeln, bei einem Anteil von nur 0,01%, dokumentiert das System in 1 – 3 Minuten, was eine kontinuierliche Qualitätskontrolle erlaubt.

Reinheit der Metallpulver prüfen

Die Energiemenge die AM zum Aufschmelzen des Metallpulvers braucht, hängt nicht nur von der Größe der Partikel, sondern auch von der Chemie des Pulvers ab. Bei steigendem Kohlenstoffgehalt, z. B. in Stahl (0,002% -2,06%), steigen auch Härte und Sprödigkeit, dagegen sinkt der Schmelzpunkt. Schwefel im Stahl verbessert die Zerspanbarkeit, reduziert aber die Duktilität. Ungebundener Stickstoff kann sich an Korngrenzen absetzen und die Zähigkeit beeinflussen. Sauerstoff macht den Stahl spröde und Wasserstoff reduziert die mechanische Stabilität.

Zur Analyse der Reinheit wird im **Analysator ELEMENTRAC ONH-p 2** von ELTRA die jeweilige Metallprobe geschmolzen und enthaltener Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff freigesetzt. Der Sauerstoff bildet sich in CO um und oxidiert weiter zu CO₂. Der **Sauerstoffgehalt** wird in einer Infrarotmesszelle detektiert, während sich **Stickstoff- und Wasserstoffgehalt** mittels einer Wärmeleitfähigkeitszelle bestimmen lassen.

Die Wärmeleitfähigkeitszelle besitzt einen mit einer Membran gekoppelten mikromechanischen Siliziumchip. Ändert sich die Wärmeleitfähigkeit des Gases, ändert sich auch die für die Temperierung der Membran notwendige Heizleistung, die als Messsignal ausgegeben werden kann. Dieses Verfahren arbeitet robust und garantiert stabile Messwerte über einen weiten Bereich.

Im Induktionsofen des **ELEMENTRAC CS-i** wird die Probe in reinem Sauerstoff aufgeschmolzen, die Verbrennungsgase gereinigt und das Schwefeldioxid in Infrarotmesszellen detektiert. Nach dem Oxidieren von CO zu CO₂ und von Schwefeldioxid zu Schwefeltrioxid entfernt man das SO₃-Gas und der **Kohlenstoffgehalt** wird über Infrarotmesszellen zuverlässig ermittelt.



Sauerstoff / Stickstoff / Wasserstoff
 Analysator ELEMENTRAC ONH-p 2

CARBOLITE®
IGERO 30-3000°C



Blick in die Ofenkammer des HTK Hochtemperaturkammerofens

Retsch®
MILLING SIEVING ASSISTING



Die Vibrationsiebmaschine AS 200 basic eignet sich zur Fraktionierung von Metallpulvern

QATA®
QUALITY ASSURED



Trennmaschine Qcut 200 A

Ohne Wärmebehandlung geht es nicht

Stimmt die Qualität des Ausgangsmaterials, lassen sich damit Metallteile auf zwei Arten additiv fertigen: direkt und indirekt. Beim direkten AM schmilzt ein Laserstrahl eine bis zu 20 µm dünne Schicht Metallpulver (Titanlegierung Ti6Al4V, rostfreier Stahl, etc.) auf. Der hohe Energieeintrag und die großen Temperaturgradienten unter dem Schmelzbad erzeugen dabei hohe Eigenspannungen im Bauteil.

Abbauen lassen sich diese Eigenspannungen mittels einer Wärmebehandlung mit präziser Temperaturüberwachung. Wegen des schädlichen Einflusses von Sauerstoff findet dieser Prozessschritt unter Stickstoff oder bei Titan unter Argon statt. Dafür bietet CARBOLITE GERO mit dem **Großraum-Kammerofen für modifizierte Atmosphäre, GPCMA**, und dem **Hochtemperaturkammerofen HTK** die optimalen Systeme an.

