

SOLUTIONS FOR ADDITIVE MANUFACTURING & POWDER INJECTION MOLDING

VERDER
scientific

<カスタマーマガジン> AM (積層造形技術) & PIM (粉末射出成形技術) ソリューション

日本語版

CARBOLITE
IGERO 30-3000°C

ELTRA

Retsch

QATM

MICROTRAC
MFB

SOLUTIONS FOR ADDITIVE MANUFACTURING & POWDER INJECTION MOLDING

<カスタマーマガジン> AM（積層造形技術）&PIM（粉末射出成形技術）ソリューション

長年にわたり、AMはラピッドプロトタイピングの重要技術として認められてきました。この技術は新製品のイテレーションにおいて、その工程を大幅に短縮することができ、初期の機能テストが可能になります。現在単なる試作品の域を超えて急速に進歩しており、従来の方法では製造することができなかった高度に洗練された、小型軽量部品の製造が可能になりました。（例：航空機エンジン用油圧部品）コスト上の理由から、AMは部品の大量生産にはまだ有効ではなく、大量生産の場合は、PIMのような伝統的な製造方法は依然として優れています。

粒子径分布・粒子形状解析、元素分析、熱処理、微細構造分析、硬さ試験など、Verder Scientificグループは、AM（積層造形技術）やPIM（粉末射出成形技術）プロセスにおいて革新的で効率的なソリューションを提供します。

目次

VERDER SCIENTIFIC AM（積層造形技術）&PIM（粉末射出成形技術）ソリューション	02
MICROTRAC MRB “動的画像解析” 及び “レーザ回折・散乱” による金属粉体の粒子特性評価（粒子径分布・粒子形状）	04
ELTRA 付加的加工により製造される金属粉末末と金属部品の元素分析	10
CARBOLITE GERO 粉末射出成形MIM成形部品の熱処理	16
RETSCH 金属粉末末のふるい分けと中間体の粉砕	22
QATM 3Dプリント技術における材料構造解析用試料の作製	24
QATM MIMにおける硬さ試験	30

ELECTRON BEAM MELTING

DIRECT METAL DEPOSITION

SELECTIVE LASER SINTERING

SELECTIVE LASER MELTING

GATM

LASER BEAM MELTING

RAPID PROTOTYPING

POWDER BED FUSION

MICROTRAC
MIB
PARTICLE CHARACTERIZATION

粒子径分布、粒子形状

- ・動的画像解析
- ・レーザ回折・散乱
- +動的画像解析
- ・BET比表面積
- ・真密度

切断機
埋込機
研磨機

CARBOLITE
IGERO 30-3000°C

電気炉
オーブン

VERDER
scientific

成分分析装置
元素分析装置

Retsch
MILLING SIEVING ASSISTING

粉碎機
ふるい
振とう機
周辺機器

硬さ試験機

ELTRA
ELEMENTAL ANALYZERS

SOLID FREEFORM FABRICATION

GATM

DIRECT METAL LASER SINTERING

FREEFORM FABRICATION

RAPID MANUFACTURING

LASER METAL DEPOSITION

DIRECT ENERGY DEPOSITION

LASER CLADDING

金属粉体の粒子特性

ここでは、Microtrac MRB製品「動的画像解析式CAMSIZER X2」、及び、「レーザ回折・散乱式+動的画像解析式SYNC」を用いて、金属部品製造に使用される一般的な金属粉体の粒子径分布、及び、粒子形状の評価事例を紹介します。

まずは、動的画像解析式CAMSIZER X2です。動的画像解析式は、個々の粒子を画像として捉えて解析するため、短時間で高い再現性、そして、高い分解能で測定することが可能です。短径、長径、面積相当径などの粒子径、及び、円形度、アスペクト比などの粒子形状と様々なパラメータを一度の測定で解析することができます。粒子径分布は、個数分布/体積分布、頻度分布/累積分布で出力され、粒子形状は、0~1のスケールで相対的に評価されます。例えば、アスペクト比=1は、完全に球形であることを示します。粉体全体の平均値に加え、個々の粒子ごとに特性を解析することも可能です。

画像解析：粒子画像から直接的にその特性を解析

画像解析は、粒子画像から直接的に粒子径分布、そして粒子形状を解析するシンプルな手法です。個々の粒子画像に基づいているため、一度の測定で、様々な切り口から粒子の特性を求めることが可能です。

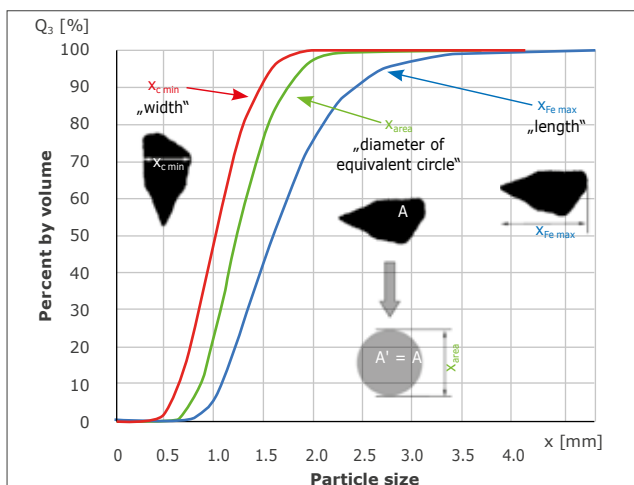


図1：CAMSIZER X2による粒子径分布 短径(赤)、長径(青)、面積相当径(緑)

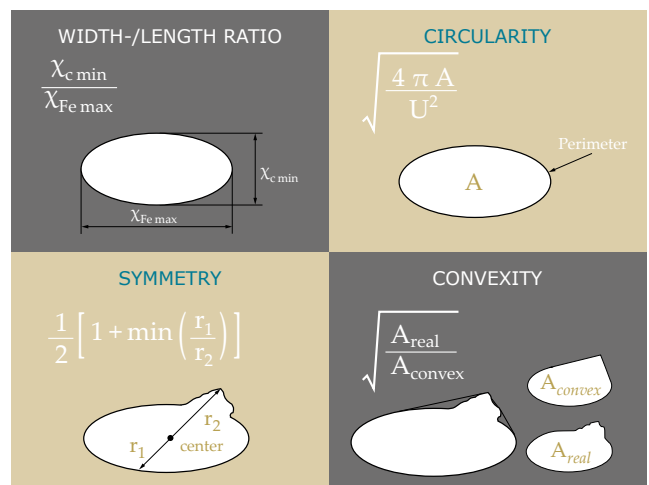


図2：さまざまな粒子形状の評価指数



CAMSIZER X2: 「動的画像解析式」

CAMSIZER X2は、0.8 μ m～8mmの幅広い測定範囲を湿式、または、乾式で測定可能です。図1に示すような様々な粒子径分布（短径、長径、円相当径）、図2に示す様々な粒子形状を一度の測定で両方とも評価できます。

動的画像解析式CAMSIZER X2の測定では、粒子はカメラシステムによる撮像部へ乾式または湿式分散により供給されます。乾式測定では単一パスの空気流によって輸送、湿式測定では溶液中に分散・循環することで供給します。特に乾式測定では、数分間という短時間で数百万個の粒子を撮像して解析するため、サンプリングエラーの影響を最小化した高精度測定を実現しています。

図3はCAMSIZER X2動的画像解析式光学系の主要な構成を示しています。粒子通過部を光源で照射し、反対側からカメラシステムで撮像します。撮像された個々の粒子について、独自技術で粒子輪郭を決定して粒子径分布、粒子形状を解析します。デュアルカメラも唯一独自の技術であり、高倍率カメラで小粒子を、低倍率カメラは広い視野で効率的に大粒子を撮像し、アルゴリズムで結合することでワイドレンジの高精度測定を実現しています。1フレームに数百個の粒子を撮像し、毎秒300を超えるフレーム数を撮像します。

動的画像解析式では、非常に少ない特異的な粒子、例えば、オーバーサイズ/アンダーサイズ、或は、球形/非球形、凝集体などの評価が可能です。例えば粗大粒子の検出では、体積で0.002%の非常に少ない割合でも精度高く検出することができます。堅牢な光学設計、高精度、高感度、そして操作が簡単であることから、研究開発から品質管理まで幅広く活用されています。

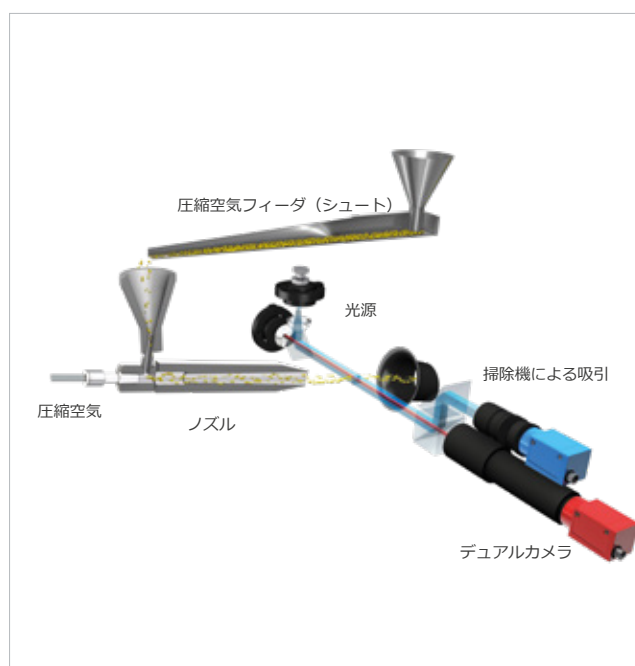


図 3: CAMSIZER X2 (X-JET) による乾式測定機構

測定例：さまざまな金属粉体の粒子径分布、粒子形状

図5は、粉末冶金で使用される10種類の金属粉体をCAMSizer X2により測定した粒子径分布測定結果を示しています。化学的特性、密度のような物理的特性、粒子径分布、そして、粒子形状の異なる10種類の金属粒子を全て同一条件の乾式分散圧力50kPaで分散させて測定しています。

