

金屬 3D 列印

粉末射出成型

實驗室完整解決方案

粒徑分析 / 元素分析 / 熱處理 / 粉碎篩分 / 金相分析 / 硬度測試

ELTRA
ELEMENTAL ANALYZERS

CARBOLITE
IGERO 30-3000°C

Qness
HARDNESS TESTING

Retsch
MILLING SIEVING ASSISTING

ATA
ADVANCED MATERIALOGRAPHY

Retsch
TECHNOLOGY
PARTICLE CHARACTERIZATION

3D列印 (又稱積層製造AM) 及 粉末射出成型

實驗室完整解決方案

多年來，積層製造 (Additive Manufacturing(AM)) 一直被公認為快速成型的關鍵技術。新的產品經由反覆運算可以及時生產出原型，進而能夠進行初步的功能測試，使客戶能夠透過一個快速成型的技術確定產品的發展潛力。這項技術正在迅速發展，不僅僅是原型設計，現在越來越多高度整合的零件，已經開始使用積層製造技術構思、

設計及生產。這使得以傳統方法無法製造的高精密、特別是小型化的輕型元件，例如飛機發動機的液壓部件等，已經開始採取積層製造的方式。但是由於成本的考量，積層製造技術對於大批量生產的元件還無法取代傳統的製造方法，例如粉末射出成型，在大量製造的領域仍然具有優勢。

積層製造和粉末射出成型 實驗室完整解決方案供應商

樣品粒徑及型態分析、元素分析、熱處理、樣品篩分、金相分析和硬度測試：Verder Scientific 為您的積層製造或粉末射出成型技術提供創新、高效率的解決方案 - 在全球各地結合專業諮詢及技術支援為您服務。

內容

Verder Scientific	積層製造與粉末射出成型的解決方案	02
Retsch Technology	金屬粉末光學粒徑與型態分析	04
Eltra	金屬粉末與積層製造金屬元件元素分析	10
Carbolite Gero	粉末射出成型與積層製造元件熱處理技術	16
Retsch	金屬粉末及元件粉碎及篩分應用	22
ATM	3D 列印生產出的元件金相樣品製備及分析	24
QNESS	粉末冶金樣品硬度分析	30

ELECTRON BEAM MELTING

DIRECT METAL DEPOSITION

SELECTIVE LASER SINTERING

SELECTIVE LASER MELTING

LASER BEAM MELTING

RAPID PROTOTYPING

POWDER BED FUSION



用於表面處理的切割、鑲埋、拋光和蝕刻的金相製備儀器是可靠微觀結構分析的先決條件。



適用於空氣、惰性氣體、活性氣體或真空下進行熱處理、脫脂和燒結的高溫爐及烘箱。



對原料粒徑大小和形態進行動態影像分析的粒徑型態分析儀。



VERDER scientific



測量用於積層製造之金屬粉末中碳硫氧氮氫含量的元素分析儀。



用於分離3D列印過程後剩餘之金屬粉末的震盪篩選機，以便重複使用。



積層製造之金屬部件的硬度測試。

SOLID FREEFORM FABRICATION

DIRECT METAL LASER SINTERING

FREEFORM FABRICATION

RAPID MANUFACTURING

LASER METAL DEPOSITION

DIRECT ENERGY DEPOSITION

LASER CLADDING

金屬粉末樣品動態光學 粒徑及型態分析

在本文中，我們提出了幾個例子，讓您了解如何使用 Camsizer X2 光學粒徑及型態分析儀。利用動態影像分析的技術，清楚地分析出典型的金屬粉末，如鈦、鋁、鎳、鉻、鎢等以及其合金的大小和形狀。Camsizer X2 具有分析時間短、解析度高、再現性好等優點。此外，我們還提供了豐富的材料資料，讓使用者對粉末品質與特性有更深一層的瞭解。

影像分析: 直觀的分析技術

影像分析為一種直觀的分析技術。基本的想法很簡單 - "你看到的就是你得到的"。自動軟體演算法根據影像擷取圖片中的每個粒子來確定粒徑和形態。粒子長度和寬度亦可以在軟體直接得到相關資訊，如圖 2 所示。動態影像擷取技術可以同時測量顆粒大小和形狀，並適用於各種固體樣品。圖 3 說明了各種形狀參數的原理與公式。

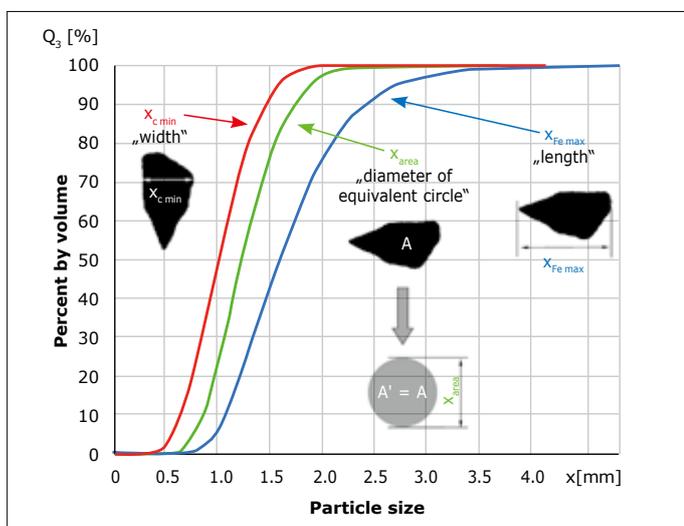


圖2: 動態影像分析基本的粒徑分佈定義選擇。粒徑分佈可依寬度(red), 長度(blue)或是等面積圓的直徑(green)幾種不同定義表示

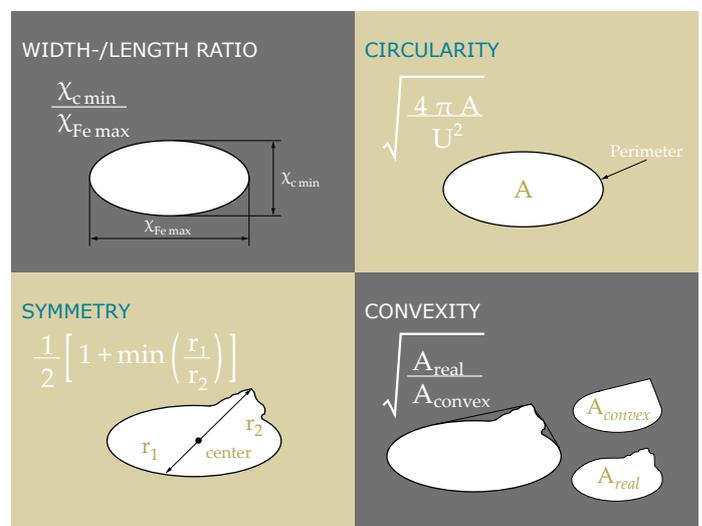


圖3: 動態影像分析基本的型態分佈定義選擇。



有兩種影像技術可用，靜態和動態影像分析 (SIA 和 DIA，符合 ISO 13322-1 和 2 規範)。靜態光學顯微鏡 (SIA) 通常被用來獲得粒子形狀的定性分析。然而，由於顯微鏡玻片下顆粒分散不足、樣品數量少，通常無法進行可靠的定量分析。掃描電子顯微鏡 (SEM) 也有同樣的缺點，雖然可以得到高解析度的樣品圖像，但操作上也更加困難、昂貴及耗時。

動態影像分析的測量設置，通常在 0.8 μm 至 mm 等級之間的尺寸範圍內。樣品在 CCD Camera 鏡頭前自由落下，或是透過氣流或液體移動，因此可以在幾分鐘內擷取幾十萬到幾百萬的粒子影像進行分析。由於具有足夠代表性的樣本量，因此在統計上可以合理達到高度再現性的分析結果。

圖 4 顯示了動態影像分析光學儀器的主要原理。當粒子通過影像擷取範圍時，光源從一個方向照亮粒子，而 CCD Camera 則從另一側照相。軟體評估粒子的陰影對比，以高速率的影像擷取系統分析樣品的大小分佈。**Retsch Technology Camsizer X2** 的一個獨特之處，在於雙 CCD Camera 技術：兩台具有不同放大倍率的攝影機可以涵蓋更廣泛的測量範圍。一台高放大倍率的攝影機 (Zoom Camera) 用於小顆粒的樣品分析，第二台放大倍率較低但視野寬的攝影機 (Basic Camera) 可同時分析較大的顆粒樣品分析。Camsizer X2 每秒可拍攝 300 多張圖片，每張圖片都可以測量粒子的粒徑分佈和定量粒子的形狀 (如圓形粒子與不規則形狀粒子及團聚體等的百分比)。即使低至 0.01% 的樣品量，也能檢測到超大、超小或不規

則形狀的顆粒情況。動態影像分析能夠讓使用者全面與徹底地瞭解與大小和形態相關的樣品屬性，也是研發應用與品質控制的理想方法。不僅提供了高準確性和再現性的分析結果，易於操作及堅固耐用亦是 Camsizer X2 的產品優勢所在。

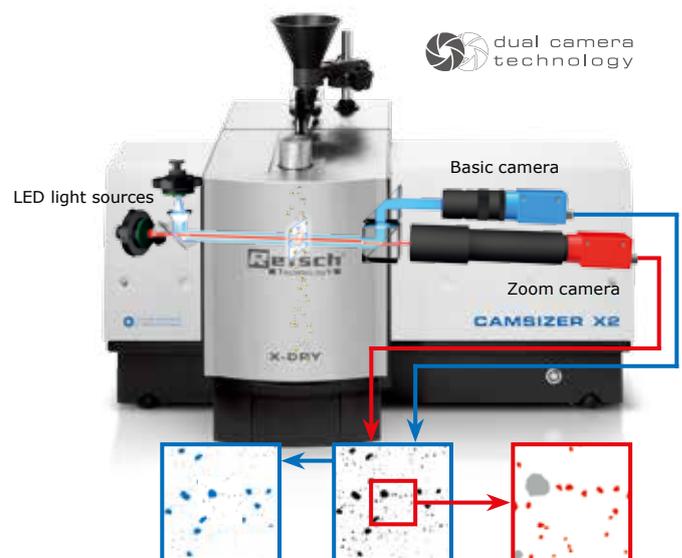


圖4: Camsizer X2獨特的動態影像分析測量原理

下面的應用實例，說明了動態影像系統適用於金屬粉末的粒徑與型態分析。

應用於廣泛的材料、顆粒大小與形態分析

圖 5 顯示了 10 種不同金屬粉末的粒徑分析結果，這些都是典型粉末冶金應用的樣品。無論是化學特性、密度、尺寸和形狀有多大差異，所有樣品都可以在 Camsizer X2 單一儀器上進行全方位的分析。自動入料控制將樣品輸送到粒徑分析儀，CCD Camera 在通過的氣流擷取顆粒影像。氣壓調整的範圍為 5kPa 到 460kPa。在這個例子可以看出 50kPa 已經足以完全分散樣品，也就是呈現單一粒子（非聚集）的狀態。

