

粉末金属

製造・加工の工程管理



超硬合金 4 - 7

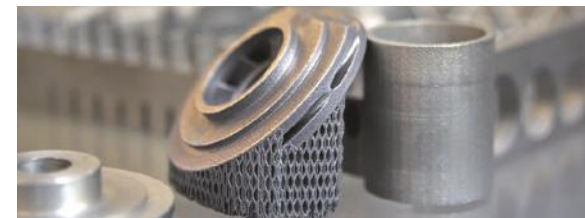
部品 8 - 11

軟磁性部品 12 - 15

3Dプリント部品 16 - 17

技術 18 - 21

システムプロバイダー 22 - 23



工程管理 - 粉末金属の製造から焼結部品まで

70年以上にわたり、FOERSTERは非破壊検査の革新的なソリューションを提供してきました。渦電流検査や磁気誘導検査のような方法は、原材料、半製品および部品の品質を可視化します。また、磁気パラメータを測定することで、材料の構造や機械的特性に関する貴重な情報を提供できます。

粉末金属からの部品製造は近年飛躍的な進歩を遂げ、従来の製造部品と同等以上の強度と耐摩耗性を実現しています。工程はツールベースで再現性が高く、資源効率に優れています。基本的な前提条件は、粉末金属の品質が一貫して高いことと、製造工程が安定していることです。

FOERSTERの検査・測定機器は工程管理に必要なパラメータを提供します。さらに部品処理の自動化と結果の完全な文書化により、非常に効率的なシステムを完成させます。



超硬合金

超硬合金



高度な要求に対して必要な高品質測定

超硬合金はその強靱性および硬度、耐腐食性および耐熱性ゆえに、多くの分野で利用されます。例えば工業用材料の切断や加工に使うドリルビットは、外科手術室や歯科医院でも見られます。

硬質金属の製造業界では、材料の微細構造分析に磁気パラメータが使用されます。バッチサンプルの保磁力を測定することで、炭化物の粒径を迅速かつ非破壊的に測定できます。これにより材料の耐摩耗性や硬度が推測できます。

このため、保磁力を正確に測定できることが、粉末冶金における品質管理の必須条件の一つとなっています。

超硬合金の製造では、バインダー（結合材）相の幾何学的配置が、再現性のある粒径に確実に最適化されていることが重要です。超硬合金の構造を評価するための簡単で迅速かつ非破壊的な手段は、磁気飽和度の測定です。

これらのパラメータは、FOERSTERの測定装置 KOERZIMAT HCJとKOERZIMAT MSを使って容易に測定することができます。



炭化物の亀裂検査

粉末金属をブランク（素材）にプレス加工すると、亀裂の発生や微細構造の変化が起こり、焼結時に部品が大きく割れることがあります。しかしドリルビット、フライス盤、旋盤などの高性能工具には非常に高い品質が要求されます。

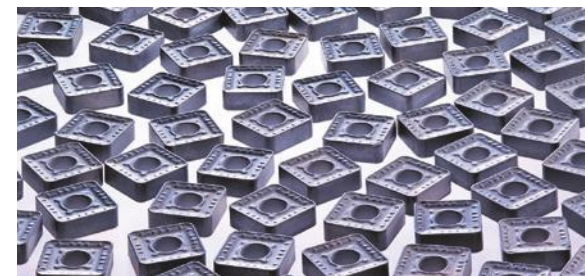
このためFOERSTERはSTATOGRAPHとMAGNATEST検査装置を提供しています。焼結工程の前にこれらの検査装置を使い、ブランクの亀裂と微細構造の欠陥を渦電流で検査します。焼結工程中の体積の減少は部品の亀裂発生につながる可能性があります、そうした欠陥は渦電流により検出し、選別できます。

- (1) MAGNATEST® D
- (2) STATOGRAPH® CM+
- (3) KOERZIMAT® 1.097 MS



粉末検査/原材料検査

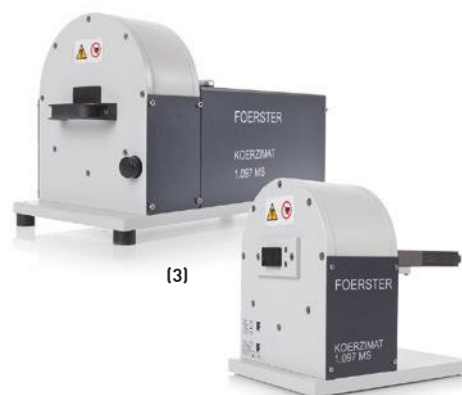
非磁性炭化物と磁性バインダー（結合材）からなる粉末混合物の調製中も、原材料の特性評価には磁気飽和度（MS）の測定が重要なパラメータとなります。磁気飽和度の測定にはKOERZIMAT MSを使用します。