体積分布の累積50%径は、10~50 μ mとなりました。鉄粉(Fe)が最も粒子径分布粗く、一方、鋼粉(SUS316)が最も微細な粒子径分布となっており、チタン粉は、非常にシャープな粒子径分布となっています。

図6は、粒子径分布と同時に測定された粒子形状を示しています。鉄粉(Fe)のアスペクト比が最も小さく(細長い形状)チタン粉のアスペクト比が大きい、即ち最も球形に近いことがわかりました。

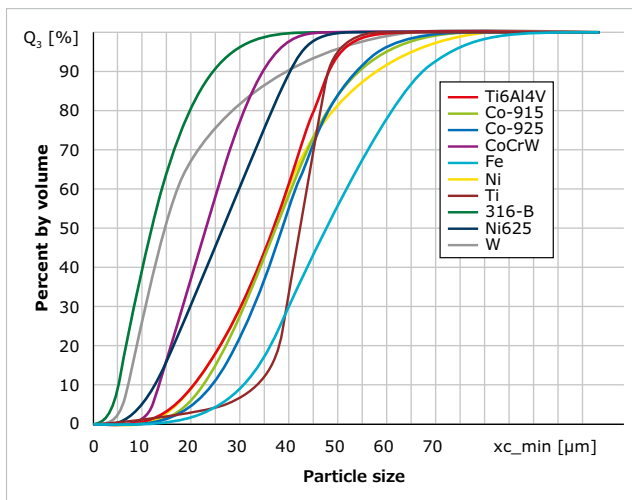


図5: CAMSIZER X2による金属粉体(10種類)の粒子径分布測定結果

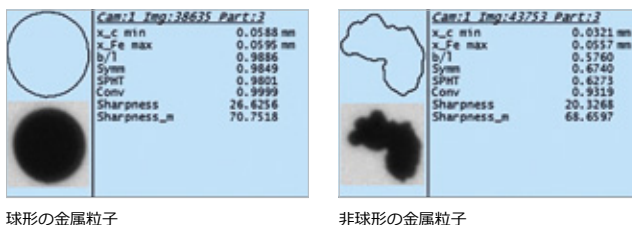
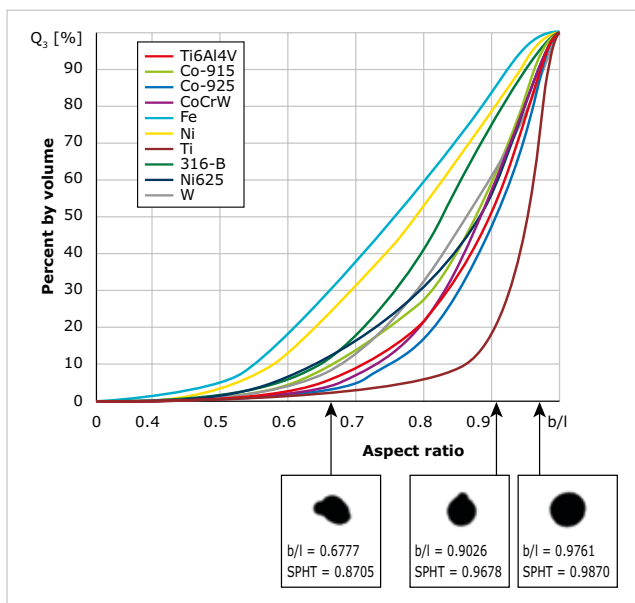


図6: CAMSIZER X2による金属粉体の粒子形状評価
アスペクト比の大きな球形粒子がグラフの右側にプロットされます。大部分が球形の粒子中の極微量な非球形粒子を検出することは、動的画像解析の大きな利点です。

粉末冶金プロセスでは、大きい粒子間の空隙に小さい粒子が入り込み充填密度を高めることが好ましく、また、不規則な形状は、粒子間の接触を増加させるので、焼結プロセスに有益であると言われています。しかし、過剰に不規則な場合、圧縮成形が困難になるため、好ましくありません。金属積層造形製造では、体積平均径10~50 μ m、球形で幅広い粒子径分布を持つ金属粉体がスムーズな粉体層を形成し、焼結後の金属部品の精度、強度を高めるために求められます。上記の例では、チタン粉が金属積層造形に最も適していることがわかりました。また、粗大粒子は金属部品に欠陥を生じさせる原因となるため、極微量であってもその存在を検出する必要があります。動的画像解析式CAMSIZER X2は、大量の粒子を個々に画像解析することで、極微量の粗大粒子を高精度に検出することが可能です。

SYNC: ハイブリッド測定装置「レーザ回折・散乱式+動的画像解析式」

SYNCは、レーザ回折・散乱式(LD)と動的画像解析式(DIA)を1台の装置に組み合わせ、同じ試料を同時に測定するハイブリッド装置です。レーザ回折・散乱式装置は、金属粉体の出荷検査、及び、受入検査で品質管理の目的で広く利用されていますが、SYNCはその進化系装置となります。

SYNC光学系を図7に示します。LDによる測定では、3本の半導体レーザと2箇所に配置した検出器により、粒子からの散乱光を0.02~163度までの高角度で連続的に検出します。小粒子に照射されたレーザー光は、弱い光が高角度に散乱し、大粒子では強い光が狭い角度に散乱します。

SYNCのLD測定では、Mie理論を用いることで、球形粒子に加え、非球形粒子でも高精度に測定することを実現しています。同時に行うDIAによる計測では、CAMSIZER X2が行うように、高速LEDストロボランプを粒子に照射し、デジタルカメラにより粒子画像を取得します。同じサンプルセルの同じ試料をLDとDIAで同時に測定を行います。

図8は、粉末冶金で使用される金属粉体のレーザ回折・散乱による測定例です。

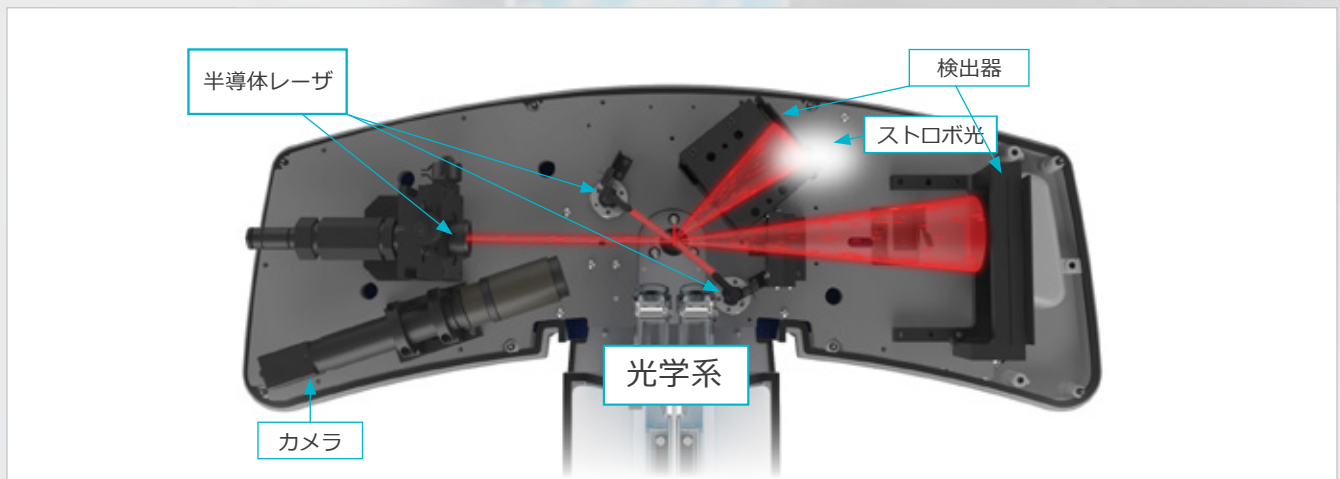


図7: SYNC光学系, レーザ回折・散乱式(LD) + 動的画像解析式(DIA)

SYNCのDIA解析ソフトウェアは、粒子画像表示(GUI)、および、粒子個々の散布図表示が可能です。例えば、金属粉体中の凝集粒子が含まれる割合を求めることができます。これにより金属粉体の製造メーカーは、凝集粒子が多く含まれる不具合品を突き止め、リサイクル工程を経て良品とし、部品製造メーカーは受入検査により不具合品の受け取りを拒否し、無駄な時間と費用を回避することが可能となります。

CAMSIZER X2, SYNCともに、2つの粒子形状パラメータを使用して金属粉体中の凝集粒子を定量することができます。凝集粒子は、粒子径分布全体にわたって存在するため、粒子径分布で凝集粒子を定量することはできません。粒子形状パラメータには、アスペクト比と凹凸度が使用されます。

図9は、SYNCによる凝集粒子の評価例です。短径と長径のアスペクト比(W/Lアスペクト比)と凸度を使用しています。

凸度=1の粒子は、凹みのない完全に凸状の粒子輪郭を持つ粒子であり、W/Lアスペクト比=1は、粒子が完全な球形であることを示しています。

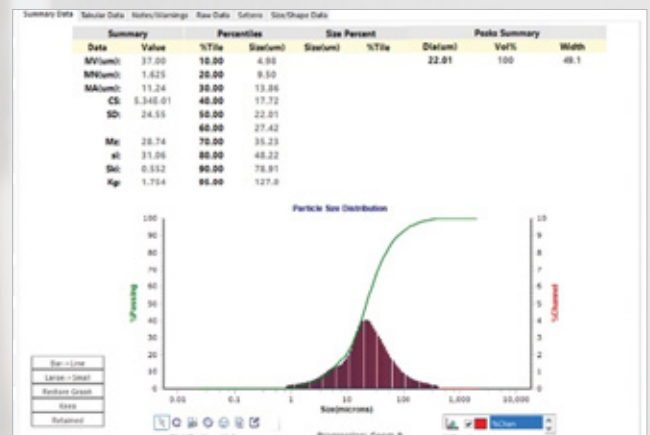


図8: SYNC LD測定結果 (要約データ、頻度/累積分布グラフ)