圖 5 顯示了各種樣品的平均粒徑均在 10 至 50 μm 之間，但分佈的寬度不同。在本例中鐵粉 (Fe) 是最粗糙的，而鋼粉 (316) 是最細的。鈦粉 (Ti) 則可以看出是非常狹窄的尺寸分佈區間。

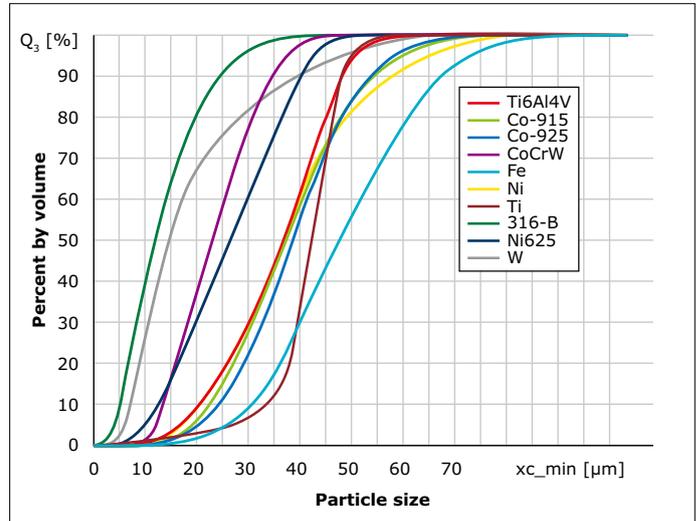


圖5: Camsizer X2測量10種不同金屬粉末的結果。直觀式的測量保證可以得到正確的分析結果。

從形態分析圖 6 顯示，鐵粉的 Aspect Ratio (寬度 / 長度比) 最低，而鈦粉的球形顆粒所佔的比例最高。

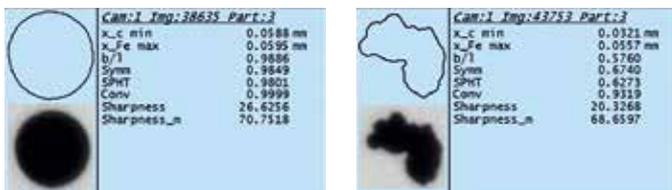


Image of a spherical metal powder particle

Irregular particles are reliably detected

粉末冶金通常需要廣泛的尺寸分佈，透過填充大顆粒的空隙中填入小顆粒，使得粉末填充到模具更加容易。不規則的形狀往往有利於燒結過程，因為它增加了顆粒之間的接觸。然而，粒子不能太不規則，因為這會讓樣品緻密化變得困難。

對於積層製造則需要球形的形狀和狹窄的粒徑分佈，以建立一個光滑及均勻的粉末層，確保正確的燒結結果。平均粒徑通常在 10-50 μm 之間，因此上述範例中的鈦粉就非常適用於積層製造。我們需要非常精確地檢測出過大顆粒或是非常不規則的顆粒，因為這些顆粒很可能會導致成品工件出現缺陷。動態影像分析可以精準地檢測出這些不希望出現的顆粒，即便只有很少的比例。圖 6 清楚地顯示了動態影像分析在識別有缺陷的顆粒是多麼容易。

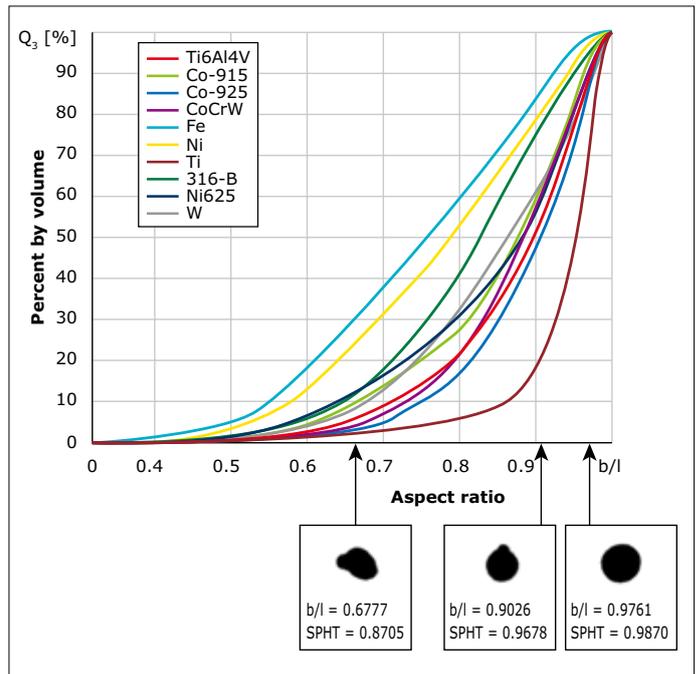


圖6: 利用動態影像分析系統(Camsizer X2)分析10種不同金屬粉末的顆粒形狀。除了定量的結果外，記錄的影像還可以直觀地了解形態和大小的差異。圖形靠右側顯示有更多的球形顆粒，同時也顯示較高的長寬比。在大量的球形顆粒中檢測出少量的不規則粒子是動態影像分析相較於雷射粒徑分析的一大優勢。

金屬射出成型用的微細金屬粉末

對於金屬射出成型 (MIM) 應用，需要使用非常細的球形顆粒組成的金屬粉末，其平均粒徑通常小於 $10\mu\text{m}$ 。圖 7 中的例子顯示了用於金屬射出成型的兩種不同類型之金屬粉末的測量結果。Camsizer X2 在乾式模組下，以 50kPa 的分散壓力進行分析。請注意，Camsizer X2 能夠檢測出兩種材料之間的最小差異，並清楚地描述寬度分佈。

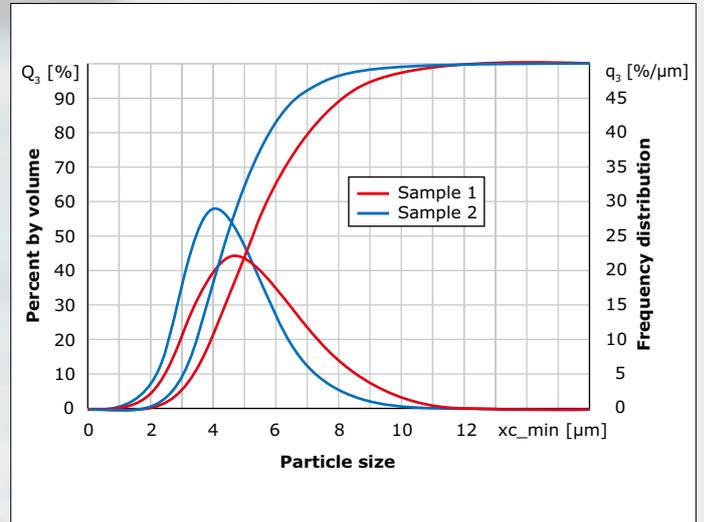


圖7: 對兩種不同金屬粉末的兩次測量，其平均粒徑 (d_{50})分別為 $4.5\mu\text{m}$ 和 $5.2\mu\text{m}$ 。Camsizer X2 可以檢測到小至 $0.8\mu\text{m}$ 的樣品

錫粉的再現性研究分析

粉末冶金是金屬粉末的主要應用領域。但也有其他領域的應用，如印刷電路板的焊錫。由於產品規格較為嚴格，需要對不同類型的焊錫粉末進行準確的粒徑和形態進行分析 (圖 8)。

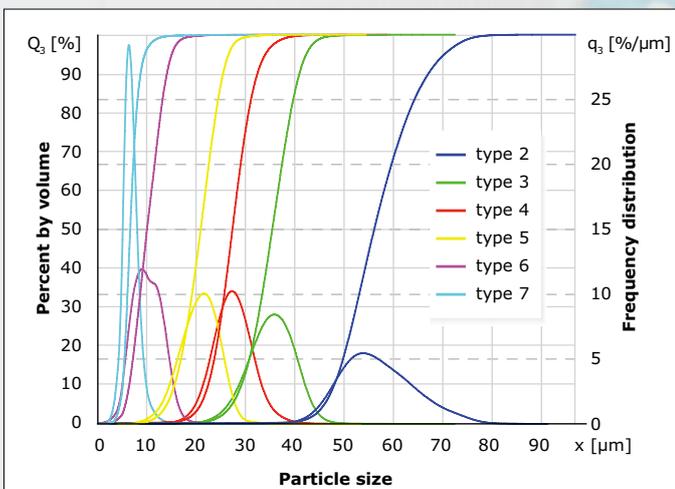


圖8: 從不同製造工廠獲得之6種不同焊錫粉末的測量結果。顯示的是累積分佈 (Q_3 , 左側y軸) 和相應的頻率密度分佈 (q_3 , 右側y軸)

評估任何分析儀器可靠性的一個主要標準是再現性。我們的客戶之一是錫粉生產廠商，透過分析兩個不同工廠中四個不同 Camsizer 分析儀，對同一個樣品進行再現性測試。測試共包含 180 個測量值，結果詳見圖 9。測試材料的平均粒徑為 $27.3\mu\text{m}$ ，標準差低於 $0.1\mu\text{m}$ ，清楚說明了 Camsizer 的高度再現性！