炭素バランスの測定

切削工具は高負荷に耐えられなければなりません。焼結後の炭素バランス評価は、それを確認する重要な品質パラメータとなります。焼結工程で浸炭が不十分だと「イータ」相が発生して工具が脆くなり、破損につながる恐れがあります。過剰浸炭の場合は、炭素が析出して強度や耐磨耗性が不十分となり、やはり工具が破損することがあります。

このためKOERZIMAT MS測定システムは、実際の磁気飽和度(MS)と公称値を比較することで炭素バランスを監視します。





焼結工程中の監視

材料メーカーは、しばしば炭化物を粒径によって分類します。このパラメータは硬度の指標となるだけでなく、曲げ強さと圧縮強度の指標ともなります。焼結工程の監視では、焼結前後の粒径比較も行います。粒径と保磁力(HcJ)には相関関係があります。バインダー(結合材)相の分岐の細度、つまり保磁力は、炭化物相の粒径がより細かく、結合金属の含有量がより少ないと高くなります。残りの結合金属の量は磁気飽和度(MS)により評価できます。

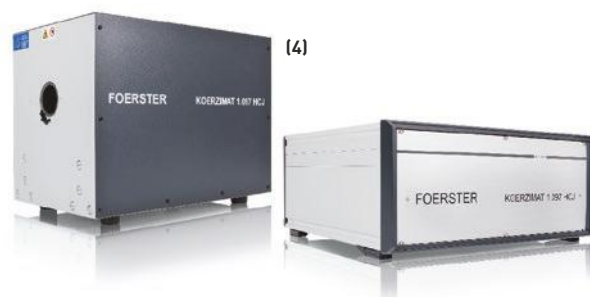
KOERZIMAT測定システムを使用すると、保磁力と磁気飽和度を形状に関係なく迅速かつ正確に測定することができ、焼結工程を最適化できます。



密度測定/状態監視

特に脆い材料には、材料密度を低下させる細孔などの欠陥が完全に無いことが求められます。したがって材料が、少なくとも理論的に達成可能な密度まで焼結されているかどうかを知ることが重要です。そのために保磁力HcJを調べます。このパラメータは、焼結の温度と持続時間に依存して最大値に近づきます。保磁力が低すぎると密度も公称値より低くなり、密度焼結が不完全なことを示します。品質保証のため、KOERZIMAT HcJ測定システムはバッチサンプルの保磁力を測定し、監視することができます。

[4] KOERZIMAT® 1.097 HcJ



[4]

部品

部品



高付加価値部品の焼結工程の品質監視

複雑な部品は焼結によって製造されることが増えており、大量生産では、焼結が従来の金属鑄造に代わる経済的な代替手段の役割を果たしています。高品質の粉末金属、細部まで正確な金型、精密に制御された焼結工程は、完璧な品質の、機械的に堅牢な部品を製造するための必須条件です。こうして製造された部品は、自動車分野をはじめとする多くの産業用途で使用されています。

FOERSTERの検査・測定装置は、原材料である粉末金属の品質を検証し、グリーン・コンパクト（圧粉体）のプレス成形と焼結工程を監視するのに役立ちます。

検査対象の部品には以下が含まれます。

- ファスナー
- ハウジング部品
- トランスミッション部品
- 駆動装置
- アクチュエータ



FE焼結部品

コスト面の理由から、複雑な形状の部品は焼結により製造されることが多くあります。これにはハウジングやファスナーなど軟磁性の部品、駆動装置やモーターなど機械的ストレスを受ける部品が含まれます。