図9では、SYNC画像解析ソフトウェアの検索機能により、赤色長方形の枠に入らない粒子、すなわち凝集粒子の割合を算出しています。体積比率で23%、個数比率で12%の粒子が凝集粒子であることがわかりました。凝集粒子の存在比率は、金属粉体および金属部品製造において非常に重要な品質情報です。

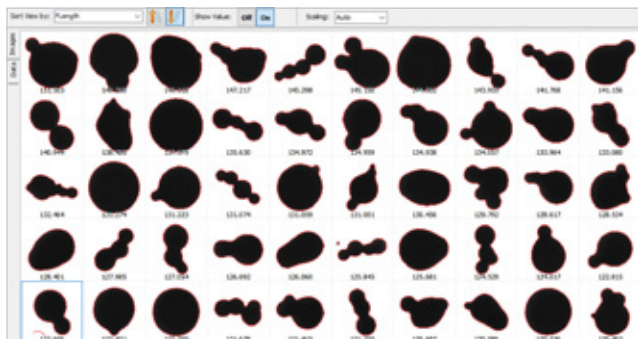


図9: SYNC画像解析ソフトウェア、粒子検索機能 (左図)、粒子特性散佈図 (右図)

アスペクト比、凸度共に「1」に近く、凝集体ではない球形の金属粉であることを示しています。 Agglomerates=凝集粒子

ふるい分け、レーザ回折・散乱、動的画像解析

ふるい分けは、金属粉体の粒子径分布測定方式として使用されています。但し、エアジェット方式のふるい分けでさえ、最小メッシュサイズは20μmであり、金属積層造形、及び、射出成型で使用される金属粉体の全体的な評価は困難です。45μmまたは63μmメッシュのふるいで粗大粒子を測定する場合がありますが、それだけでは全体像の評価にはなりません。また、当然ながら、ふるい分けでは粒子形状情報を得ることはできません。

1970年代、金属粉体の評価は、ふるい分けからレーザ回折・散乱に置き換わり始めました。そして現在も、レーザ回折・散乱式装置は金属粉体評価の主流となっています。

レーザ回折・散乱式装置は、操作が容易であり、短時間で再現性の良い粒子径分布測定結果が得られます。

SYNCは、レーザ回折・散乱の良さに動的画像解析の粒子形状評価を併せ持ち、金属粉体の研究開発から品質管理まで幅広く使用されています。

MICROTRAC MRB – PARTICLE CHARACTERIZATION

CAMSIZERS

動的画像解析

- CAMSIZER P4
- CAMSIZER X2

測定範囲

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

SYNC

- レーザ回折・散乱 / 動的画像解析

- 0.02 μm – 2000 μm

詳しくは www.microtrac.com

測定方式の比較

測定方法による 各項目の違い	DIA (CAMSizer X2 & SYNC)	レーザ 回折・散乱	ふるい分け試験
幅広い測定範囲	+++	+++	++
繰り返し再現性	+++	+++	++
シャープ粒子径分布の 高分解能測定	+++	++	-
粒子形状	+++	-	-
他方式との データ致性	+++	++	-
粗大粒子の検出	+++	++	+++
堅牢、操作性	+++	+++	+++
測定時間 サンプルスルー	++	+++	-
個々の粒子評価	+++	-	++

金属射出成形、および、金属積層造形による金属部品製造が普及するにつれて、使用される金属粉体の特性に対する要求が厳しくなっています。化学組成だけでなく、粒子径分布、そして、粒子形状も製造工程における加工特性、最終部品の寸法精度、強度に影響を与えるからです。SYNCによるレーザ回折・散乱と動的画像解析、及び、CAMSizer X2による動的画像解析は、金属粉体特性評価の要求（粒子径分布・粒子形状）に高度に応えます。

一方、光学顕微鏡、電子顕微鏡のような静的画像解析と比較して、遥かに多数の粒子数を1〜3分間という短時間で測定することが可能であり、正確性・高い再現性・簡単な操作性を兼ね備えています。SYNC、CAMSizer X2は、金属粉体メーカー、そして、金属部品製造メーカーの両方にとって効果的なツールであり、品質管理プロセスを大幅に改善する測定装置です。



MICROTRAC MRB SOLUTIONS FOR ADDITIVE MANUFACTURING



CAMSizer X2

- 動的画像解析式(ISO 13322-2)による粒子径分布、粒子形状評価 測定範囲0.8 μm to 8 mm
- 幅広い測定範囲の高精度測定
- 高分解能測定
- 極微量なアンダーサイズ、オーバーサイズ検出
- ふるい分けとの高いデータ致性

付加的加工により製造される 金属粉末と金属部品の元素分析

付加製造は、ますます確立された製造技術となりつつあります。しかし、残念なことにその要求工程は現在ではまだ定義付けられてはおりません。例えば、品質管理プロセスに関する業界的な基準がありません。確立されたパラメーターは付加製造に使用される粉体の粒子形状です。しかし、粒子サイズは品質管理で使用される特性のみではありません。

付加製造で使用される金属粉末の幾つかは、合金だけでなくTi64, Al, Ni, Cr, Wも異なる鋼種です。これらの原料の品質と純度の確認は、適切なプロセスに改善される必要があります。例えば、様々な“不明な”要素の内容は、高品質な最終製品の為に厳密にモニタリングされるべきです。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



材料特性に影響を与える元素

以下に記述される元素濃度の特定は、品質の要求される最終製品プロセスと原材料の両方を保証する付加製造プロセスの前後で実施されるべきです。

チタン

例えば、Ti-6Al-4V (Grade 5)以下のこれらの元素により影響を受けます：

Hydrogen [H] 水素

水素は、鉄のようにチタン上でも同じ影響を持ち、チタン合金中の混合相の形成に多くの影響を及ぼします。

Nitrogen [N] 窒素

窒素はチタンの脆性を増進させます。

Oxygen [O] 酸素

最小量の酸素でもチタンの靱性と高度に対してかなりの影響力を持っています。仕様書に示す酸素含有率の僅かな差でさえも、チタンの高品質(grade 1: 0.18% O)と低品質(grade 3: 0.35%)との違いを決定づけるかもしれません。酸素は機械特性および物理特性を大幅に変化させます。酸素含有率0.1%のチタンでは、含有率0.3%のものより約3倍安定します。

Sulfur [S] 硫黄 / Carbon [C] 炭素

これらの元素はチタンに対してわずかに影響します。

定義された元素含有量の決定は、原材料と最終製品プロセスの間での要求品質を保証するために付加製造プロセスの前後で実施すべきである。

鋼

鉄鋼は、これらの合金元素 (C, Si, Mn, P, S 等) の鋼種と濃度により、異なる品質グレードとアプリケーション分野に分類されます。以下は、もっとも重要な非金属元素とこれらの影響について記述します。

Carbon [C] 炭素: 炭素濃度は鉄鋼の様々な物性パラメータに影響を及ぼします。この鉄合金は、0.0002%-2.06%の炭素を含有します。炭素濃度が高ければ高いほど、融点が低くなります。さらに脆性および硬度は炭素濃度とともに増大します。

Sulfur [S] 硫黄: もし合金が硫黄を含んでいれば、鉄鋼の機械加工性、例えば穿孔（ドリル）や粉砕（ミル）のような方法による作業への材料の適合性も増大します。硫黄濃度が高ければ高いほど、延性が低くなります。

Nitrogen [N] 窒素: 窒素濃度は、希望するものと希望しないものに分かれるかもしれませんが。高窒素濃度を許容する幾つかの特殊なアプリケーションがあります。これらの場合は、その化学形態を考慮する必要があります。元素形態中の窒素は、結晶粒界に沿って局在化され、鉄鋼の延性に多大な影響を及ぼします。他の元素と結合している窒素の濃度は、通常重要とは見做されません。

Oxygen [O] 酸素: 酸素は、鉄鋼を脆くするうえにエージング脆性を引き起こすので、鉄鋼の寄生虫と呼ばれています。

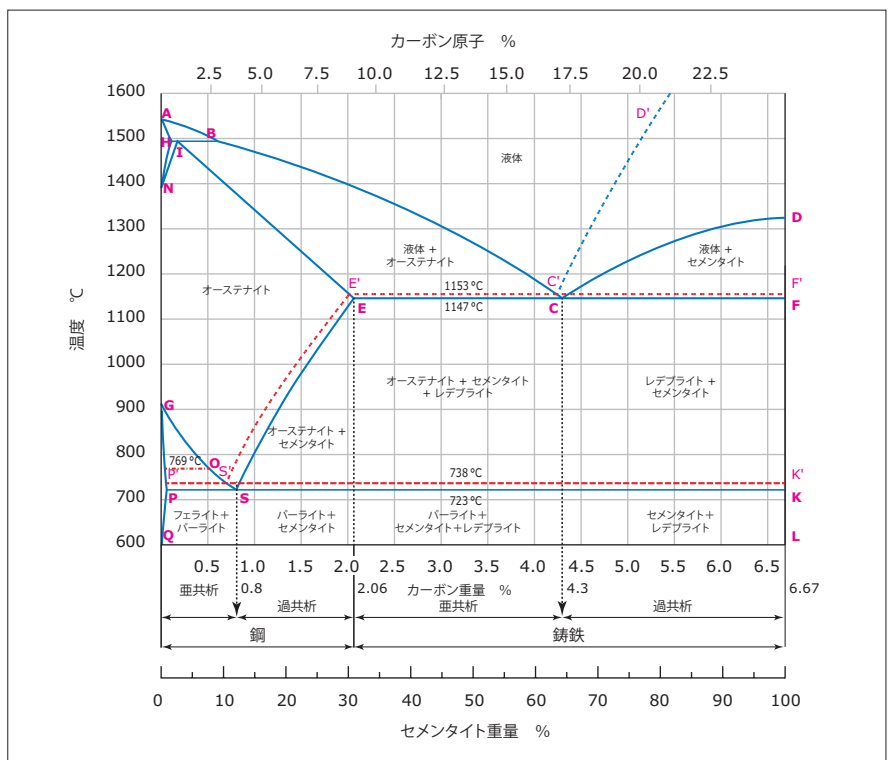


図1：鉄 - 炭素相図

Hydrogen [H] 水素: 鉄鋼中の水素は、機械的な安定性を低下させます。水素脆化は、技術的にも経済的にも損害を引き起こすと考えられており、広く危険視されています。それは陽子が金属マトリックスに付着して鉄鋼中に亀裂を引き起こす可能性を意味します。