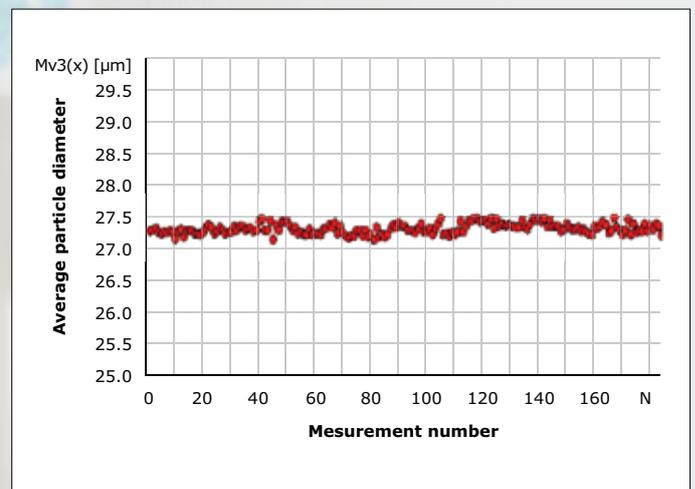
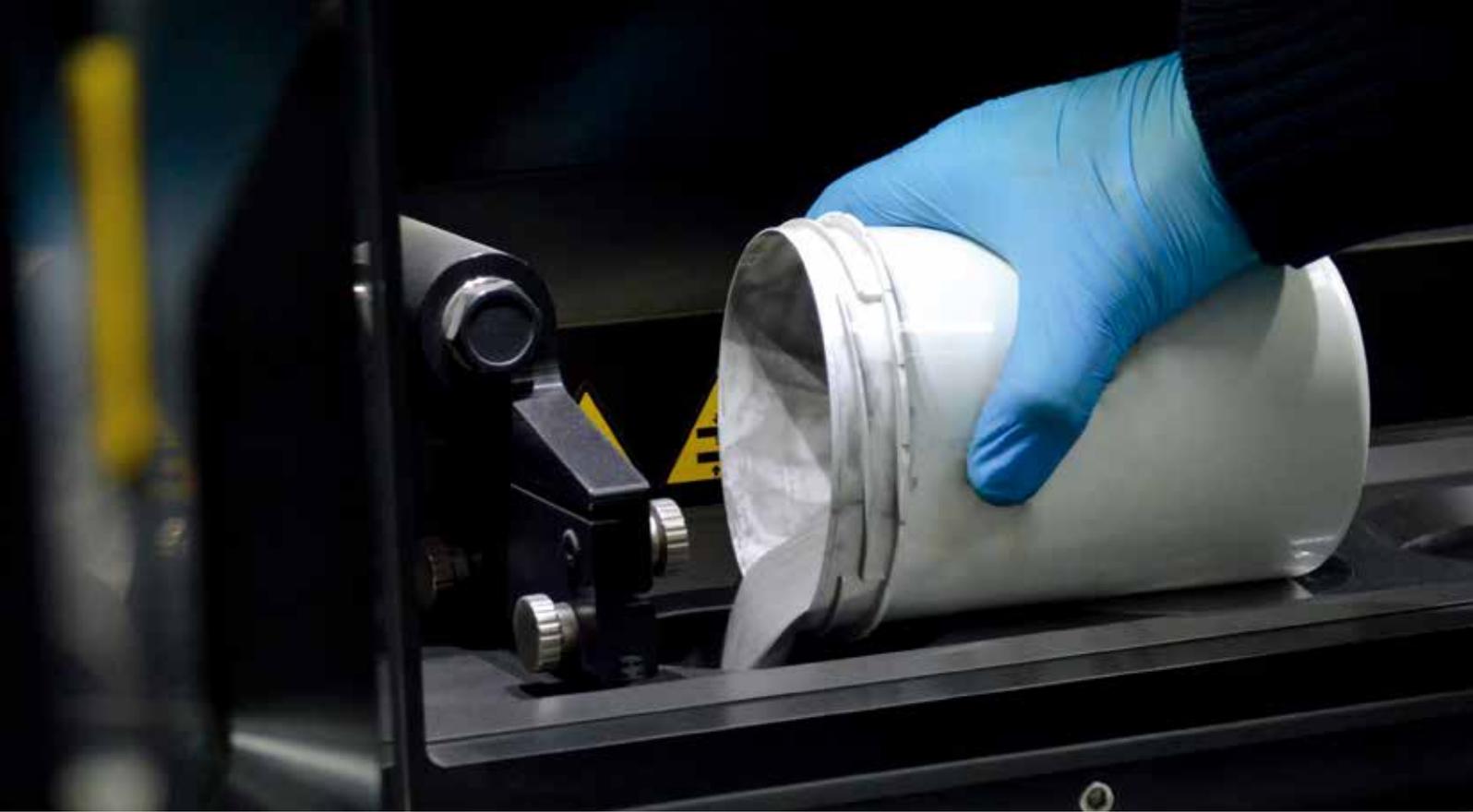


圖9: 180次同樣品類型的不同測量結果(使用兩個不同的位置的4台不同的 Camsizer 分析儀)。X軸顯示測量編號，Y軸顯示平均粒徑。平均粒徑大小變化小於 $\pm 0.1\mu\text{m}$



動態影像分析相對於其他粒徑分析技術的優勢結論

對於金屬粉末，機械式篩分分析是傳統上最常使用的粒徑分析方法。ISO 4497 和 ASTM B214 標準描述了最相關的流程規範。

篩分分析的最小孔徑限制是由最小的實際可用尺寸 20 μm (氣流篩分) 所定義的，該篩網孔徑尺寸遠遠高於積層製造 (AM) 或金屬射出成型 (MIM) 之許多樣品的平均粒徑。因此，氣流篩分不適合對細粉的整體尺寸分佈進行精確可靠的分析。它通常僅用於用一個篩網檢測過大顆粒的數量，例如 45 μm 或 63 μm 孔徑。另一個缺點是篩分機不能提供任何有關粒子形態的資訊。

雷射粒徑分析被廣泛用於測量粒徑低於 100 μm 的金屬細粉末。此技術使用靜態光散射，如 ISO 13320 中所述。雷射粒徑分析儀操作簡單，測量結果快。然而，這種方

法從雷射光束與樣品相互作用的散射角和光強度來計算粒子大小，是一種間接測量的方式，因此計算粒徑分佈都必需加入假設及大略估算的複雜軟體演算法。例如，一個基本假設是所有粒子都是球形的。因此，沒有關於粒子幾何形狀的資訊，所以實際顆粒形狀與「理想」形狀的任何偏差都會導致計算出的粒徑大小分佈不一致，這將導致不準確的結果。尤其是在測量正確的粒徑寬度分佈時。另一個主要缺點是對於檢測少量過大或過小顆粒的靈敏度非常低。

最近，德國 VDI 發佈了關於積層製造粉末特性的指南，請詳見指南 VDI 3405 第 2.3 部分。該指南明確指出動態影像分析視為最適合於分析金屬粉末的粒徑大小和形狀的方法。

RETSCH TECHNOLOGY – PARTICLE CHARACTERIZATION

RETSCH TECHNOLOGY 利用動態影像分析開發創新的光學量測系統，用於粉末、顆粒和懸浮液的粒徑和形態分析。

光學粒徑暨型態分析儀

- CAMSIZER P4
- CAMSIZER X2

測量範圍

- CAMSIZER P4: 20 μm – 30 mm
- CAMSIZER X2: 0.8 μm – 8 mm

Find out more at www.retsch-technology.com

樣品篩分、動態影像分析及雷射粒徑分析比較表

Performance Feature	CAMSIZER X2 Dynamic Image Analysis	Sieve Analysis	Laser Diffraction
Wide dynamic measurement range	+++	++	+++
Reproducibility and repeatability	+++	++	+++
High resolution for narrow distributions	+++	-	-
Particle shape analysis	+++	-	-
Direct measurement technique	+++	+++	-
Compatibility of results with other techniques	++	-	-
Reliable detection of oversized grains	++	+++	-
Robust hardware, easy operation for routine analysis	+++	+++	+++
Analysis of individual particles	++	-	-
High measurement speed, short measurement times	+++	-	+++

結論

隨著金屬射出成型和積層製造技術越來越普遍，對於金屬粉末特性的特殊需求也越來越大。不僅是化學成分，而且粒徑大小和形狀對粉末的加工性也至關重要。根據不同的應用，粉末必須滿足各種規格。使用 Camsizer X2 進行動態影像分析，可以提供有關粒徑大小和形態的所有相關資料。與雷射粒徑或（電子或光學）顯微鏡相比，動態影像分析可以大量分析樣品，因此在統計上可以提供更相關及更好的準確性。每次測量只需 1 到 3 分鐘，即可測量較大的樣品量及品質控制。對於粉末生產商和金屬零件製造商來說，Camsizer X2 是一種精確且效率高的工具，有助於大大改進品質控管的過程。



RETSCH TECHNOLOGY 在積層製造提供的 解決方案



CAMSIZER X2

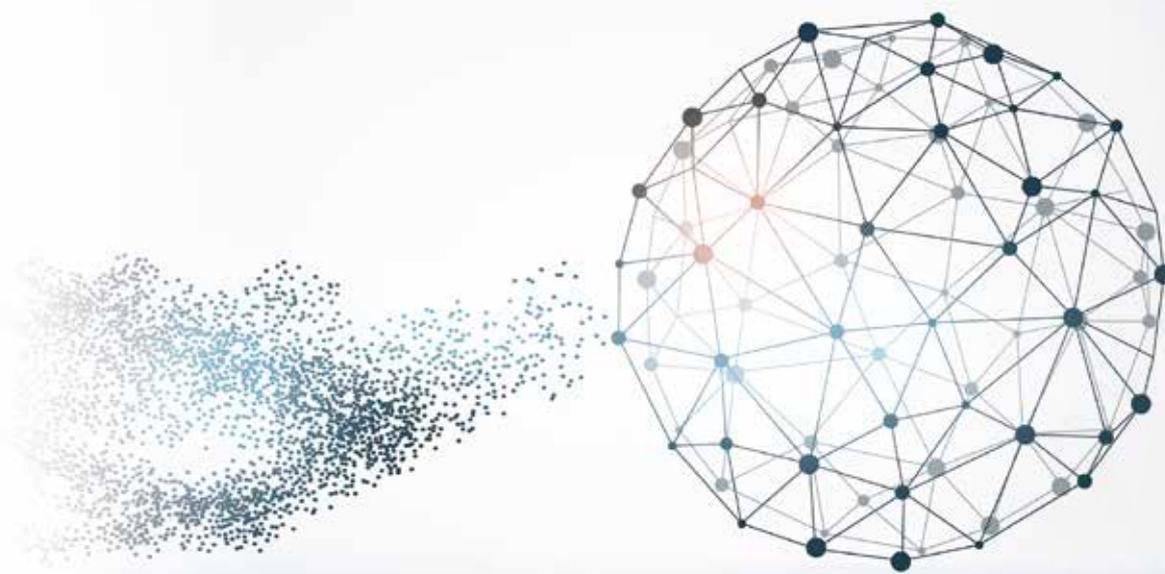
- 動態影像分析技術(符合ISO 13322-2規範)可測量粒徑範圍0.8 μm to 8 mm的樣品
- 可以分析粒徑分佈很廣的樣品
- 對於粒徑分佈集中或混合物具有高解析度分析
- 對於少量過大或過小樣品可以有高解析度分析
- 測量結果可以100%與樣品篩分比對

www.retsch-technology.com

積層製造生產金屬粉末及 金屬零件的元素分析

積層製造逐漸成為一種日益成熟的生產技術。但由於它仍然是新的技術，製造流程步驟尚未統一界定。例如，尚未建立描述品質控制過程的行業標準。目前建立的標準是用於積層製造的粉末顆粒粒徑大小及形狀。然而，粒徑大小及形狀不應該是品質控制的唯一重點。