FE (鉄) 粉末の原材料品質および焼結前後の粒のサイズと均一な分布は、製造される部品の強度や耐摩耗性などの機械的特性を決定する要因となります。

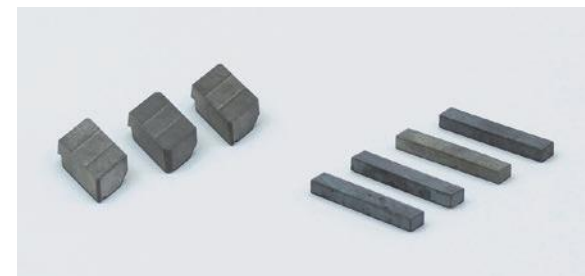
これらのパラメータは保磁力の測定値と相関があります。KOERZIMATは、粉体品質の評価から焼結工程の評価まで、製造工程全体の監視に使用できます。



グリーンコンパクト(圧粉体)

等方加圧による事前加工段階で、すでに空隙のない優れた材料密度を達成することは可能です。KOERZIMAT測定システムは、製造の初期段階でも粒のサイズと分布、密度の情報を得ることができます。

これらの情報は製造工程の管理に必要不可欠なパラメータです。



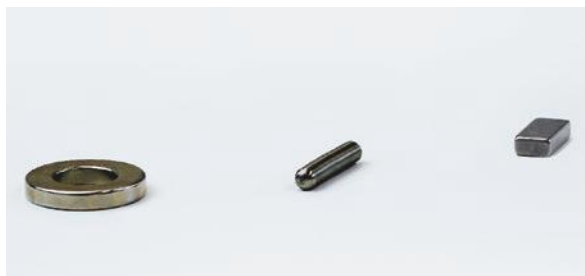
MIM (金属射出成形) 部品

金属射出成形は、射出成形後に焼結して高品質の金属部品を製造する、費用対効果の高い代替手段です。この方法では、原材料粉末と、焼結による結合の両方の品質を評価するために保磁力を使用できます。

[1] KOERZIMAT® 1.097 MS

[2] KOERZIMAT® 1.097 HCJ





アルニコ (AlNiCo) 磁石

アルニコ磁石の製造工程では、適切な粉末金属のプレス加工と焼結が必要です。原材料粉末金属の品質と焼結時の構造（磁化可能なコバルトフェライト介在物を含む非磁性金属グリッドから成る）を、KOERZIMATを使用して評価できます。ここでも保磁力と磁気飽和との相関を評価に用います。



硬貨ブランク（素材）の検査

硬貨は、耐用期間中に多くの人の手を経て多くのことに耐えなければなりません。そのためブランク（素材）が正しく焼結されていることが重要です。焼結品質を監視するための重要なパラメータは、材料密度と表面品質です。モバイル検査装置SIGMATESTは導電率を介して間接的に密度を測定します。焼結品質が良好なら、導電率は比較的高くなります。高周波を利用して、サンプルの表面空隙率をランダムに監視することもできます。



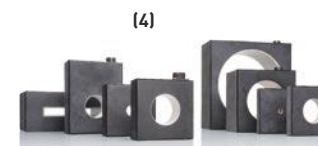
複雑な量産部品の微細構造検査

複雑な量産部品は高速で製造されます。しかし成形やキャリブレーション（校正）など焼結工程の全ステップが正しく行われたかを確認することは重要です。MAGNATEST Dを使用すると、稼働中の生産ライン上の部品を直接、全数連続検査できます。この検査では、材料に渦電流を誘導させる貫通コイルに部品を通過させます。異材混合や焼結工程の欠陥があると、結果として生じる試験電圧は基準部品と大きく異なります。これにより欠陥部品が検出され、自動的に選別されます。

- [3] SIGMATEST®
- [4] 貫通コイル
- [5] MAGNATEST® D



[3]



[4]



[5]

軟磁性部品

軟磁性部品



軟磁性部品の需要拡大

粉末金属から作られた軟磁性の部品は、様々な用途で必要とされています。最大の応用分野は自動車産業で、特に電気モーターやアクチュエータに応用され、多くのメリットがあります。

粉末金属から軟磁性部品を製造することで、従来の方法では不可能だった複雑な形状の製造が可能になります。硬質合金と異なり、軟磁性部品は外部磁場によって容易に磁化され、必要に応じて脱磁することができます。そのため、磁場を印加することで電気信号を運動に変換したり（アクチュエータ）、運動を電気信号に変換する（センサー）ことが可能です。

軟磁性複合材料（SMC）は、特に高周波用途に適しているため、モーターに使用されます。その材料構造により、渦電流と異常損失が減少し、モーターの効率を大幅に向上させることができます。KOERZIMAT HCJおよびKOERZIMAT MS測定システムを使用すれば、軟磁性部品の磁気特性を製造前、製造中、製造後のいずれでも監視できます。