燃焼分析

元素の濃度と不純物を測定する方法はさまざまですが、その多くはサンプルの破壊を必要とします。これはサンプルに含有している成分が、確実に放出されるためです。

燃焼分析には多くの利点があります。サンプルは前処理なしで、固体形状にて直接測定することができます（一部アプリケーション除く）。付加的加工プロセスに使用される金属粉末末に必要な平均粒子サイズは、5 μm ~150 μm です。これは動的画像解析のような粒径分析により測定されます。例えば粉末の粒子が適切なサイズ分布を有している場合、燃焼分析によって元素濃度を測定することができます。

酸素 / 窒素 / 水素分析

ELTRAのELEMENTRAC ONH-p分析装置では、サンプルは黒鉛のつばに投入後、規定された高温中で熔融されます。その結果、酸素、窒素および水素が放出されます。酸素は高熱の黒鉛のつばの表面で炭素と結合し、COに変換されます。不活性キャリアガスは、黒鉛のつばから発生するガスを除去します。

触媒として使用されている酸化銅は、燃焼後に発生したCOを赤外線セルで検出できるCO₂に変換します（図2）。特定の波長の赤外線を用いて二酸化炭素分子を励起する。運動エネルギーに変換されたエネルギーの損失は、サンプルの正確な酸素濃度を決定するために使用されます。窒素と水素の含有量は熱伝導率セルで測定されます（図3）。

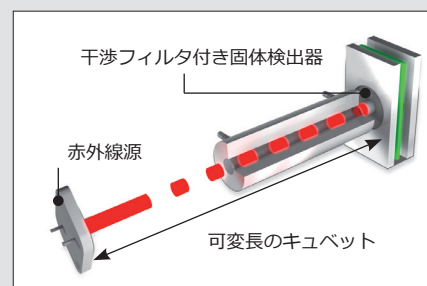


図2：赤外線セル

加熱されたチャンバー
60°C

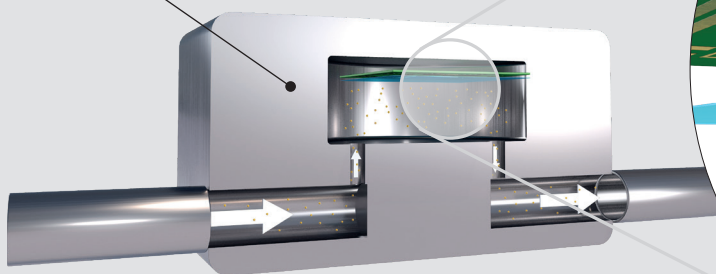


図3：熱伝導率セル

ELEMENTRACシリーズの熱伝導率セルは、メンブレンに結合されたマイクロメカニカルシリコンチップに基づいており、リファレンスガスの流れとは独立して作動します。例えばサンプルから放出された窒素により、ガスの熱伝導率が変化した場合、メンブレンを加熱するのに必要な加熱容量も変化します。これは測定信号によって示されます。

この測定方法は堅牢で敏感かつ、広い濃度範囲にわたって安定した測定結果を保証します。

ELTRA 91205-1003#1116B ¹		
重量 [mg]	酸素 [ppm]	窒素 [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
平均値	890.3	99.1
偏差 / 相対偏差	16.7 / 1.9 %	3.7 / 3.8 %

¹ 認証値 : O: 890 ppm ± 50 ppm; N: 99 ppm ± 10 ppm

表 1 は、チタン試料の酸素と窒素の同時分析の典型的な結果です。



炭素 / 硫黄分析

ELEMENTRAC CS-i分析装置の高周波誘導炉では、高純度の酸素雰囲気中でサンプルを溶融させ、硫黄は二酸化硫黄 (SO₂) へ、炭素は一酸化炭素 (CO) および二酸化炭素 (CO₂) に反応させます。

燃焼ガスは、ダストフィルタおよび水分トラップを通過し、清浄化されます。次のステップでは、二酸化硫黄が赤外線セルで検出されます。ELTRAのCS-i赤外線セルでは、お客様の要求に応じて異なる感度 (高/低) の検出器を選択することができます。一酸化炭素から

二酸化炭素への酸化および二酸化硫黄から三酸化硫黄への酸化は、硫黄測定の後に行われます。SO₃ガスはセルロースウールで除去される。その後、カスタマイズできる赤外線セルによって炭素が検出されます。ELTRA分析装置には、最大4つの独立した赤外線セルを備えることができます。

結論

炭素、硫黄、水素、酸素、および窒素のような非金属元素は、金属材料の物理的特性に影響を与えます。これらの元素は、添加物の製造に使用される粉末原料中に存在する可能性があり、製造工程中に添加される可能性があります。したがって、常に原材料と最終製品の分析を行い、品質管理を徹底するべきです。燃焼分析は数ppmから%の範囲で元素濃度を再現性よく測定するための、便利で信頼性の高いソリューションを提供します。

ELTRA – 元素分析

ELTRA社は、迅速かつ正確で柔軟な固体サンプルのためのCHNOS燃焼分析装置の代表的なメーカーの1つです。私たちの分析装置は、多様なサンプル材料および測定範囲に対して信頼性の高い分析を提供します。

元素分析装置

- 炭素・水素・硫黄分析装置
- 酸素・窒素・水素分析装置

- 熱重量分析装置
- 灰溶解性およびバイオマス試験
- 標準試料および消耗品



詳しくは www.eltra.jp



エルトラ AM (積層造形技術) の ソリューション



ELEMENTRAC ONH-p

- 不活性ガス融解技術による酸素・窒素同時測定、酸素・水素同時測定
- 高感度ONH測定のための密閉されたガス管理とガス循環の最適化
- キャリアガスとして低コストのアルゴンの使用可



ELEMENTRAC CS-i

- サンプルの前処理を最小限に抑えながら炭素と硫黄の同時測定
- 2,000°C以上の温度の誘導炉
- 各IRセルの自由に選択可能な構成

www.eltra.jp

AR 875 (LOT 1216F) ¹		
重量 [mg]	炭素 [%]	硫黄 [%]
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
平均値	0.7993	0.0125
偏差 / 相対偏差	0.0026 / 0.32 %	0.0002 / 1.20 %

¹ 認証値 : C: 0.799 % ±0.017, S: 0.0125 % ±0.0034

表2は、鉄鋼サンプルの典型的な結果です。

粉末射出成形 MIM成形部品の熱処理

カーボライト・ゲロは、金属やセラミック部品の粉末射出成形および積層造形部品の乾燥などの各工程に適した炉を提供しています。例えば、脱脂後の応力除去、保護ガス、水素ガス雰囲気、または真空下での焼結などに使われます。

金属を含むアディティブマニュファクチャリング (AM) は、直接工程と間接工程に分けられます。カーボライト・ゲロは3D積層造形 (3Dプリンタ) および粉末射出成形 (PIM) プロセスに対応できる炉を販売しています。直接工程にはGPCMA、間接工程にはHTKが適しています。これらはカーボライト・ゲロが製造する電気炉の中のほんの一部で、他にも様々な用途に対応する炉があります。

直接AMプロセスにおける応力除去

直接法では、出発粉末は選択的に熔融され、そして何層にも互いに重なり合い凝固し、複雑な三次元部品が作られます。

レーザーを用いて金属粉末を熔融する場合 (選択レーザー熔融SLM - 標準名称: レーザーパウダーベッドフュージョン-L-PBF)、製造された部品の熱処理は必須となります。

SLMプロセスは、3D CADデータから直接デジタル方式で行われます。CADデータの各スライスに対して、細かい均一な薄層金属粉末末 (チタン合金Ti6Al4V、コバルトクロム、ステンレス鋼、ニッケル合金インコネル625およびインコネル718およびアルミニウム合金 (AlSi10Mg)) がビルドプレート上に堆積され、粉末の選択した部分がレーザーによって熔融されます。このプロセスは部品が完成するまで層ごとに繰り返されます。

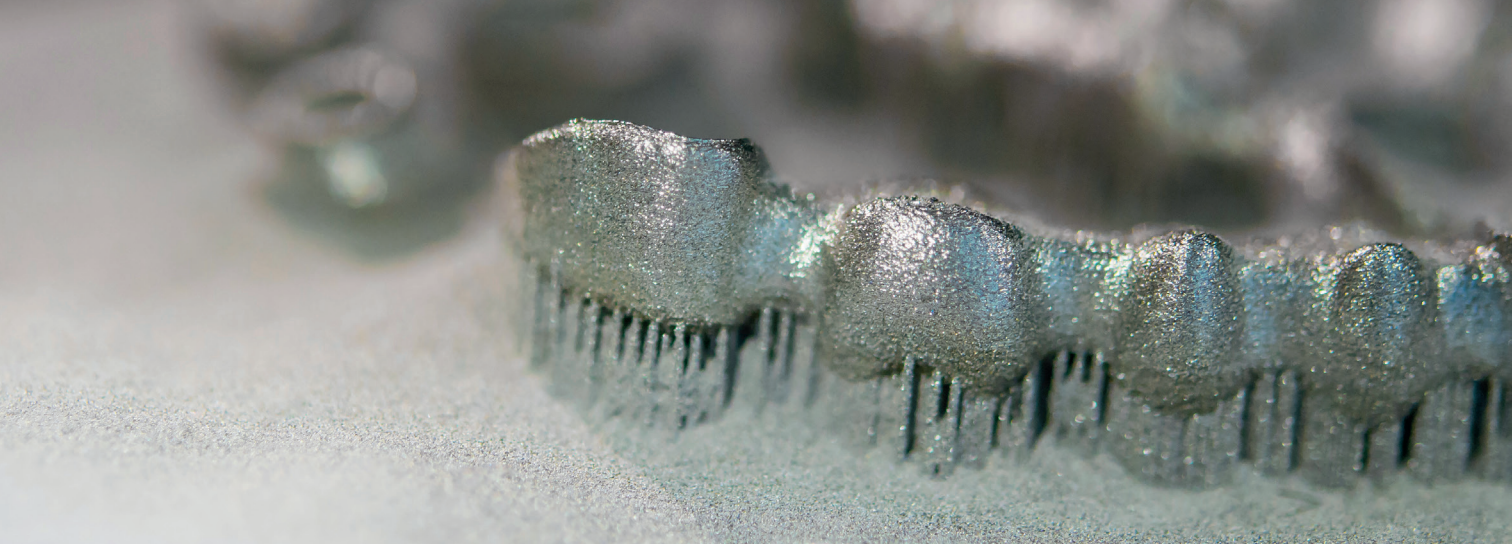
SLMは非常に小さな部品や構造に使用できます。通常では不可能であろう幾何学形状、例えば密閉空間を再現することも出来ます。層は20ミクロンまで薄くすることができます。誤差範囲は±50ミクロンと極めて高精度です。