用於積層製造的金屬粉末包括不同類型的 Steel、Ti64、Al、Ni、Cr、W 及其合金。為了確認這些原材料的品質和純度，需要合適的檢驗流程來控管。舉例來說，需要密切監測各種外來元素的成份以確保高品質的最終產品。¹



¹ Berumen, S.; Bechmann, F.; et al, Quality Control of laser and powder bed-based Additive Manufacturing (AM) technologies, Physics procedia, 5, 617-622, LANE 2010



元素會影響材料的特性

在積層製造過程之前以及之後，都應該確定下列元素濃度，以確保原材料和最終產品都具備所需的品質要求。

鈦合金

鈦及其合金的品質，如 Ti-6Al-4V (Grade 5)，會受到這些元素的影響：

氫 [H]

對鈦的影響與對鋼的影響相同。氫可能會影響鈦合金中混合相的形成。

氮 [N]

氮增加了鈦的脆性。

氧 [O]

即使是少量的氧也會對鈦的韌性或硬度產生相當大的影響。在鈦合金的規格書中表明，即使在含氧量上稍有差異，也可能決定高品質 (Grade 1: 0.18% O) 與低品質鈦合金 (Grade 3: 0.35% O) 之間的差異。氧含量顯著改變鈦的機械和物理性質，例如氧濃度為 0.1% 的鈦合金比濃度為 0.3% 的鈦合金穩定約 3 倍。

硫 [S] / 碳 [C]

這些元素對鈦的影響很小。

鋼

有許多元素會影響碳鋼的性能，而碳含量是在榜單的首位。根據這些合金元素的類型和濃度 (C、Si、Mn、P、S、Cr 等)，將鋼分為不同的品質等級和應用領域。在下面描述了最重要的非金屬元素及其影響。

碳 [C] :

碳含量影響鋼的各種物理參數。這種鐵合金含有 0.002% 至 2.06% 的碳含量。碳含量越高、熔點越低。此外，脆性和硬度也會隨著碳含量的增加而增加。

硫 [S] :

如果合金含有硫，就增加了鋼材的可加工性，即材料是否適合透過鑽孔或銑削等方法進行處理。硫含量越高，延展性就越低。

氮 [N] :

氮含量可分為期望和不期望在合金中出現。有一些特殊的應用允許高氮濃度，在這些情況下，必須考慮到其化學形式。元素形式的氮沿著晶界分佈，對鋼的延展性有顯著影響。與其他元素結合的氮含量通常被認為並不重要。

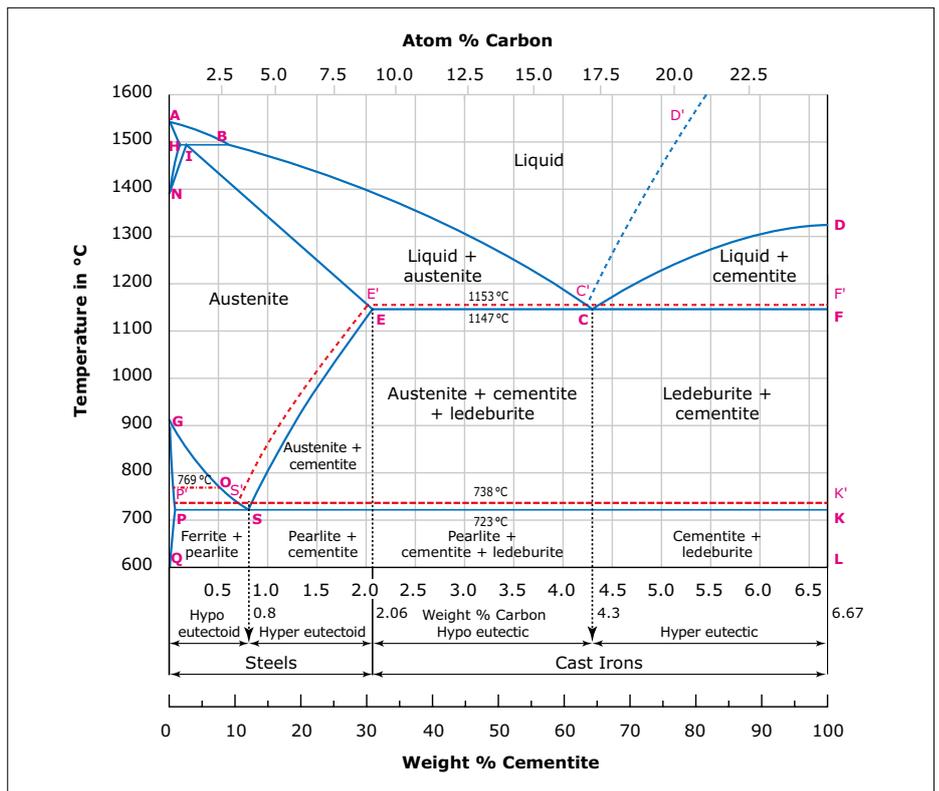


圖1: 鐵-碳相圖

氧 [O] :

氧氣是一種所謂的鋼寄生蟲，因為它使鋼變脆，並容易導致脆性老化。

氫 [H] :

鋼中的氫使機械穩定性下降。氫造成的脆性在生產上是普遍被擔心的，因為它可能會造成相當大技術和經濟的負面影響。這意味著質子附著在金屬基體上，可能導致鋼中的裂縫。

燃燒分析法

有不同的方法來測量元素濃度和雜質，其中大多數需要破壞樣品。這樣做是為了確保分析樣品的所有相關元素都被釋放便於測量。

燃燒分析法提供了許多優點。樣品可以用固體形式分析，這意味著樣品無需經過事先處理即可進行直接測量。用

於積層製造流程的金屬粉末所需的平均粒徑在 $5\mu\text{m}$ 至 $150\mu\text{m}$ 之間。

這是由動態影像分析儀所做的粒徑分析結果。如果粉末具有合適的粒徑分佈，便可接下來透過燃燒分析法對其元素濃度進行分析。

氧/氮/氫分析儀

在 ELTRA 的 ELEMENTRAC ONH-p 氧氮氫元素分析儀中，樣品由上方被投入在石墨坩鍋，並在設定的高溫中熔化。因此，氧、氮和氫被釋放，氧在加熱的坩鍋中熔化於表面轉化為 CO。惰性氣體將 CO 從坩鍋中帶走氣體。

氧化銅催化劑將 CO 轉化為在紅外線檢知器 (IR Cell) 中可檢測的 CO_2 (圖 2)。具有特定波長的紅外線被用來激發二氧化碳分子，能量損失被轉移到動能，用於確定樣品的正確氧濃度。氮和氫的含量則是在熱傳導檢知器 (TC Cell) 中測量的 (圖 3)。

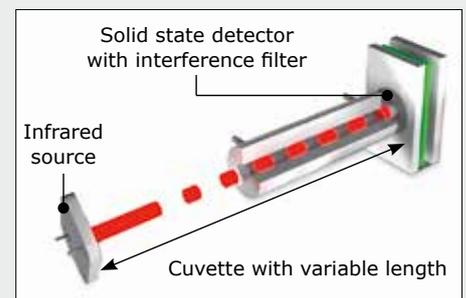


圖2: 紅外線檢知器

heated chamber,
 60°C

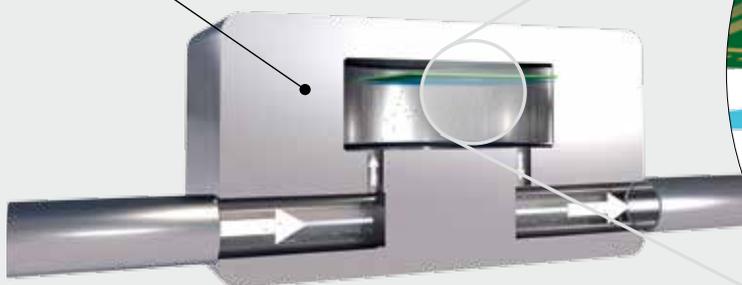
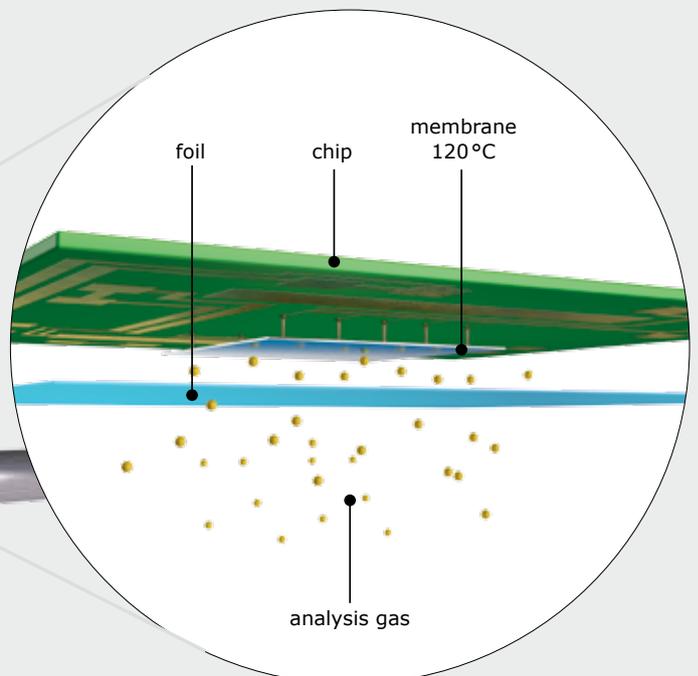