原材料の認定

原材料の電磁特性は、その原材料から作られる電磁アクチュエータの性能の決め手となります。目的に適った原材料の適性を確認するため、KOERZIMATで主要な磁気特性を測定します。検査は原材料の製造時に直接、または加工前の入荷検査時に実施します。こうして材料品質を継続的に監視し、文書化することができます。



部品製造における工程監視

電磁アクチュエータ用軟磁性部品の製造において、機械的な仕上げ工程である平滑化、研削、研磨、機械加工などは、すべて機械的な材料応力の蓄積の原因となります。これらは保磁力という磁性材料特性と相関する電磁力の損失を引き起こします。

材料は、熱処理により元の状態に戻すことができます。KOERZIMAT HCJは最終焼鈍の前後に保磁力を測定して製造工程での材料特性を監視し、必要に応じて是正処置を行うことができます。

KOERZIMAT MSは重量固有の磁気分極も測定できるので、これにより材料の密度（プレス加工の品質）について評価することができます。HCJとMSどちらの測定システムも、グリーンコンパクト（圧粉体）および粉体に使用できます。

(1) KOERZIMAT® 1.097 HCJ



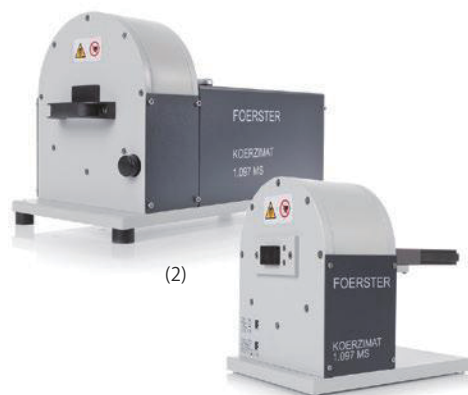


軟磁性複合材料

軟磁性複合材料 (SMC) は、エネルギー資源の最適利用のため、主に高周波用途に使用されています。KOERZIMAT HCJは、保磁力を利用して SMCの焼鈍、機械加工、塑性鑄造などの工程品質を監視します。

一方KOERZIMAT MSは、飽和磁化を測定することでSMC内の磁化可能な材料の割合を測定することができます。HCJとMSどちらのシステムも、サンプルの形状に関係なく迅速かつ正確に測定を実行します。グリーンコンパクト (圧粉体) や粉体にも使用できます。

(2) KOERZIMAT® 1.097 MS



3Dプリント部品

3Dプリント部品



複雑形状部品のための添加剤製造

自動車や航空宇宙産業などで部品形状に関する要求が増大するにつれ、粉末冶金の分野でも添加剤製造の重要性が高まっています。生産技術の1つとして、3D製法は複雑な形状の部品をプリント製造するために使用されます。3Dプリントで作られたグリーン部品（未加工部品）は、従来の製造と同様に高温で焼結されます。

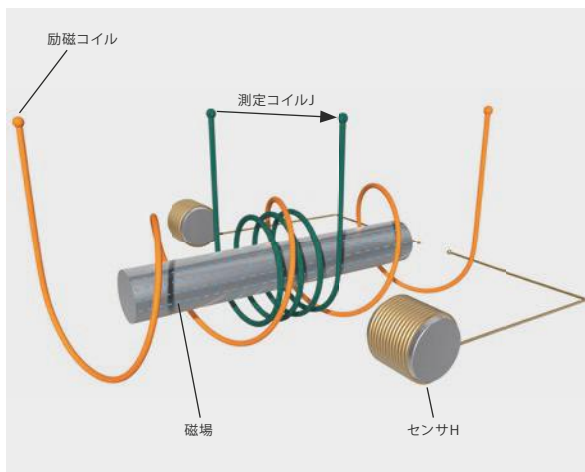
この焼結工程を監視するために、FOERSTERはKOERZIMAT HCJとKOERZIMAT MS測定システムを提供しています。両装置とも、材料品質の重要な検査指標である保磁力と磁気飽和度を、部品形状にかかわらず迅速かつ正確に測定することが可能です。