現在、SLMプロセスを使用した部品の製造速度は比較的遅く、原料の金属粉末末も高価です。ボールミル/グラインダーを使用して製造し、その後ふるいにかけなければならず、作製前にテストも行わなければならないため、現在のSLM機械には多額の投資が必要です。

しかしながら、必要な部品の寸法が250 mm x 250 mm x 350 mm以内で、ラピッドプロトタイピングが必要な場合、少量の複雑な部品、または処理工程の後、機械的な穴あけ、溝付け、フライス加工、リーマ加工、粉体塗装、塗装、研磨または陽極酸化処理される部品の製造に最適です。



図1：GPCMA雰囲気炉
SLMによって製造された部品の応力除去に使用できます。酸素濃度を <math>< 30 \text{ ppm}</math>に維持し、最高1200°Cの処理が可能です。



直接積層造形法 (SLM法) を使用して製造された部品は、局所的な高エネルギーの集中投入と溶融プール下の大きな温度勾配のために残留応力を伴います。

残留応力の低減には、その後の正確な温度均一性を伴う熱処理を必要とします。この目的のため、部品は指定された期間、一定の温度に保たれます。この熱処理工程は残留応力を効果的に除去することにより、選択した金属合金の機械的パラメータを達成するために性格に制御する必要があります。

さらに、酸素分子などにより最終的な焼結部品が汚染され、化学的および物理的な特性が変化しないよう、熱処理は不活性雰囲気中で行われます。

GPCMA (General Purpose Chamber Modified QATMosphere) は、積層造形部品の応力除去に最適です。日々の運用コストを最小限に抑えることが可能で、不要な酸化を防ぎ、最高クラスの温度均一性を保証します。

小さなサンプルでもチャンバー容量を最大限活用するため、ビルドプレート1枚から4枚に対応するチャンバーサイズがあります (**GPCMA / 37**、**GPCMA / 56**、**GPCMA / 117**、**GPCMA / 174**、**GPCMA / 208**、**GPCMA / 245**)。これらはインコネルまたはハインス230製レトルトを搭載して使用した場合、航空宇宙用AMS2750E Nadcapクラス1に準拠することが出来ます。

熱処理は不活性雰囲気下 (通常窒素、チタン用にはアルゴン) で行われます。酸素濃度は用途に応じて30ppmまで低減させることが出来ます。

GPCMAは下からだけでなく、温度の均一性を改善するために上面と側面からも加熱する構造であり、さらにレトルトの内側にも熱電対が配置されています。レトルト内にカスケードコントロールを配置すると、加熱時間を短縮でき、オプションの強制冷却と組み合わせると、サイクルタイムを大幅に短縮できます。

サイクルタイムをさらに短縮するには、GPCMA / 174がおすすめです。水冷されたシリコンゴム製のドアシールが気密性を確保し、熱処理プロセス全体を通してチャンバー内の雰囲気を維持します。また、温度インターロック付きのダブルピボットドアにより、積み込み/積み降ろし作業を安全かつ迅速に進めることができます。

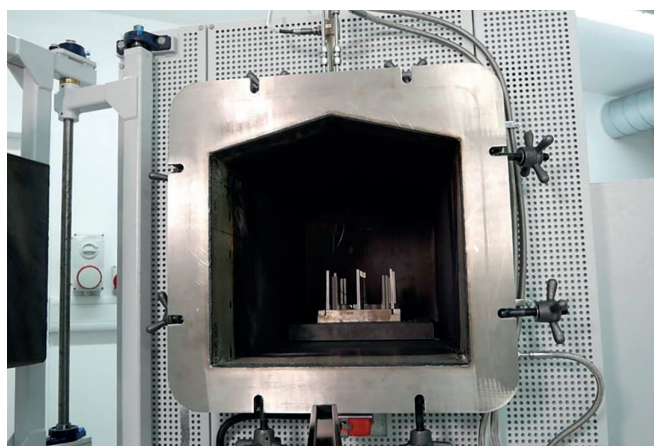


図2 : GPCMA / 174のレトルト内部 : AM造形物の応力除去



図3： HTK金属チャンバー炉
射出成形品の脱脂やAM部品の焼結（1450℃まで）

PIMおよび間接AMプロセスにおけるバックボーン脱脂および焼結

間接積層造形プロセス、粉末射出成形プロセスは金属やセラミックに適しており、材料粉末はバインダと混合されます。成形後のグリーンパーツに存在しているバインダは、加熱法、触媒法または抽出法により脱脂されます。この時部品の収縮が起こります。得られたブラウンパーツは焼結過程を経て最終的な性質、形状になります。

まず、バインダが熱処理等により除去されます。この段階では粉体がバックボーンバインダのみで支持されており、非常にもろい状態です。次の工程でバックボーンバインダを熱的に除去し、最後に部品を同じ炉中で焼結します。

脱脂工程は焼結部品の材料特性を特別に適合させるため、ガス状廃棄物の除去、および正確な温度分布が必要です。

脱脂は真空または不活性ガス下で行うことができます。不活性ガス雰囲気は、バインダの蒸発ガスを一掃するためにガスの流れを改善し、脱脂時間を短縮するキャリアガスとしてよく使用されます。

焼結工程は特定の雰囲気が必要とします。ほとんどの金属や非酸化

物セラミックスの場合、それらの酸化を防ぐために焼結工程は不活性ガス（ArまたはN₂）下で行われます。または還元性ガス（ステンレス鋼の場合はH₂）が使用されます。高純度チタンの焼結などには高真空雰囲気が選択されます。

アルミナ、ジルコニアおよび窒化アルミニウムのような酸化物または窒化物系セラミックは空気中で焼結することができます。

HK TはAM成形部品（3Dプリンタ）や射出成形部品の脱脂、焼結に最適です。高い温度均一性が、チャンバー全体での精密な脱脂および焼結を可能にします。不活性または反応性ガス、高真空、さらには超高真空下での作業が出来るため、非常に敏感な材料の焼結も可能です。

バインダのほとんどが取り除かれ、バックボーンバインダのみとなった非常に重い部品を、簡単に積み降ろしするために長方形の扉を採用しています。HTKには8リットル、25リットル、80リットル、200リットルの4つのサイズがあります。

タングステン製 (HTK W) やモリブデン製 (HTK MO) の金属炉は、最高純度の不活性雰囲気と、高真空領域 (5×10^{-6} hPa) の利用を可能にします。更には、超高真空仕様で構成することもできます。一般的に使用されるガスは窒素、アルゴン (チタン用)、水素 (ステンレス鋼用) またはそれらの混合物です。

発熱体は断熱材は同じ金属材料で作られています。断熱材は炉の種類によってタングステンまたはモリブデンから作られたいくつかの放射熱シールドから構成されます。レトリートをを使用することでガスフローを制御し、また温度均一性が向上します。HTKWの最高温度は2200°C、HTK MOは1600°Cです。

脱脂中に発生するガス状廃棄物は加熱されたガス排出口を通りアフターバーナで燃焼されます。カーボライト・ゲロは、切り替え可能なガスフローにより、高感度材料のコンタミネーションフリー焼結を実現します。図4をご覧ください。

脱脂中には、ガスは右の入口からレトリートの外側を通して流れます。レトリートは完全に密閉されておらず、外部の圧力はレトリートの内部よりもわずかに高いため、ガスはレトリートに流れ込みます。レトリートを通して流れることにより、キャリアガスはそれと共にガス状バインダをレトリート底部のガス出口に送り込み、ガスは次に加熱された排出口を通してアフターバーナに送られます。

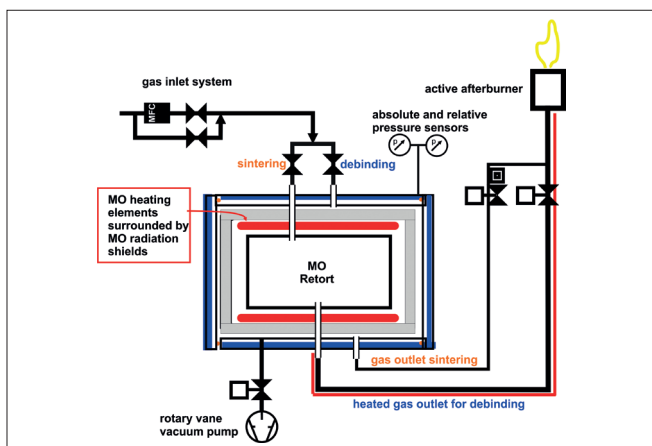


図4：脱脂、焼結中のレトリート内部のガスフロー

脱脂工程の後はガスの流れを変更し、最も純粋な雰囲気ガスをレトリート内に提供します。ガスは左上の入口から直接レトリート内部に入り、そこからレトリートの外側に流れ、そこで右下のガス出口を通してアフターバーナに入ります。ガス状のバインダ成分がないため、出口を加熱する必要はありません。