圖3: 熱傳導檢知器



ELEMENTRAC 熱傳導檢知器是架構在一個微機械矽晶片上，由矽晶片與薄膜耦合，獨立參考氣體的流動狀況。如果氣體的熱傳導係數發生變化，例如通過樣品釋放的

氮氣，也會造成加熱膜所需的加熱能量發生變化，此改變由測量信號指示。該方法已廣泛應用、靈敏度高，保證了在大濃度的範圍內能有穩定的測量結果。

ELTRA 91205-1003#1116B ¹		
Weight [mg]	Oxygen [ppm]	Nitrogen [ppm]
102.7	893.2	100.8
103.4	917.2	101.8
102.7	892.0	105.1
101.9	878.9	98.4
103.5	886.7	93.9
103.2	904.5	97.8
102.3	908.8	96.5
103.8	882.9	103.3
103.4	860.7	99.7
103.4	877.8	94.0
Mean value	890.3	99.1
Deviation / relative deviation	16.7 / 1.9 %	3.7 / 3.8 %

¹ certified values: O: 890 ppm ± 50 ppm; N: 99 ppm ± 10 ppm

表1 顯示了鈦合金樣品同時進行氧和氮分析的典型結果。



碳硫分析

在 ELEMENTRAC CS-i 碳硫分析儀的感應爐中，樣品在純氧氣氛中熔化，導致硫反應成二氧化硫 (SO₂) 和碳反應成一氧化碳 (CO) 和二氧化碳 (CO₂) 的混合物。

燃燒氣體通過粉塵過濾和水分吸收等化學品進行純化。在下一步中，紅外線檢知器檢測碳及硫的含量。ELTRA 碳硫分析儀 CS-i 的紅外線檢知器對於不同靈敏度 (高 /

低) 可根據使用者的要求進行調整。碳硫分析儀利用氧氣作為載氣，將 CO 反應成為 CO₂，以及 SO₂ 到 SO₃。其中，SO₃ 可由紅外線檢知器測量硫的含量。再經由用纖維羊毛去除 SO₃ 氣體，就可由獨立的紅外線檢知器單獨測量碳含量。ELTRA 碳硫分析儀最多可以配備 4 個獨立的紅外線檢知器。

結論

碳、硫、氧、氮、氫等非金屬元素會影響金屬材料的物理性質。這些元素可以在用於積層製造的粉狀原料中找到，也可以在生產過程中導入。因此，全面的品質控制

應始終包括對原材料和最終產品的分析。燃燒分析為可重複測量元素濃度提供了方便可靠的解決方案，測量範圍從 ppm 等級到幾個百分比。

ELTRA – ELEMENTAL ANALYSIS

ELTRA 是燃燒式元素分析儀的領導製造商之一，可以針對固體樣品進行快速、精確及彈性的 C/H/N/O/S 分析。我們的儀器為各種樣品材料和測量範圍提供可靠的分析結果。

元素分析儀

- 碳氫硫分析儀
- 氧氮氫分析儀
- 熱重分析儀
- 灰分的熔融性和生物量測試
- 標準品及耗材

Find out more at www.eltra.com



ELTRA 在積層製造提供的 解決方案



ELEMENTRAC ONH-p

- 採用惰性氣體融合技術同時測定氧/氮或氧/氫的含量
- 密閉式氣體管理和優化氣體循環，適用於高感度ONH測定
- 除了標準氮氣外，亦可以使用具有成本效益的氫氣作為載氣



ELEMENTRAC CS-i

- 透過最少的樣品製備同時測定碳和硫
- 溫度高於2,000°C的感應爐
- 紅外線檢知器可自由選擇的配置

www.eltra.com

AR 875 (LOT 1216F) ¹		
Weight [mg]	Carbon [%]	Sulfur [%]
1003.4	0.8005	0.0128
1001.9	0.8003	0.0125
1002.6	0.8012	0.0126
1003.2	0.8007	0.0126
1001.8	0.7971	0.0125
1004.2	0.7952	0.0125
1003.6	0.7962	0.0124
1003.1	0.7976	0.0123
1003.2	0.8020	0.0124
1002.9	0.8024	0.0123
Average values	0.7993	0.0125
Deviation / relative deviation	0.0026 / 0.32%	0.0002 / 1.20%

¹ certified value: C: 0.799% ±0.017, S: 0.0125% ±0.0034

表2 顯示了鋼材樣品的典型測試結果



粉末射出成型與積層製造 部件熱處理

CARBOLITE GERO 為粉末射出成型和金屬及陶瓷部件積層製造的各種工藝步驟提供合適的高溫爐，如加熱或觸媒脫脂、溶劑脫脂後的部件乾燥、應力緩解等，以及在保護氣體、氫氣或真空下燒結。

涉及金屬的積層製造 (AM) 可區分為直接和間接工藝。CARBOLITE GERO 特別設計了符合最高規格的產品系列，GPCMA 用於直接、HTK 用於間接 3D 積層製造和粉末射出成型 (PIM) 工藝，這是 CARBOLITE GERO 提供的全面積層製造產品群組中的兩樣產品。

直接積層製造的應力緩解

在直接過程中，起始粉末被選擇性地熔化並相互凝固，使複雜的三維零件逐層堆積而成。

當金屬粉末使用雷射熔化 (選擇性雷射熔融 SLM(標準名稱)，或稱雷射粉末床融合 L-PBF) 時，需要對製造的部件進行後續熱處理。

SLM 過程是由數位驅動的，直接來自 3D CAD 資料。對於每個 CAD 資料片，在選定的表面板材上，粉末被雷射精確地熔化，將細篩分過的金屬粉末產生一層層薄薄的均勻沉積 (鈦合金 Ti6Al4V、鈷鉻合金、不銹鋼、鎳合金 Inconel 625 和 Inconel 718 以及鋁合金 AlSi10Mg)。這種精密工藝是一層層重複堆疊，直到成品完成為止。

SLM 可應用於非常小的部件。它可以重複製造機器不可能加工的幾何形狀如封閉空間，每一層的厚度可以薄到 20um，小工件的容許公差可以小至 $\pm 50\text{um}$ 。

目前，使用 SLM 流程的部件生產速率相對緩慢。因為必須使用球磨機生產，然後在使用前又須進行篩分及測試，所以成本很高。目前 SLM 的機器設備也需要大量投入資本。

但是，如果所需的部件尺寸達到 250mm x 250mm x 350mm，該工藝技術可以完全用於需要快速原型設計或少量複雜或甚至「不可能」製造的部件。這些部件隨後可以進行機器鑽孔、開槽、銑削、塗佈、粉體烤漆、拋光或陽極處理。



GPCMA特殊氣氛爐可應用於高達1200°C的溫度下，在可能的氧氣含量<30 ppm對SLM製造的部件進行應力緩解。



使用直接積層製造方法 SLM 製造的部件由於高能量的局部集中輸入，以及熔化池高溫梯度的形成，因此產生較高的殘餘應力。

減少殘餘應力需要接下來進行溫度均勻性的熱處理過程。為此，元件必須在指定的時間內，保持在一定溫度下。必須精確控制熱處理，才能精確設定金屬合金的機械參數，如此才能有效緩解殘餘應力。

此外，熱處理過程是在惰性氣氛中進行的，以確保燒結部件不受氧分子的污染，因為氧分子會改變部件的化學和物理性質。

透過 GPCMA (General Purpose Chamber Modified Atmosphere) 高溫爐的應用，CARBOLITE GERO 提供了一種用於緩解積層製造元件應力的產品，最大限度地降低了日常營運成本，也避免了不必要的氧化，並確保「最佳」的溫度均勻性。

高溫爐有多種尺寸可供選擇 (GPCMA/37、GPCMA/56、GPCMA/117、GPCMA/174、GPCMA/208 和 GPCMA/245)，其容量在 1 至 4 塊建板 (build plates) 之間。即使樣品尺寸較小，也能充分利用爐體體積。當使用 Inconel 或 Haynes 230 進行化學處理時，可以指定選擇這一系列的特殊高溫爐，以便符合航空航太應用的 AMS2750E Nadcap 1 規範。

針對鈦的熱處理，通常使用氮及氫的氣氛控制。依據不同的應用需求，氧氣濃度可降低到 30 ppm。

GPCMA 可從同時上部、側邊以及底部加熱，因此在爐體內有放置熱電偶的地方都能得到較佳的溫度均勻性。在爐體內串聯控制可縮短加熱時間，當與選配的強制冷卻系統配合使用時，可大幅縮短使用者的操作時間。

為了進一步縮短時間，GPCMA/174 高溫爐具有與溫度連鎖的雙樞軸門，以便快速、安全和方便地裝載 / 卸載，並使用水冷矽橡膠密封爐門，使得爐室在整個熱處理的過程中都能得到氣氛保護。



圖2: 打開爐門直視GPCMA/174積層製造之樣品的應力緩解構造。



圖3: HTK金屬室加熱爐，用於1450°C以下的射出成型與積層製造部件的脫脂或燒結。

粉末射出成型和間接積層製造過程中的主幹脫脂和燒結

在適用於金屬和陶瓷的間接積層製造工藝和粉末射出成型工藝中，將起始粉末與黏合劑混合。黏合劑在綠色零件的塑型後仍然存在，將在下一步以觸媒或溶劑加熱反應後被去除，導致零件的收縮。剩餘的棕色部件可以燒結成其最終的形狀和屬性。

首先，主黏合劑經過加熱過程中被除去。經過這一個步驟後，粉末只剩主幹的黏合劑固定，這使得零件非常敏感。在下一個步驟中，主幹黏合劑經加熱步驟後去除，零件就直接在同一高溫爐中燒結。脫脂步驟要求去除氣體廢料和精確的溫度分佈，以便能夠符合燒結部件的材料特性。脫脂可以在真空、空氣或惰性氣體的氣氛下進行。惰性氣體經常被用作載氣，改善氣體流動「移除」

黏合劑以縮短脫脂時間。燒結步驟需要具有特定氣氛控制的高溫爐，CARBOLITE GERO 可以提供所需的產品組合。為避免大多數金屬和陶瓷氧化，燒結步驟需要在惰性氣體 (Ar 或 N₂) 或還原氣體 (不銹鋼為 H₂) 下進行。對於高純度的應用，如鈦金屬燒結，甚至需要在高真空的環境下操作。氧化鋁、氧化鋯和氮化鋁等氧化物或氮化物陶瓷則可以在空氣氣氛中燒結。