- (1) KOERZIMAT® 1.097 HCJ
- (2) KOERZIMAT® 1.097 MS



J(H)ヒステリシス

開放磁気回路方式は、工業的条件下で軟磁性材料の直流磁気総ヒステリシスを迅速に測定する方法を提供します。精密なJコイルを使用して、電磁アクチュエータ（コモンレールインジェクションなど）の原材料を、主要なパラメータについて検査します。Hセンサーは、完成した軟磁性部品と炭化物材料の保磁力HcJを正確に測定します。



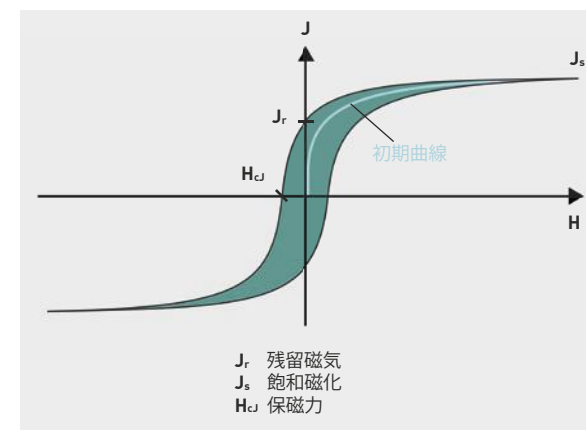
磁気特性測定の原理

J(H)総ヒステリシスは、アクチュエータの動作中に生じる部品のエネルギー損失（再磁化損失）を表します。保磁力HcJも重要な指標です。比透磁率 μ_r （初期曲線の勾配）は、磁気回路内の部品の動的挙動を評価します。比透磁率 μ_r が高いほど、電磁システム内の部品の磁化は早くなり、システムのダイナミクスを増加させます。

軟磁性部品の製造中は、機械加工、仕上げ、研削、研磨、熱処理（最終焼鈍）などの機械的工工程が上述の磁気パラメータを大きく変化させる可能性があります。これらの磁気特性の一部は部品の耐用期間中ずっと保持されなければならない、パラメータJ(H)、 μ_r およびHcJを監視する必要があります。

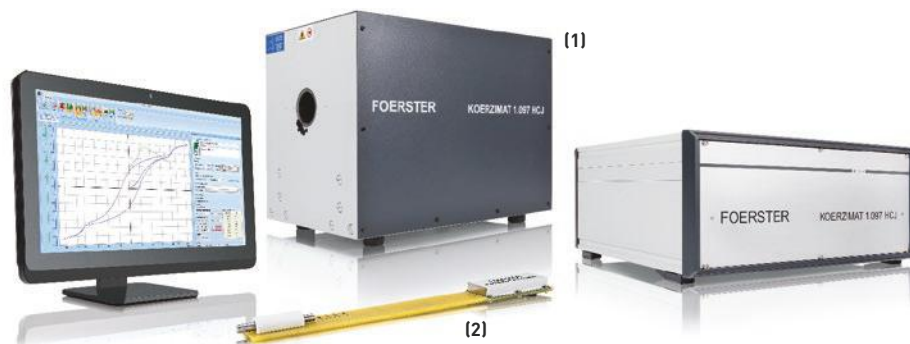
そのタスクに最適なのがKOERZIMAT測定システムです。J(H)と μ_r は標準サンプル（リング、丸棒、シートメタル細片など）でしか測定できないため、パラメータHcJは焼結部品の検査では特に重要です。これにより複雑形状部品の検査も可能になります。