この変更されたガスフローによりバインダの残留物がサンプルに戻ることが防がれ、クリーンなサンプルを作製することが出来ます。

チャンバー中には発熱体が底面、左側面、右側面、および上面に配置され、温度均一性の向上を可能にします。より大きな容積のものには、後部と前部にも発熱体を備えています。HTK炉は水冷容器に囲まれています。したがって、HTKシステムはコールドウォールファーンエスに分類されます。冷却水は二重壁容器の間を流れていきます。

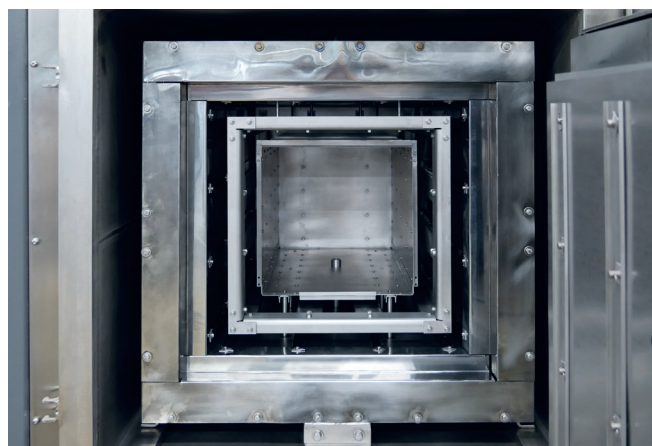


図5：HTKのMoレトリートによる最高純度の雰囲気と真空レベル

カーボライト・ゲロ - 電気炉・オーブン

カーボライト・ゲロは30°Cから3000°Cの高温炉とオーブンの大手メーカーです。真空と特殊雰囲気技術にフォーカスし、熱工学における80年以上の経験から、当社の製品は、世界中の研究所、パイロットプラント、製造現場で使用されています。

- オープン
- チャンバー炉
- チューブ炉
- 真空炉
- 特殊用途
- 特注品



詳しくは www.carbolite-gero.jp

結論

カーボライト・ゲロは積層造形部品の応力除去用製品としてGPCMAを提供しています。

お客様の日々の運用コストを最小限に抑え、不要な酸化を防ぎ、最高クラスの温度均一性を保証します。最も重要なことは、生産サイクルタイムが最小限に抑えられることです。チャンバの全ての面が加熱されること、オプションの強制冷却、ユニークな水冷式シリコンシールダブルピボットドアによる簡単なロード、アンロードがこれを実現します。

カーボライト・ゲロのHTKは、粉末射出成形部品や積層造形部品のバックボーン脱脂および焼結に最適です。

高い温度均一性は、チャンバ内全域にわたって精密な脱脂および焼結を可能にします。

最高純度の不活性雰囲気、高真空領域の真空レベル、さらには超高真空の可能性は、チタンなどの非常に敏感な材料の焼結を可能にします。

カーボライト・ゲロは要求に応じて、AM製造部品の熱処理プロセスを検証するためのサンプルテストを行っております。

モデル	寸法：内部レトロットH×W×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

電気炉、チャンバー炉、灰化炉、管状炉、ロータリーキルン 幅広い温度等のカーボライトゲロ

カーボライト・ゲロは、30℃から3000℃までの幅広い温度帯の電気炉とオープンを備える二つの世界的リーディングカンパニーが融合した新しいブランドです。カーボライト社は、米国マッシュピスター 株式会社で創業以来75年以上熟練技術を用いた高品質かつ幅広い種類の電気炉・管状炉・真空炉を製造・販売しております。ゲロ社は、ドイツ・ライプツィヒにある世界最大規模の真空・ガス炉製造環境や特殊用途の熱処理を目的とした電気炉製造を世界中に提供しています。

ニュースレター 購読
アプリケーション、顧客支援、製品に関する最新情報などを配信してまいります。
購読

オープン チャンバー炉 チョーブ炉

カーボライト・ゲロ

カーボライト・ゲロ AM (積層造形技術) PIM (粉末射出成形技術) の ソリューション



GPCMA 雰囲気制御炉

- N₂、Ar 雰囲気下でのストレス除去
- 30ppm以下の酸素レベル
- 正確な温度均一性



HTK 金属チャンバ炉

粉末射出成形および積層造形用

- H₂、Ar、N₂ 雰囲気下での脱脂と焼結
- 敏感な材料を処理するための、切り替え可能なガスフロー
- 全自動制御システム

www.carbolite-gero.jp

金属粉末末のふるい分けと 中間体の粉砕

原料の再利用はMIM法において重要なプロセスです。レッチェのふるい振とう機は金属粉末末の粒度管理、リサイクルに、粉砕機はMIM（金属粉末末射出成形）で作成された不良品の中間体の再利用のために粉砕にお使い頂けます。

金属積層造形3Dプリンターで使用する金属粉末の品質管理（分級）

3Dプリンターによる造形において、原料となる金属粉末の品質管理は非常に重要となります。使用前に凝集してしまった金属粉末の分級や、造形後に残った金属粉末の分級にはレッチェの電磁式ふるい振とう機が使用されています。

金属造形による3Dプリンターのメーカーの多くは、卓上サイズで場所をとらないレッチェの電磁式ふるい振とう機AS200シリーズをこの目的に用いています。

AS200は目的やご予算に応じて3機種（ベーシック、デジット、コントロール）より選択できます。分画数（ふるいの数）は1枚から17枚まで目的に応じて積み重ねることが可能です。

分級時間は全モデルともにデジタル設定ができます。振幅は可変式なので、金、タングステン、又は貴金属など質量が異なる金属粉末の分級も可能です。

レッチェの試験ふるいは、国際規格ISO3310-1（JIS8801も準拠）、又はASTM E11に対応しています。金属粉末の分級（回収）では目開きが32μm～150μmの試験ふるいが多く使われています。具体的には、32μm、40μm、50μm、63μm、100μm、150μmです。

ふるい枠はコンタミを防ぐために接合面のないワンピース構造となっております。材質は耐食性に優れたステンレス鋼を採用し、抵抗溶接により長期間の使用でもタワミのない

メッシュ（網）となっております。また、光学式検査を全数実施し、製造番号が付けられているので、使用されたメッシュまでさかのぼってのトレーサビリティができます。

レッチェ - 粉砕とふるい分け

レッチェは1915年、F. Kurt Retschがドイツのデュッセルドルフで創業しました。その数年後に、世界中で「レッチェミル」の名前で親しまれるモルターグラインダ（自動乳鉢）で最初の特許を取得します。この発明は、乳棒と乳鉢を使って試料をすり砕くという骨の折れる手作業にとって代わり、研究室コミュニティの間でレッチェの評判が広まりました。レッチェの哲学は、お客様の御意向に沿った、最先端の技術を持つ会社であることです。製品は再現性の高い粉砕結果と粒度測定だけでなく、扱い易さも兼ね備えています。

粉砕機

- ジョークラッシャ
- ローターミル
- カuttingミル・ナイフミル
- 自動乳鉢・ディスクミル
- ボールミル

ふるい分け・粒度分布測定

- ふるい振とう機
- 試験ふるい（ISO, ASTM）



詳しくは www.retschi.jp

MIM（金属粉末射出成形）で作製されたグリーンパーツ、またはハードメタルの再利用

MIM（金属粉末射出成形）は複雑な幾何学的形状のメタルパーツを作製するために使用されている手法です。混練された金属粉末とバインダーは、造粒機にかけられコンパウンドが造られます。コンパウンドを射出成形します。この成形体はグリーンパーツと呼ばれます。次に、グリーンパーツのワックス類を取り除くために、脱脂を行います。脱脂体をブラウンパーツと呼びます。最後の仕上げに、ブラウンパーツを焼結します。それぞれの工程では、要求を満たさない特性を持った中間体が作られてしまいます。これらは、不良品なので、**粉砕し、再利用に回さなければなりません。**

レッチェのジョークラッシャーBB500XLは不良品となったグリーンパーツ、ブラウンパーツ、又はハードメタルパーツを数分で粉砕します。



アプリケーション例：

サイズが<100mmの10kgのグリーンパーツを2回に分けて5kgずつ粉砕

- ・ 設定=ギャップ幅はゼロ、又はそれに近い状態
- ・ 粉砕時間=各1分
- ・ 粉砕後=80%が<250µm



レッチェ AM（積層造形技術）のソリューション

ジョークラッシャー

BB500XL

- 対象試料：中硬質、硬質、脆質な試料
- ギャップ幅調整可能



電磁式ふるい振とう機 AS200 シリーズ

- 分級範囲：20µm~25mm
- デジタルディスプレイ

www.retsch.jp

3Dプリント技術における 材料構造解析用試料の作製

数ある3Dプリントの方法の1つが、アディティブレーザー粉末ビルドアップ溶接 (additive laser powder build-up welding) です。この技術は、レーザー溶接の助けを借りて粉末の材料をコーティングすることを特徴としています。製造の前にあらかじめ定義されているコーティング軌道をたどることによって、任意の製品の要求された形状がつくれます。レーザーのエネルギーは、溶接ビードの形成に使用される金属粉末末を溶融します。最終的な幾何学的形状は、所定の軌道の経路に基づく溶接ビードの重なりによってその三次元の輪郭が得られます。アディティブレーザー粉末ビルドアップ溶接の最適化は、高品質および高精

度の経済的なプロセスに注視されます。また、もう一つの注目点に一方では大規模でありながら、他方では100mm未満の微細構造という拡張性があります。¹

アディティブレーザー粉末ビルドアップ溶接に
は主に以下の材料が使用されます：

- 軽金属
- ニッケルスーパーアロイ
- 鉄鋼
- 金属間化合物
- 硬質材料(カーバイド)