CARBOLITE GERO 的 HTK 機型非常適合應用在積層製造或粉末射出成型部件的主幹脫脂和燒結。高度的均溫性允許在整個腔體上進行精確的脫脂和燒結。在惰性氣體或活性氣體、高真空甚至超高真空下工作的可能性也可以應用在非常敏感的材料燒結。

帶有前開門的矩形設計可以方便地裝載和卸載僅包含主幹黏合劑的易碎部件 - 其主黏合劑在之前已被去除。HTK 系列有四種不同的尺寸可以選擇：8L, 25L, 80 L 和 200L。

由鎢 (HTK W) 或鉬 (HTK Mo) 製成的金屬高溫爐可以實現最高純度的惰性氣體氣氛與高真空的要求，即使是超高真空 (5×10^{-6} mbar) 也可以達成。通常使用的氣體包括：氮、氬 (for 鈦)、氫 (for 不銹鋼) 或混合氣體。

加熱元件是由與絕緣材料相同的金屬材料製成的。加熱絕緣是由幾個輻射遮罩組成 (材質為鎢 (W) 或鉬 (Mo)，依機型而定)。爐體可以引導氣流並提高溫度的均勻性。HTK W 的最高溫度為 2200°C、HTK Mo 為 1600°C。

脫脂過程中產生的氣體廢品，會穿過加熱氣體出口在後燃燒器中燃燒。CARBOLITE GERO 高溫爐透過可切換的氣流可以實現高靈敏度材料的無污染燒結，詳見圖 4 說明。

在脫脂過程中，氣體從頂部通過爐體後面的右方入口流動。由於這並非完全密封，外面的壓力比爐體內部稍高使

氣體流入爐體。通過爐體後載氣能將氣態黏合劑帶入爐體底部的氣體出口，然後將這些氣體通過加熱出口引導到後燃燒器。

在脫脂步驟完成後，氣體流動可以改變成最純淨的爐體氣氛。氣體現在通過左上角的入口直接流入爐體，並流向爐體的外部。通過右下角的氣體出口進入後燃燒器。由於不含氣體黏合劑，出口不再需要加熱。

這種氣體流動的方式防止可能在爐體之外的黏合劑殘留物在燒結過程中重新回到樣品上，確保可以產出乾淨的樣品。

在爐體內，加熱元件位於爐體的底部、左側、右側和上端，從而提高了爐體內的溫度均勻性。對於較大體積的爐體，後壁和前端都配備有加熱元件，以保持高度的溫度均勻性。HTK 高溫爐周圍環繞著一個水冷容器，冷卻水從雙壁容器中流動冷卻，因此將 HTK 高溫爐系統分類稱為冷壁爐。

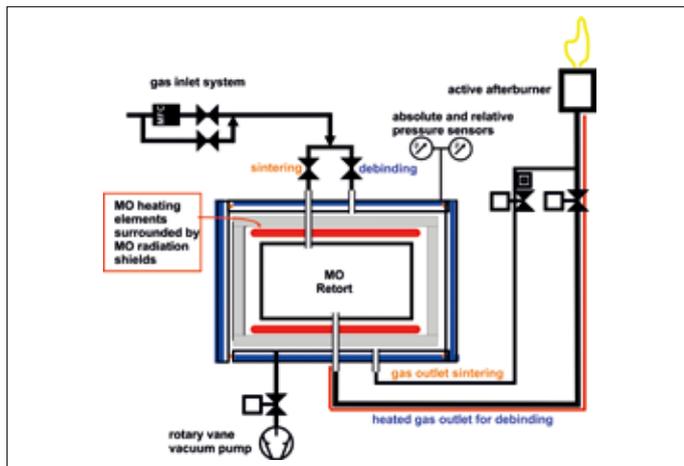


圖 4: 通過爐體脫脂或燒結過程中的氣體導向。

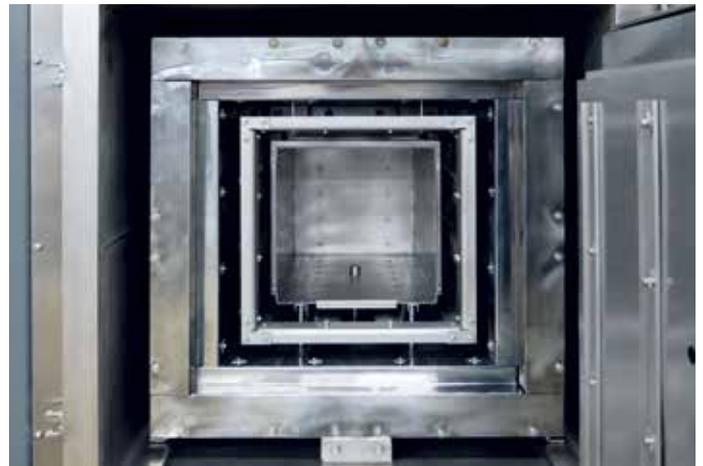


圖 5: HTK 的鉬 (Mo) 爐體可以確保最高的氣氛控制及和真空度。

CARBOLITE GERO – HEAT TREATMENT

CARBOLITE GERO 是全球領先的高溫爐和烘箱製造商，產品線涵蓋從 30°C 到 3000°C 的溫度範圍，特別專注於真空和特殊氣氛的製造技術。我們的產品在熱處理應用擁有 80 多年的經驗，廣泛應用於全球的研究實驗室、試量產工廠和製造基地。

烘箱及高溫爐

- 高溫烘箱
- 箱型高溫爐
- 管狀高溫爐
- 真空高溫爐
- 特殊高溫爐
- 客製化設計

Find out more at www.carbolite-gero.com

結論

透過 GPCMA, CARBOLITE GERO 提供了一種緩解部件壓力的產品，最大限度地降低了客戶的日常營運成本，也避免了不必要的氧化影響，確保了「最佳」的溫度均勻性。最重要的是，透過獨特的水冷式矽密封雙樞軸門設計，可選擇強制冷卻及最簡單的裝卸設計，從而最大限度地縮短生產週期時間。

CARBOLITE GERO 的 HTK 產品系列非常適合粉末射出成型件或積層製造部件的主幹脫脂和燒結。高度的溫度均勻性確保在整個爐體中進行精確的脫脂和燒結。最高等級的惰性氣體氣氛控制、高真空區的真空控制，甚至超高真空度的達成，都能實現鈦合金等非常敏感材料的燒結。

CARBOLITE GERO 可以根據客戶要求為客戶提供測試 (需收費)，以驗證其積層製造部件的熱處理工藝。

Model	Dimensions: Internal retort H x W x D [mm]
GPCMA/37	205 x 337 x 538
GPCMA/56	229 x 400x 610
GPCMA/117	279 x 500 x 840
GPCMA/174	428 x 500 x 815
GPCMA/208	428 x 500 x 970
GPCMA/245	650 x 700 x 1050
HTK 8	190 x 170 x 200
HTK 25	250 x 250 x 400
HTK 80	400 x 400 x 500



CARBOLITE GERO 在積層製造及粉末射出成型 提供的解決方案



為積層製造設計的GPCMA特殊氣氛 高溫爐

- 在N₂或Ar氣氛下緩解應力
- O₂含量低於30ppm
- 精準的溫度控制



為粉體射出成型與積層製造設計的 HTK高溫爐

- 在H₂、Ar或N₂氣氛下進行主幹脫脂或燒結
- 針對敏感性材料應用可調整氣體流量
- 全自動控制設計

www.carbolite-gero.com

金屬粉末及零部件的 粉碎與篩分

原料的再利用是粉末冶金過程中的一個重要因素。RETSCH 提供了一系列適用於篩分粉末和粉碎金屬零件的儀器，兩者都可將樣品重新引入生產過程。下面的例子證明了 RETSCH 儀器適用於這些應用。

利用雷射技術，在3D 列印後透過篩分分離樣品，用以回收金屬粉末

RETSCH 篩分機，如 3D 震盪篩選機 AS 200 Basic, 非常適合應用於 3D 列印之前的金屬粉末去團聚，或將未使用的金屬粉末篩分，目標是將篩分後的細顆粒重新利用。Concept Laser 是一家使用金屬部件用於 3D 列印的機器製造商，使用 AS 200 Basic 作為此需求的應用。它是 AS 200 系列最經濟的機種，但仍具有 RETSCH 所有產品具備的品質和可靠性。只要短時間的篩分，即可將樣品篩分成 1 至 17 個等分（依使用篩網數量及高度而

定）。震盪篩選機具有數位設定參數及時間的顯示功能，確保磁性及非磁性金屬（如黃金、碳化鎢或貴金屬）的有效篩分。

此應用最常使用的篩網是直徑為 200 或 203 mm、高度為 25 或 50 mm 的 RETSCH 篩網，上述篩網均符合 DIN ISO 3310-1 或 ASTM E11 相關規範。32-150 μ m 的篩網尺寸最適合用於在 3D 列印過程中非團聚的金屬粉末篩分進行回收。最常使

用的篩網為以下孔徑大小：32 μ m、45 μ m、53 μ m、63 μ m、106 μ m 和 150 μ m。

久經考驗的 RETSCH 篩網是由高穩定性不銹鋼框架組成，以確保可靠的篩分效果。由於對篩網孔徑的密切關注，篩網與框架緊密地固定以確保高精度的需求。每個 RETSCH 篩網均有的獨立的雷射雕刻，提供了清晰準確的標籤，並具有完全的可追溯性。

RETSCH – MILLING & SIEVING

RETSCH 是全世界固體樣品粉碎及篩分解決方案領導供應商。超過百年的經驗，RETSCH 開發了具有優良性能、操作方便、安全和使用壽命長的粉碎及篩分設備。

粉碎設備

- 顎碎機
- 迴轉式粉碎機
- 切割式及刀片型粉碎機
- 磨粉機及盤式研磨機
- 球磨機

篩分機及篩網

- 篩分機
- 篩網

Find out more at www.retsch.com

金屬射出成型生產的綠色部件或硬質零件的回收利用

金屬射出成型主要是用來生產複雜幾何形狀的金屬零件。將金屬粉末和粘合劑混合到原料中，並使用塑膠射出成型機 (MIM) 注入模具，在第一步形成所謂的綠色部件。然後部分去除粘合劑，形成易碎的棕色部件，最後進行燒結過程，生產出複雜形狀的穩定新金屬部件。在每個階段，都可能產生出具有不需要的中間部件，而這些部件都需要再粉碎，以便製成可再利用的原料。