炭化物産業では、保磁力HcJは、微細構造（粒径と分布の均一性、結合金属の割合）の分析や、製造工程（焼結）の監視に使用されます。



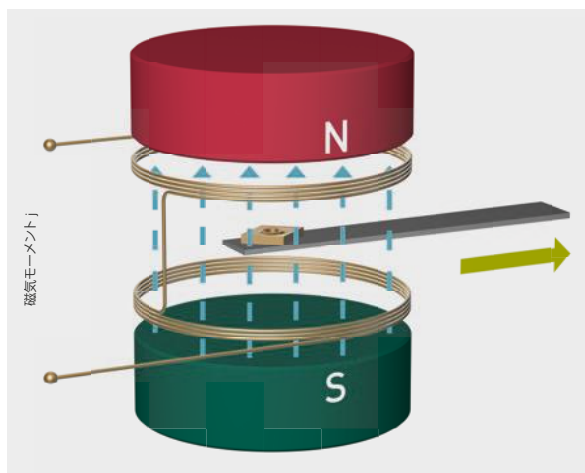
J (H) ヒステリシスの模式図

- (1) KOERZIMAT® 1.097 HCJ
- (2) Jセンサー



重量と体積に固有の飽和分極

KOERZIMAT MSシステムは、材料の磁気飽和分極や双極子モーメントを、部品形状に関係なく高速で測定する優れた装置です。



磁気飽和分極測定の原理

永久磁石の特殊な構成（ハルバッハ配列）によりサンプルが飽和状態まで磁化されるので、磁化のための電力を必要としません。サンプルが磁石から引き抜かれると、2つのコイル（ヘルムホルツコイル）と磁束計によって磁気双極子モーメントが測定されます。

粉末冶金では、重量および体積に固有の飽和分極は、材料の製造工程中に重要な指標となります。材料の重量または密度が分かっている場合、KOERZIMATソフトウェアはこれら2つの材料パラメータを自動的に計算します。測定値をコバルトやニッケルの材料定数と比較した後、KOERZIMAT MSソフトウェアは磁性結合材の含有量を評価します。



走査型電子顕微鏡で見た微細構造

[3] KOERZIMAT® 1.097 MS

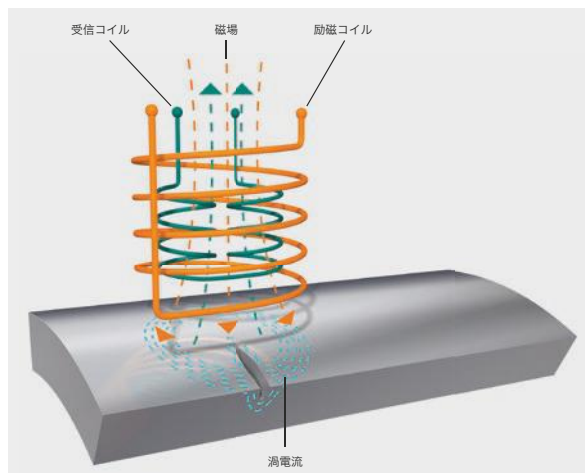


表面亀裂検査

渦電流方式による非破壊検査

製造物責任に関連するリスクは言うまでもなく、最近では品質への関心が高まり、部品の全数検査がますます必要になっています。DIN EN ISO 15549に準拠した渦電流方式は、非破壊・非接触の材料検査方法です。亀裂、過剰圧延、細孔、空隙などの表面欠陥を迅速、確実に検出し、経済的でもあります。差動測定コイルを使用して、材料に高周波の渦電流を誘導する磁場を発生させます。

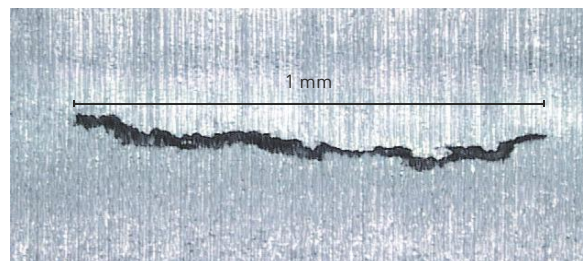
受信信号は励磁信号に対する振幅と位相シフトに対して評価され、材料の微小欠陥も検出します。



渦電流検査の原理

材料の亀裂検査

亀裂の検出には、試験片を機械的に回転させて固定プローブでスキャンするか、静止した試験片を回転プローブでスキャンします。材料に損傷がない限り、電気抵抗が均一であるため渦電流は均一に流れます。しかしどこかに亀裂があると、渦電流密度が損傷のない部分と異なります。この変化は記録され、欠陥信号として表示されます。



旋削加工表面の自然亀裂

STATOGRAPH®による検査

材料亀裂の渦電流検査には、検査タスクに適合した評価用電子機器とプローブが必要です。検査状況や対象に応じて、STATOGRAPHシリーズの装置は目的に適したシステムを提供します。