Beim indirekten AM, wie beim Pulverspritzgießen bei Metallen und Keramiken, mischt man das Ausgangspulver mit Bindemittel und formt daraus einen Grünling. Anschließend entfernt man dieses Bindemittel thermisch, katalytisch oder chemisch. Da jetzt nur noch ein Restbinder das Pulver zusammenhält, ist der Grünling sehr empfindlich. Im nächsten Schritt wird dieser Rest thermisch unter Vakuum, Luft oder Schutzgas entfernt und das Teil im selben Ofen unter der jeweils nötigen Atmosphäre gesintert. **Diese Möglichkeit, unter Schutz- oder Reaktivgas, Hochvakuum oder sogar Ultrahochvakuum zu arbeiten gestattet auch das Sintern von sehr empfindlichen Teilen.**

Recycling der wertvollen Reste

Herstellungsbedingt hinterlässt der 3D-Druck mit Metallpulver viel Pulvermaterial, das z. T. agglomeriert, dessen feinere Anteile aber für weitere Druckprozesse nutzbar sind. **Dieses überschüssige Rohmaterial wird deshalb mit Vibrationsiebmaschinen wie der AS 200 basic von RETSCH getrennt und fraktioniert**, um wieder dem Druckprozess zugeführt zu werden.

Auch beim Pulverspritzgießen können während des Entfernens des Binders und dem nachfolgenden Sintern Zwischenprodukte mit unerwünschten Eigenschaften entstehen. Diese werden zerkleinert, etwa mit dem **Backenbrecher BB 500** von RETSCH, um das so gewonnene Pulver wieder für die Produktion einzusetzen.

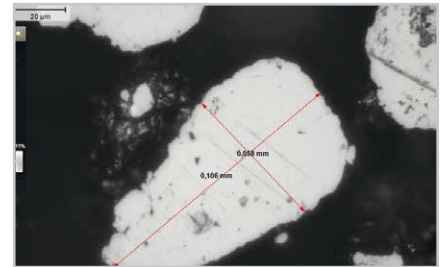
Defekte zuverlässig ermitteln

Trotz sorgfältiger Analyse und Aufbereitung des Metallpulvers **können bei der additiven Fertigung Defekte entstehen.** Beim Laser-Auftragschweißen, zum Beispiel, besteht das Bauteil aus übereinandersitzenden Schweißraupen, und jede Schweißbrunde beeinflusst auch die Mikrostruktur der darunterliegenden Schicht, was die Härte reduzieren und Risse generieren kann.

Um **potentielle Schäden** zu ermitteln, muss das Bauteil zunächst durchtrennt werden, z. B. in einer Trennmaschine wie der Qcut 200 A. Danach wird die Probe in der Qpress 50 Warmeinbettpresse mit Epo schwarz eingebettet, und mit einer Schleif- und Poliermaschine bearbeitet. Nach dem anschließenden Ätzen lässt sich die **Mikrostruktur der Probe** sehr gut erkennen.

Für den Schritt der **Mikrohärteprüfung** und optischen Evaluierung bietet QATM den **Qness 60 M EVO Härteprüfer** an. Bei Pulvern unter $<0,1$ mm sind nur eine sehr geringe Prüfkraft und kleine Eindrucksdiagonalen erforderlich, was nur mit der Vickers Methode funktioniert.

Größe eines Aluminiumpulverpartikels,
gemessen mit der Härteprüfsoftware
(40x Linse)



Fazit

Die Additive Fertigung wie auch das Pulverspritzgießen bieten großes Potential, wenn die eingesetzten Materialien von optimaler Qualität sind. Aber auch der Prozess muss kontinuierlich überwacht und die fertigen Bauteile müssen sorgfältig geprüft werden, um so die relevanten Kenngrößen für eine qualitativ hochwertige, kosteneffiziente Produktion zu ermitteln. Die in diesem Beitrag genannten Unternehmen der Verder Scientific Division bieten hierfür zuverlässige und kundenfreundliche Lösungen an.

Weitere Informationen auf
www.verder-scientific.de