RETSCH BB 500 落地型顎碎機可在幾分鐘內粉碎有缺陷的綠色部件、棕色部件或硬質金屬部件。



應用實例

BB 500 顎碎機可以將 10 公斤 (< 100mm) 的綠色部件分兩批粉碎，將間隙設定至最小 (即將固定和移動的顎臂設定直接接觸)。可以發現每批材料在短短 1 分鐘內就可以被粉碎到 85% < 250um 的最終細度。

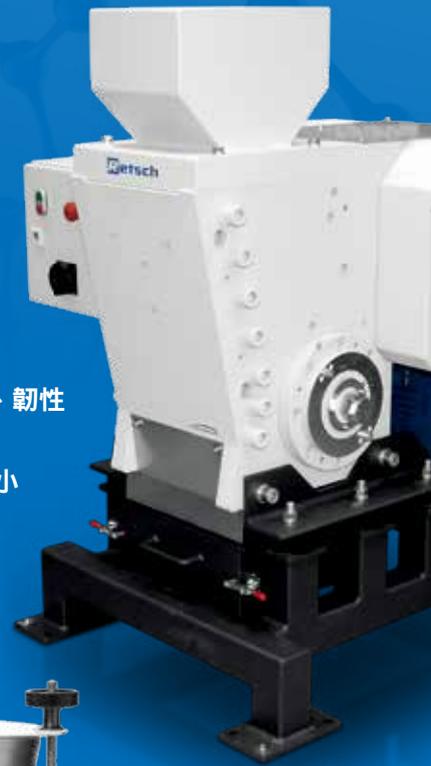


RETSCH 在積層製造提供的 解決方案

顎碎機 BB 500

適用材料：
中硬性、硬性、脆性、韌性

- 高破碎比 50 : 1
- 可連續設定間隙大小



3D 震盪篩選機 AS200 Basic

篩網孔徑：20um-25mm

- 數位顯示參數及時間設定
- 乾溼篩皆適用

www.retsch.com

3D 列印技術生產的材料 金相製備

在眾多的 3D 列印技術中，有一種方式是積層雷射粉末堆積焊接。該技術是透過雷射焊接產生粉末狀塗層材料，特定產品所需的形狀是透過在製造前預設的軌跡所產出的。雷射的能量可將再使用的金屬粉末熔化成焊接顆粒，再根據預定義軌跡的路徑，透過堆疊焊接磁珠的方式而產生的三維輪廓。雷射粉末堆焊的技術主要應用集中在高品質、高精度的加工。另一

個技術重點是可擴充性：一方面是大規模的製造，另一方面可以觀察到小於 100 μm 的微結構。¹

用於雷射粉末堆積焊接的材料主要有：

- 輕金屬
- 鎳超級合金
- 鋼材
- 介金屬材料
- 硬質材料 (碳化物)

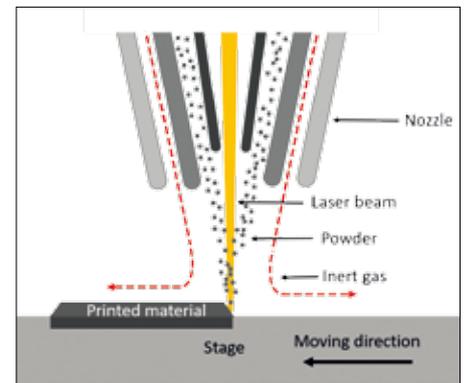


圖1: 雷射粉末堆焊工藝流程

¹ Fraunhofer IWS, Additive Manufacturing, 2016, www.isam.network





圖2: Brillant 220精密切割機

金相樣品製備流程

接下來，我們將展示積層製造生產的樣品之金相製備過程。在材料學中，從工件中取出的樣品稱為試片。

典型的材料製備包含了以下的流程：

- 切割 – 使用精密切割機
- 鑲埋 – 熱鑲埋有助於後續製備的結果
- 研磨拋光 – 觀察微結構的製備過程
- 影像分析 + 硬度分析

本文研究了一種用雷射粉末堆焊製成的鋼材試片 (X6Cr17, 材料編號：1.4016)。第一步是切割成一個較小的樣品件 (試片)，它代表了整個工件。這是透過使用 ATM 的 Brillant 220 精密切割機與薄 CBN (立方氮化硼) 切割片 (切割片厚度：0.65mm, 切割片直徑：153 mm) 完成的，如圖 3 所示。

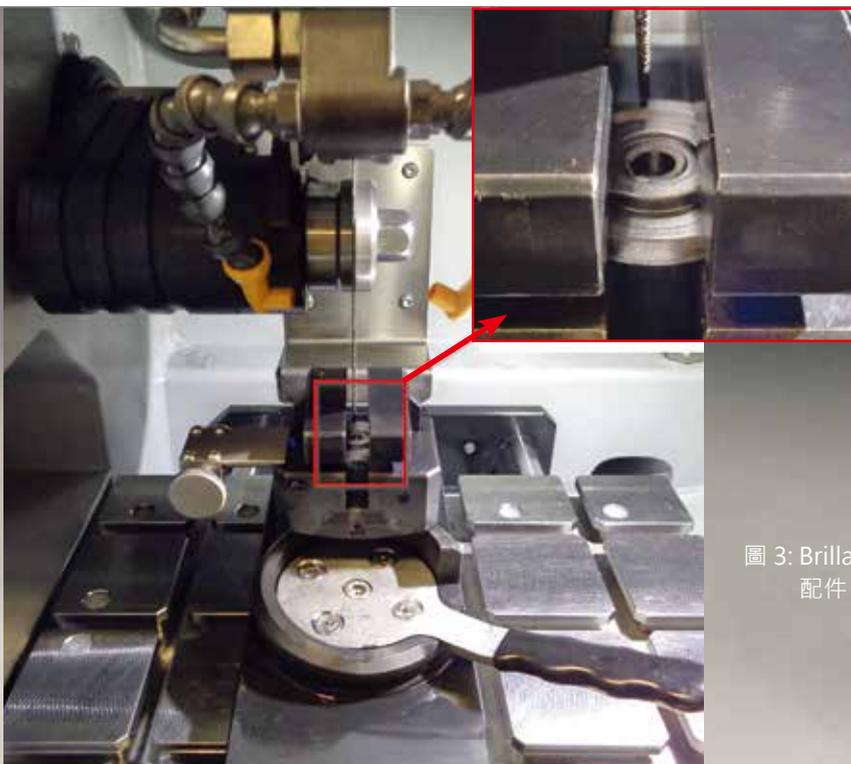


圖 3: Brillant 220機器設置。
配件：夾具(夾具種類：vertical vice single)。

切割方式採用脈衝直接切割法 (0.2mm 向前和 0.2mm 向後) · 進給速度為 1mm/sec, 轉速為 4500rpm.

切割後, 樣品使用 ATM Opal X-Press 熱鑲埋機鑲埋 (熱鑲埋粉: Epo Black) 成型以獲得更容易處理的樣品。在 180°C 的溫度下, 以 200 bar 的壓力進行 6 分鐘的鑲埋過程, 接著進行了 6 分鐘的冷卻完成鑲埋。使用 ATM Opal X-Press 的另一個優點是可以獲得平行度在 $50 \pm 1\mu\text{m}$ 的樣品 (公差測量使用測量試樣高度的游標卡尺)。接下來使用 ATM Saphir 250 A1Eco 的研磨拋光機搭配獨立施壓的研磨頭進行研磨及拋光。研磨過程分為兩個步驟: 第一步是使用 P240 的碳化矽 (SiC) 研磨砂紙進行研磨以消除切割過程中造成的變形層。第二步使用 P600 的研磨砂紙進行研磨將表面磨得更光滑。隨後進行的拋光步驟: 首先使用硬質 Galaxy BETA 拋光布和 $9\mu\text{m}$ 多晶鑽石懸浮液做粗拋光, 然後再用中硬度的絲綢 Galaxy GAMMA 拋光布和 $3\mu\text{m}$ 多晶鑽石懸浮液做細拋光。最後一步, 稱為最後拋光步驟, 是使用柔軟的合成拋光布 Galaxy OMEGA 和 Eposil M 膠質矽懸浮液完成的。詳細的製備參數請見表 1。

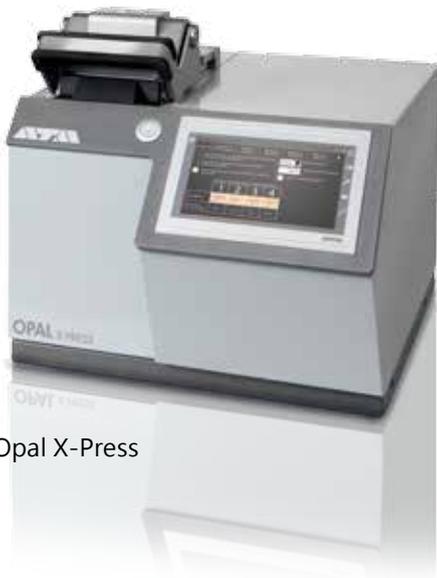


圖 4. 熱鑲埋機 Opal X-Press



圖 5. 半自動研磨拋光機 Saphir 250 A1 Eco



表1：研磨拋光製備參數

Step	Medium	Lubricant/ suspension	Speed platen [rpm]	direction sample holder	Single load [N]	Time [min]
Grinding	SiC, P240	Water	150	Clockwise	30	1:00
Grinding	SiC, P600	Water	150	Clockwise	30	1:00
Polishing	BETA	Alcohol, diamond 9 μm (poly)	150	Counter- clockwise	35	4:30
Polishing	GAMMA	Alcohol, diamond 3 μm (poly)	150	Counter- clockwise	35	4:00
Polishing	OMEGA	Water, Epsil M	100	Clockwise	30	1:30