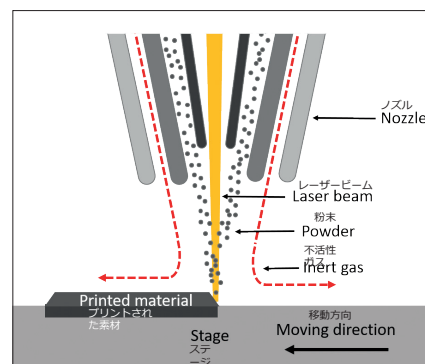


図1：アディティブレーザー粉末ビルドアップ溶接のプロセス

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



図2：切断機 ブリラント220

材料構造解析の試料作製プロセス

以下に、付加製造技術で生産された製品の材料構造解析用サンプルの私たちの作製プロセスについて示します。材料構造解析では、製品から採取されるサンプルを試料と呼んでいます。

典型的な材料構造解析の試験には、以下のステップを含みます。

- 湿式切断機などによる試料の採取
- 次工程にいくつかの利点を与える埋込み
- 微細構造を正確に現出させる研磨とポリッシング
- 試験に応じた調整
- 画像解析
- 硬さ試験

ここでは、X6Cr17(JIS:SUS430、EN: 1.4016)の鋼によるアディティブレーザー粉末ビルドアップ溶接のサンプルを試験例とします。最初のステップは、元々の製品サンプルから試験の対象となる部分の小さなサンプル(試料)を得ることです。これはQATMの精密切断機ブリラント220を使用することによって達成できます。切断には図3に示すように、CBN(Cubic Boron Nitride: 立方晶窒化ホウ素)切断砥石(厚さ: 0.65mm、直径: 153mm)を使用します。

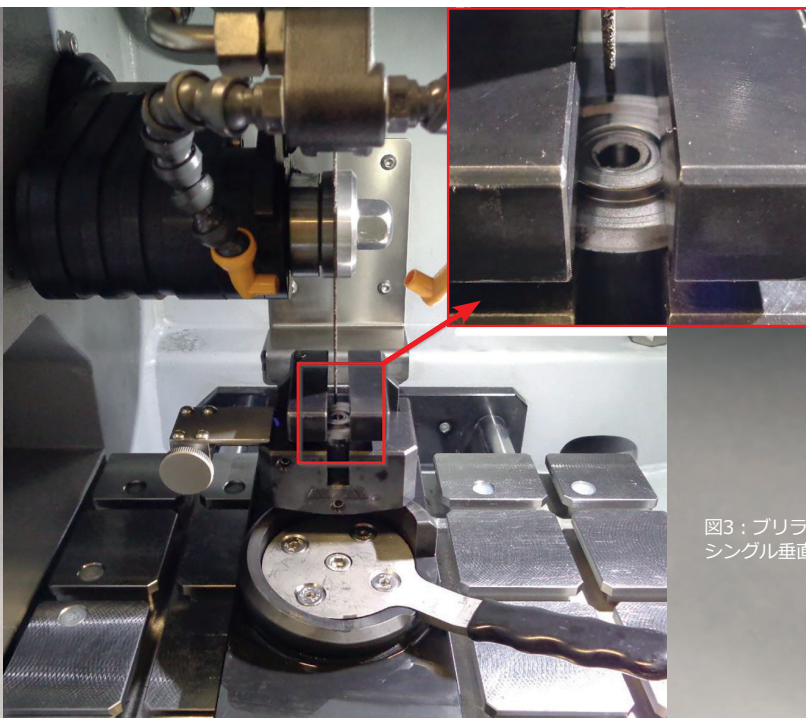


図3：ブリラント220の構成。詳細：試料のクランピング(クランピング工具：シングル垂直バイス)

切断は、送り速度1mm/s、パルス切断(0.2mm前進、0.2mm後退)で切断砥石回転速度は4500rpmで行いました。

切断後の試料はより扱い易くするために、QATMの熱間埋込プレス オパールXプレスと、エポキシ系の埋込樹脂エポブラックを使用して埋込みました。埋込みのパラメーターは、加熱温度180℃、加圧力200バールで6分間後、水冷却を6分間行いました。埋込みを行うもう一つの利点は、埋込まれた試料の $51\mu\text{m}\pm 1\mu\text{m}$ という高い平行度にあります(試料の高さを測るために用いるカリパスの許容公差に依存します)。埋込まれた試料は、QATMの自動研磨装置サファイア550/ルビー520を使用して、個別荷重方式で研磨しました。研磨工程は、研磨とポリッシングの2つのステップに分けて実施しました。研磨の最初のステップは試料面を平坦にする粗研磨で、粒度P240のシリコンカーバイド(SiC)研磨紙を使用し、切断工程の際に生じた変質層をすべて取り除きました。更に粒度P600のシリコンカーバイド研磨紙を使用して、ポリッシングステップのために試料面を滑らかにしました。ポリッシングの最初のステップでは、硬質のポリッシングクロス Galaxyベータと多結晶のダイヤモンド懸濁液 $9\mu\text{m}$ を使用して予備ポリッシング。続いて、中硬質のシルククロス(QATM:ガンマ)とダイヤモンド懸濁液 $3\mu\text{m}$ を使用してポリッシング。最後は、軟質合成繊維のポリッシングクロス(QATM:オメガ)とエポシルMを使用して最終のポリッシングをしました。詳しい作製パラメーターは表1をご参照ください。



図4：熱間埋込プレス オパールXプレス



図5：自動研磨装置サファイア550/ルビー520



表1：研磨およびポリッシングのパラメーター

ステップ	研磨基材	ループリカント/ 懸濁液	円盤回転速度 [rpm]	試料ホルダ回転方向	個別荷重 [N]	時間 [分]
研磨	SiC, P240	水	150	時計方向	30	1:00
研磨	SiC P600	水	150	時計方向	30	1:00
ポリッシング	ベータ	アルコール、ダイヤモンド 9 μm (多結晶)	150	反時計方向	35	4:30
ポリッシング	ガンマ	アルコール、ダイヤモンド 3 μm (多結晶)	150	反時計方向	35	4:00
ポリッシング	オメガ	アルコール、エポシル M	100	時計方向	30	1:30



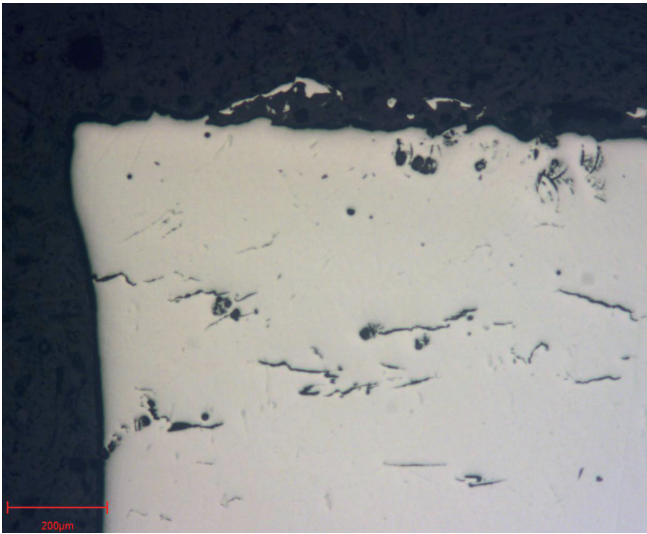


図6：調製した試料表面の画像。鏡面研磨された表面のために、光はほとんど等しく反射され、微細構造は識別できない。

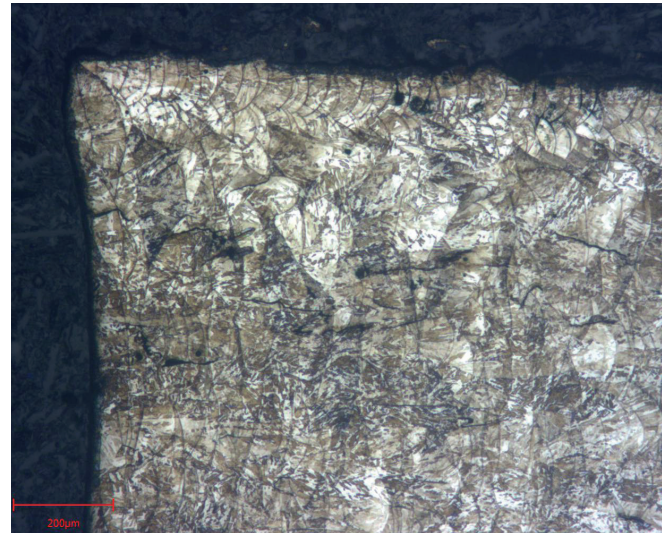


図7：「V2A Beize」(45秒間)を使用してエッチングした試料。縁辺部。微細構造は明確に識別可能である。

この試料作製方法によって、最適な観察面の試料を得ることができました。図6は、反射式光学顕微鏡(入射光線)による100倍率の画像。

光がほとんど等しく試料表面全体で反射され微細構造は見えないままです。人間の目の性質上、表面全体のコントラストが見える、最小限10%のコントラストの違いが必要です。このコントラストはエッチングによって得られます。我々の例では、試料面のコントラストを得るために、X6Cr17鋼の相の相違の観察に用いるエッチング液として、酸洗のための腐食液「V2A Beize」を選択しました。エッチングの時間は45秒間で、図7のように微細構造が非常によく認識できます。

仕上げられた全試料表面が図8で示すようによくコントラストが現出されており、試料面の中央部分においても微細構造のコントラストが現出しています。

硬さ試験のような更なる試験には、信頼できて有効な結果を得るために、平坦で滑らかな試料面が要求されます。上記の材料構造解析用試料の作製プロセスが、確実に硬さ試験の試料として理想的であることがわかります。また、QATMはマイクロ硬さ試験と光学的評価のために、QATMという強力な手段を提供できます。

図6のポリッシングされた試料面には、いくつかの亀裂が見られます。左の真っすぐなエッジはフライス加工によるものです。溶接による継ぎ目の輪郭は見えていません。より詳細な試験のためにコントラストはエッチングにより強調されました。エッチングされた試料面は図7に示されています。これによると、試料面にはより多くの亀裂があり、また、濃い色の点はエッチング液の残基のために過度にエッチングされた部位で、亀裂が内部に潜んでいることを示しています。溶接による継ぎ目は異なる相がよく見えています。層による層堆積技術では、下位層の熱処理が施されます。すなわち、熱影響ゾーン(HAZ)：