特殊な用途向けに多くの標準プローブや形状に適合したプローブが揃っています。プローブの選択は、部品の形状、サイクルタイム、欠陥の仕様によって決まります。

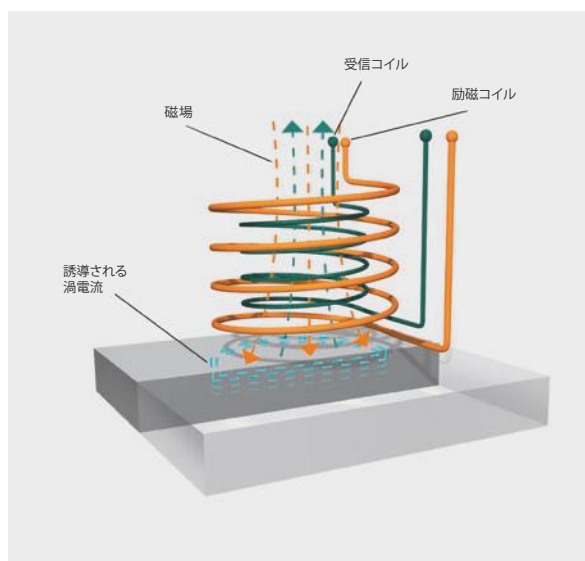


- (1) STATOGRAPH® CM
- (2) STATOGRAPH® CM+
- (3) プローブ
- (4) FLEXPROBES

材料・微細構造の検査

磁気誘導方式

磁気誘導方式は渦電流にも依存していますが、理由はその周波数範囲が広く、さまざまな検査目的に使用可能だからです。高周波数での検査は材料の亀裂を検出しますが、低周波数の磁気誘導検査では、より深部への透過が可能のため、サンプルの焼き戻しに関する情報をも得られます。



磁気誘導検査の原理

材料・微細構造の検査は、異材混合の防止や、不正確な焼き戻し部品の識別をするために利用できます。

一般的な選別基準には、合金含有量、表面硬度、硬化層深度、強度、微細構造などがあります。

材料特性の検査

材料特性の検査では、一般的にサンプルは貫通検査コイルに通され、低周波の渦電流が材料に誘起されます。センサーによって記録される試験電圧は、サンプルの磁気的および電気的特性の結果であり、電圧値は測定点としてグラフィカルに表示されます。

様々な硬化状態、合金の構成成分、あるいは微細構造の状態が受信電流に影響を与えるため、サンプルの材料特性について判定することができます。

MAGNATEST®シリーズ

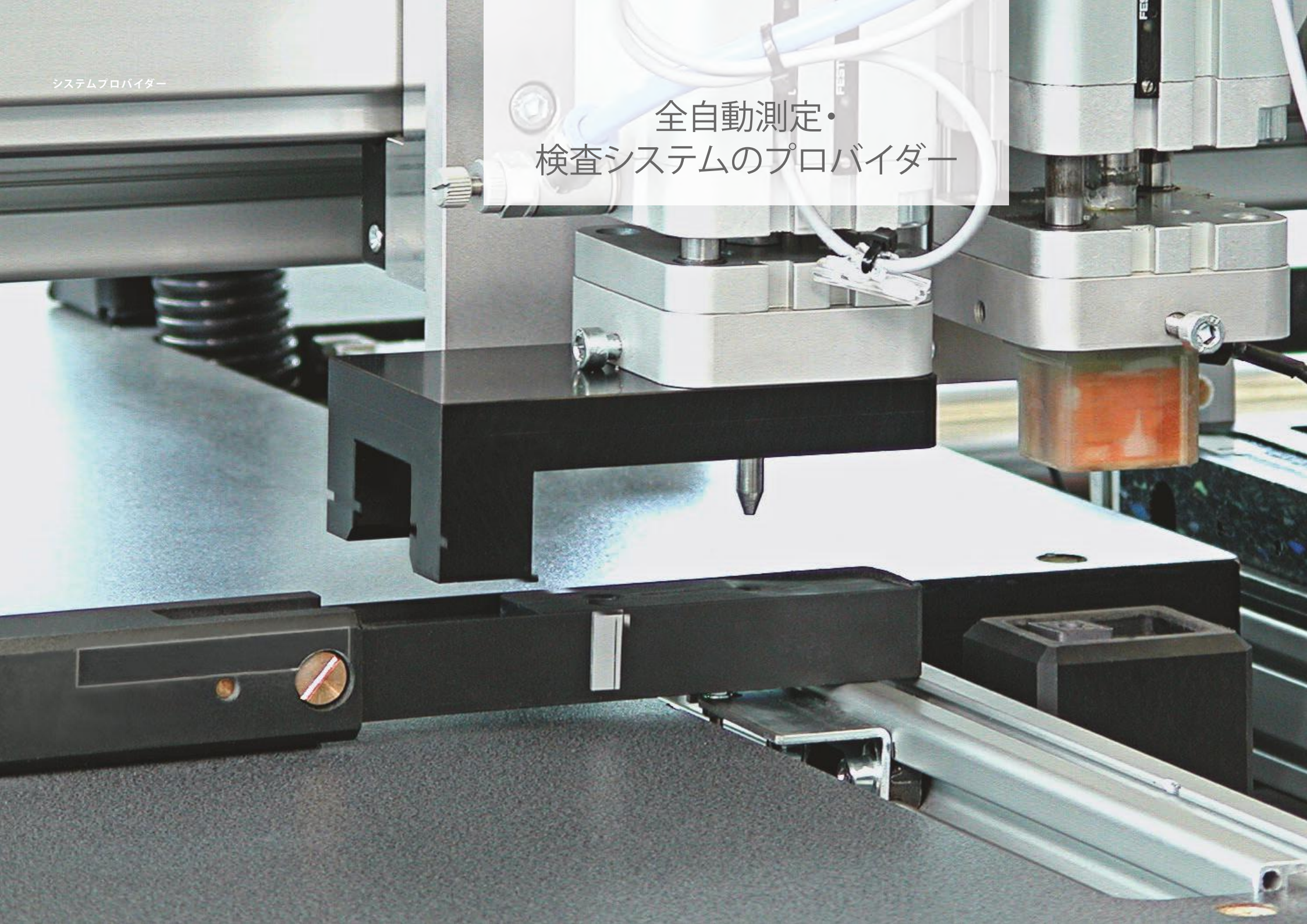
MAGNATESTシリーズは、用途や検査対象に応じて、金属部品の微細構造および材料の磁気誘導検査に最適なシステムを提供します。豊富な製品リストには、多種のコイルとプローブが揃っています。