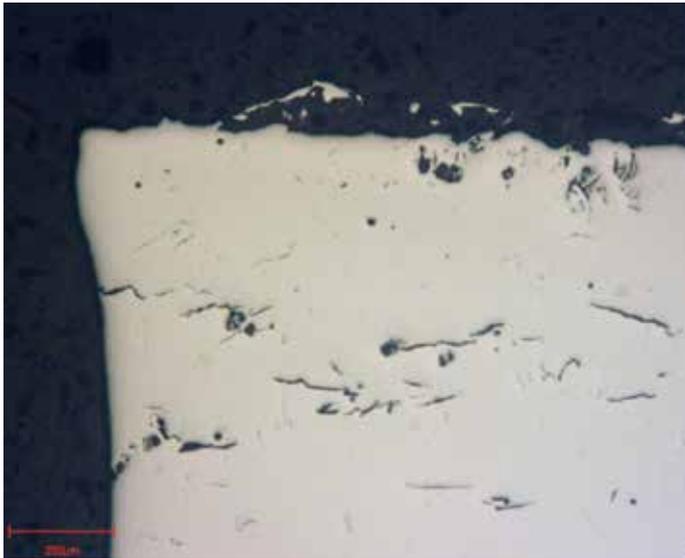


圖 6: 製備試片的表面圖像。由於拋光表面的光線幾乎同樣反射，微觀結構也無法清楚辨認。



圖 7: 使用 "V2A Beize" 蝕刻試片 (45 秒) 的表面圖像。邊緣部分微觀結構是顯而易見的。

經過此製備過程，我們可以得到完美拋光的試片表面。圖 6 顯示由光學顯微鏡 拍攝放大倍率為 100 倍的圖像。

由於光線幾乎均勻地反射在整個試片表面上，因此微觀結構仍然無法被清楚看見。由於人眼最小需要的 10% 的對比度差異，才能使對比度在任何表面上可見。這種對比一般是可以透過蝕刻來實現的。在我們的例子中，用於酸洗的蝕刻液 "V2A Beize" 被用來透過蝕刻 X6Cr17 鋼材的不同階段來對比表面。45 秒完成蝕刻後，可以明顯地看見微觀結構，如圖 7 所示。

對試片中間部分表面的微觀結構也進行了很好的對比，表明整個製備的表面進行了成功的對比，如圖 8 所示。

進一步的分析如硬度測試，也需要一個平面和光滑的表面以提供可靠及有意義的結果，上述的金相製備工藝可以確保試片非常適合硬度測試。ATM 為此提供 Carat 930，這是一種用於顯微硬度測試和光學評估之功能強大的儀器。

圖 6 中的拋光表面顯示了幾個裂痕。左側的直角是經由粉碎產生的，焊接接縫的輪廓不可見。藉由刻蝕的過程，

ATM – ADVANCED MATERIALOGRAPHY

ATM 是材料學 (金相) 儀器的開發和製造方面的技術領導者。ATM 設備成功地應用於品質控制、破壞分析、生產控制以及研發等領域。

金相製備及分析

- 精密切割機
- 熱鑲埋機
- 研磨、拋光、蝕刻
- 金相耗材
- 顯微鏡
- 硬度測試

Find out more at www.atm-m.com



圖 8: 對比試片。所製造工件的焊接微觀結構清晰可見。

反差圖像得到了加強。蝕刻表面如圖 7 所示。看出有更多的裂縫，且蝕刻液殘留讓有色的斑點顯示出過度蝕刻的區域接近幾個裂縫。焊接的接縫很明顯有不同的尺寸。逐層堆疊技術對下一層樣品產生熱影響而形成熱影響區 (HAZ)，這會導致微觀結構發生變化而影響試片的性能。例如，硬度可能會降低，從而影響機械應力。當層與層之間的硬度不同時，機械應力會不斷增加，可能導致所謂的二次裂縫。形成主要裂縫的另一個原因是堆疊過程中的冷卻梯度。圖 8 顯示了單個焊接磁珠的放大倍率及其相對應的熱影響區。硬度測試則可以顯示每一堆疊層硬度的差異。

ATM 在積層製造提供的 解決方案



精密切割機 Brilliant 220

- 精密切割機
- 大尺寸切割空間
- 左右兩側開口可以切割長型工件



熱鑲埋機 Opal X-Press

- 操作介面簡單易學
- 電子控制，全自動操作
- 大型 LCD 觸控面板



半自動研磨拋光機 Saphir 250 A1 Eco

- 單盤研磨機 + 研磨頭
- 可中央施壓或個別施壓
- 研磨盤及研磨頭轉速可調

www.atm-m.com



粉末冶金樣品硬度測試

與傳統的硬度測試應用相比，粉末冶金樣品的硬度測試需要完全不同的參數和步驟。樣品必須做好製備，才能進行硬度測試。例如試片必須利用鑲埋機做好鑲埋，然後材料樣品必須拋光，以便獲得乾淨的表面進行硬度測試。

測試方法及步驟

有色金屬（非鐵金屬）材料一般使用 Brinell 或 Vickers 測試方法進行硬度測試，通常使用 2.5 至 1000 公斤的壓力 – 取決於工件大小及應用。粉末材料的測試要求是非常不同的，小顆粒樣品 (< 0.1mm 顆粒尺寸) 需要非常低的測試壓力和小的壓痕對角線，這種應用只有 Vickers 測試方法可以

達成。對於我們的範例中的鋁粉，預期的硬度範圍為 25 至 35 HV，這意味著測試壓力高於 15 g (HV0.015) 的結果可能已經符合 Vickers DIN EN ISO 和 ASTM 標準 (標準要求: Vickers 壓痕對角線 > 20 μ m)。如果硬度測試儀能夠執行更低的測試壓力，也可以對較小的顆粒進行測試。

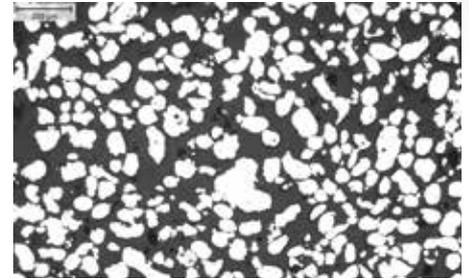


圖1：嵌入鋁粉 / 表面拋光 / 4x顯微鏡物鏡 粉末顆粒拋光到顆粒尺寸的一半或大顆粒最適合硬度測試，並且可以得到有意義的結果。

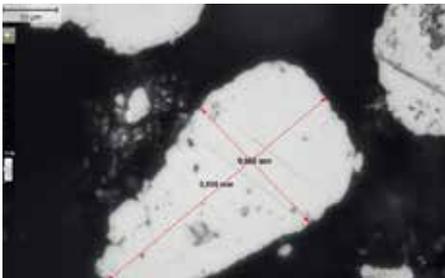


圖2：硬度測試軟體中測量的鋁粉顆粒的尺寸 (40x物鏡)(40x lens)

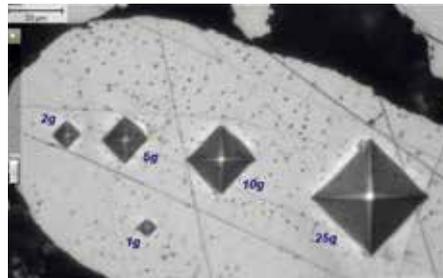


圖3：Vickers硬度測試壓痕尺寸的比較：HV0.001、HV0.002、HV0.005、HV0.01和HV0.25 – 測試壓力在1g至25g之間

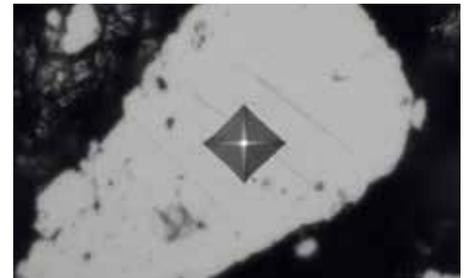


圖4：硬度測試結果：30.3(HV0.005)在鋁顆粒橫切面中間測試

QNESS – HARDNESS TESTING

QNESS 專注於開發和製造用於硬度測試的創新高端產品。除了廣泛的多功能標準機外，QNESS 還強化於客製化的客戶應用與諮詢。

硬度測試及分析

- 微硬度機
- 洛式硬度機
- 通用硬度機
- 夾具測試儀
- 客製化硬度機
- 全自動硬度測試設備

Find out more at www.qness.com

QNESS 在積層製造提供的 解決方案

粉末冶金的硬度測試需求

- 低維氏硬度壓力
- 高精密度
- 具有高對比與放大倍率的光學系統
- 操作簡便
- 測試管理及報表系統

結論

為了驗證粉末材料的品質，需要一款功能強大的微硬度機，如 QNESS Q10/30/60. 根據測試樣品的數量，簡單的半自動 "M" 版本或專業的全自動 "A" 或 "A +" 型號是粉末材料應用的理想選擇。根據測試壓力和表面準備的不同，硬度測試儀甚至可以使用自動亮度和對焦調整的模式整合成自動影像分析系統。報告工具和匯出功能可以將測試步驟或資料匯出到資料管理系統。



Micro Hardness Tester Q10 M

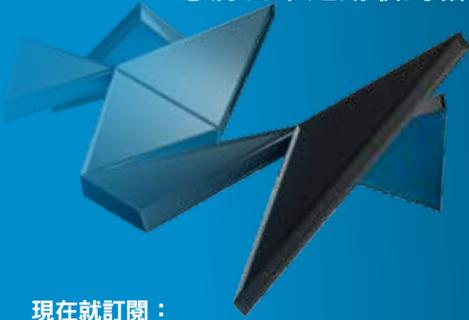
半自動 Q10M 維氏硬度機，可以應用於粉末材料的手動硬度測試。測試壓力可以設定在 0.25g 到 10kg 之間。

- 精確定位和大型測試平台
- 6-fold 測量塔台
- 動態高度調整

www.qness.com

訂閱我們的電子報！

您將會不定期收到相關研討會/網路研討會、應用程式和產品新聞的相關資訊。



現在就訂閱：



www.verder-scientific.com/newsletter

您也可以掃描QR Code連結我們的網址
尋找相關資訊



粒徑及型態分析



碳硫氧氮氫分析



烘箱及高溫設備



粉碎及篩分設備



金相製備及分析



硬度測試及分析

VERDER
scientific

台灣總代理

詳細說明請上集團網頁：www.sunpro.com.tw



官網連結

 **勝博國際集團**
SUNPRO INTERNATIONAL INC

台北 **勝綻科技**
Tel:02-8791-8971

台中 **勝璋科技**
Tel:04-2298-0365

高雄 **勝騏科技**
Tel:07-338-5550