QATM - 切断・埋込・研磨

QATMは、材料構造解析(金属組織)学のための機械の開発と製造における技術的リーダーです。QATMの機器は、品質管理、損傷解析、生産管理、研究開発などの領域で効果的に利用されています。

- 湿式切断機
- 熱間埋込プレス
- 研磨機、ポリッシャー、エッチング装置
- 顕微鏡
- システム実験室
- 消耗品



詳しくは www.qatm.jp

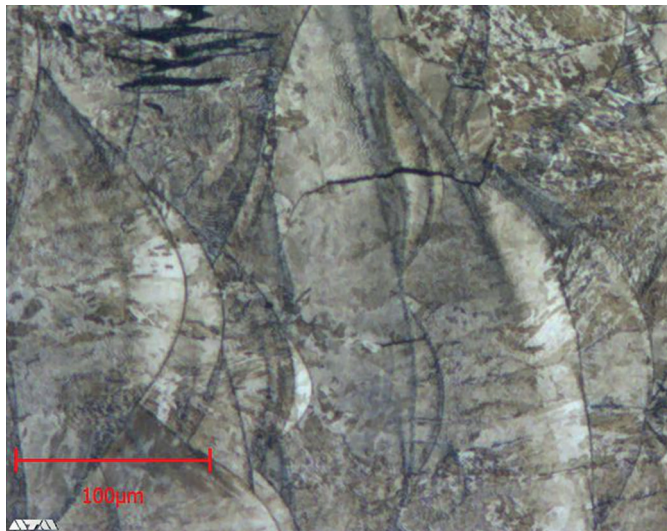


図8：コントラストが明確な試料。製造されたワークピースの溶接ベースの微細構造がはっきりと見える。

Heat Affected Zone)が形成され、微細構造の変化を引き起こし、試料の特性に影響を及ぼすのです。例えば、硬さの減少や機械ストレスが生じる結果になります。異なる硬さの層が他の硬さの層の上に堆積されることによって、機械のストレスは連続的に増加し、いわゆる二次亀裂につながるかもしれません。一次亀裂形成の理由は、堆積させている間の冷却勾配によるものです。図8は、一つの溶接ビーズの拡大写真で、この熱影響ゾーンと一致します。硬さ試験は堆積層の硬さの違いを明らかにすることができます。



エーティエム AM (積層造形技術) のソリューション



切断機 ブリラント 220

- 精密切断機
- 広々とした切断チャンバーと大きな切断テーブル
- 長い試料のための左右の開口部



熱間埋込プレス オパールXプレス

- 扱いやすい開閉システム
- 電子制御による完全自動
- 大型LCディスプレイによる簡単操作と最適化されたユーザー・インターフェース



自動研磨装置 サファイア 550

- ルビー 520を搭載した、単軸の研磨・ポリッシング装置
- 個別荷重と中央荷重
- 作業円盤と試料回転機の無段変速

MIMにおける 硬さ試験

MIMにおける硬さ試験は、従来の硬さ試験の用途とは全く異なるパラメータ及び手順が必要です。サンプルは、硬さ試験を可能にするためにサンプルは十分な準備が必要となります。粉末は加熱埋込プレスなどを使用し、樹脂に埋め込みます。その後、その材料試験片は硬さ試験を行うためきれいな表面にする研磨が必要です。

試験手順と試験方法

非鉄材料は通常、プリネルまたはビッカース試験方法で試験されます。試験方法は、試験片と2.5kg~1000kgの試験荷重を加えるアプリケーションによって異なります。粉末材料試験における必要条件是大きく異なります。:小さい粒子(<0.1mm)は非常に低い試験荷重と小さな圧痕が必要ですが、これらはビッカース試験方法でのみ可能です。アルミニウム粉末の例では、推定硬さが25~35HVであると予想されます。これは、15g(HV0.015)を超える試験荷重の結果

がビッカースDIN EN ISOとASTM規格に対応する可能性があることを意味します(規格要件:ビッカース圧痕対角線>20 μ m)。もし硬さ試験機がより低荷重で測定できるなら、より小さい粒子でも試験は可能です(しかし規格によるものではありません)。

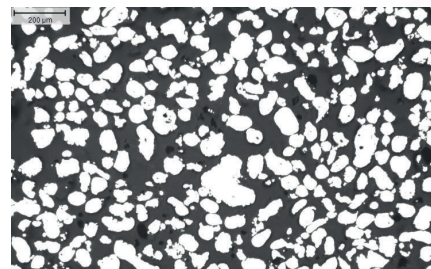


図1: 埋め込みアルミニウム粉末/ポリッシング面/4×顕微鏡レンズ/粒子サイズの半分まで研磨した粉末粒子または粗大粒子は、興味深い結果を有する硬さ試験には最も適しています。

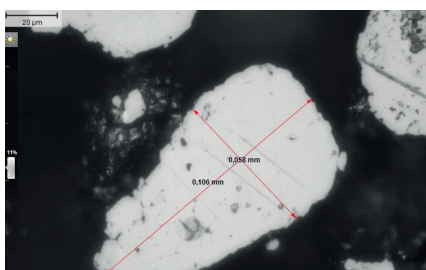


図2: 硬さ試験で測定したアルミニウム粉末の粒子サイズ(40倍率)

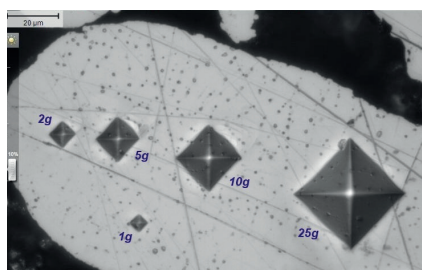


図3 ビッカース圧痕サイズの比較: HV0.001、HV0.002、HV0.005、HV0.01、HV0.025 - 試験荷重1g~25g

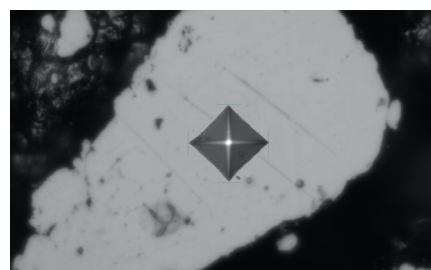


図4: 硬さ結果: 30.3 HV0.005 アルミニウム粒子の横断面の中央でテスト

QATM - 硬さ試験

QATMは、硬さ試験のための革新的なハイエンド製品の発展と製造に注力しています。幅広い汎用標準装置に加え、QATMはお客様特有のソリューションの計画と実現に特化しています。

- マイクロ硬さ試験機
- ロックウェル硬さ試験機
- ユニバーサル硬さ試験機
- クランプ治具
- カスタマイズされた硬さ試験機
- 完全自動の硬さ試験プラント



詳しくはwww.qatm.jp

QATM AM (積層造形技術) の ソリューション



MIMにおける硬さ試験機の要件

- ビッカースの低荷重
- スライドとタレットの高い動作精度
- 高コントラストと高倍率の光学測定システム
- 簡単な操作性
- 構造化された結果の管理と報告

結論

粉末材料の品質を証明するために、QATM Q10/30/60のようなパワフルなマイクロビッカース硬さ試験機が必要です。試験サンプルの量に応じて、シンプルなセミオートマチック“M”バージョン、または専門的な全自動“A”又は“A+”モデルが粉末材料用途には最適です。試験荷重と表面処理に応じて、硬さ試験機は自動明るさ調節やフォーカス調節について完全な自動画像評価を使用することも可能です。レポートツールとエクスポート機能により、試験プロトコルの作成、またはデータ管理システムへのデータエクスポートが可能です。

マイクロ硬さ試験機 Q10 M



粉末材料における有効なマニュアル硬さ試験のための
セミオートマチックQ10 M ビッカース硬さ試験機。

可能試験荷重は0.25g~10kg。

- 正確な位置決めと広い試験領域
- 6種測定タレット
- ダイナミックな高さ調整

Sign up for our newsletters!

アプリケーション、展示会出展、製品に関する最新情報などを配信しております。
ニュースレターへご登録ください。

今すぐ登録!!



www.verder-scientific.co.jp/jp/news/newsletter/

いつでも退会可能ですので、まずは登録!



各ブランドのお問い合わせ先:



粉砕機・ふるい振とう機・
周辺機器

info@verder-scientific.co.jp
www.retsch.jp



切断・埋込・研磨
硬さ試験機

info@verder-scientific.co.jp
www.qatm.jp



電気炉・オープン

carbolite@verder-scientific.co.jp
www.carbolite-gero.jp

ヴァーダー・サイエンティフィック株式会社
東京本社
〒160-0022
東京都新宿区新宿5-8-8
TEL: 03-5367-2651
FAX: 03-5367-2652
info@verder-scientific.co.jp

大阪営業所
〒559-0031
大阪市住之江区南港東8丁目2番52号
TEL: 06-6655-0003
Fax: 06-6629-8080

名古屋営業所
〒460-0003
愛知県名古屋市中区錦2-9-14
伏見スクエアビル5F
TEL: 090-9002-5421
Fax: 03-5367-2652 (東京本社)



粉粒体物性評価

info@microtrac-bel.com
www.microtrac.com

マイクロトラック・ベル株式会社
大阪営業所 (本社)
〒559-0031
大阪市住之江区南港東8丁目2番52号
Tel: 06-6655-0362
Fax: 06-4703-8901

東京営業所
〒169-0075
東京都新宿区高田馬場1丁目30番4号
30 山京ビル4階
TEL: 03-6457-6707
FAX: 03-5155-2424

名古屋営業所
〒460-0003
愛知県名古屋市中区錦2丁目9番14号
伏見スクエアビル5階
TEL: 052-228-0792
FAX: 052-228-9586



成分分析・元素分析

system@jmc.asia
www.eltra.jp

ジャパンマシナリー株式会社(エルトラ日本総代理店)
システム営業課
電話: 03-3730-6061
Fax: 03-3730-3737
E-mail: system@jmc.asia