- (1) SIGMATEST®
- (2) MULTIPLEXER MAGNATEST® D
- (3) MAGNATEST® D
- (4) MAGNATEST® ECM
- (5) MAGNATEST® ECM CE
- (6) フレキシブルプローブ
- (7) 貫通コイル

システムプロバイダー

全自動測定・ 検査システムのプロバイダー



FOERSTERの自動化ソリューション

粉末金属からの部品製造は大量生産であり、複雑な製造工程を経て行われます。スムーズな生産と徹底した品質管理を確実にするため、弊社はお客様のニーズに合わせた製品を提供します。

そのため個別の測定・検査装置のみならず、生産に必要なすべての機械を含む全自動システムを提供しています。これらのシステムはお客様との密接な協力のもとに開発・製造され、お客様の用途や要望を常に念頭に置いています。

製品および販売の専門家との検討後、お客様の目標を達成するコンセプトを練り上げます。その後の実行プロセスでは、お客様に最良のソリューションを提供するため、製品に精通した専門の機械エンジニアと協力態勢を築きます。また、お客様が指定するサプライヤー（お客様の部品について詳細な知識と直接の経験を持つプロバイダー）とも連携します。システム製作後も、試運転期間にお客様をサポートするほか、その後も問い合わせがあればサービスチームがいつでも対応します。また、製品とサービスの個別トレーニングも提供していますので、稼働初日からシステムを最大限に活用していただけます。



サンプルバッファの自動ローディング機能付き全自動検査システム



小型部品の微細構造検査用FOERSTER自動検査装置



Institut Dr. Foerster GmbH & Co. KG

In Laisen 70 | 72766 Reutlingen | Germany
+49 7121 140 312 | dm@foerstergroup.de

foerstergroup.com

Headquarters

- Institut Dr. Foerster GmbH & Co. KG, Germany

Subsidiaries

- Magnetische Pruefanlagen GmbH, Germany
- FOERSTER France SAS, France
- FOERSTER U.K. Limited, United Kingdom
- FOERSTER Italia S.r.l., Italy
- FOERSTER Russland AO, Russia
- FOERSTER Tecom, s.r.o., Czech Republic
- FOERSTER (Shanghai) NDT Instruments Co., Ltd., China
- FOERSTER Japan Limited, Japan
- NDT Instruments Pte Ltd, Singapore
- FOERSTER Instruments Inc., USA