

粉末金属

制造加工的过程控制



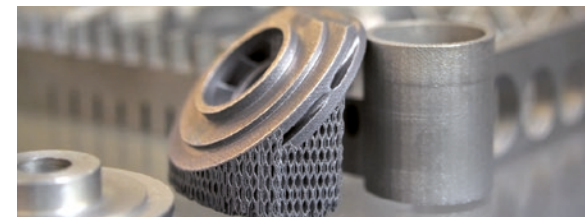
硬质合金

4 - 7



零部件

8 - 11



软磁部件

12 - 15



3D打印部件

16 - 17



技术

18 - 21



系统供应商

22 - 23

过程控制--从粉末金属制造到烧结零件生产

70多年来, FOERSTER为无损检测提供了创新的解决方案。涡流法或磁感应检测法让原材料、半成品产品和零部件检测, 品质清晰可见。同时, 磁性参数测量能力对于材料结构及其机械性能也为用户提供了非常有价值的信息。

近年来, 粉末金属零部件的生产有了突飞猛进的发展。与此同时, 强度和耐磨性也达到了甚至超过了传统制造的零部件质量水平。该制造过程本身是基于工具的, 并具有高可再生性和资源效益。其基本的先决条件是粉末需要具有高质量和稳定的生产过程。

FOERSTER公司的测试测量设备为您提供了生产过程控制的必要参数。除此以外, 自动化零部件处理过程, 以及完整测量结果存档, 形成了一个非常高效的检测系统。



硬 质 合 金

硬 质 合 金





先进的需求, 需要高质量的测量

在很多领域, 硬质合金通常用于材料韧性和硬度, 并具有抗腐蚀和耐热的能力。例如, 使用在钻头上, 它们在工业材料切割和加工中出现的几率与在外科手术室或牙医办公室出现的几率一样高。

在硬质合金生产工业中, 利用磁性参数分析材料的微观结构。通过测量批料样品的矫顽力, 可以快速、无损的方式确定碳化物晶粒尺寸的大小。这反过来提供了材料阻力和硬度的推论。因此, 粉末冶金质量管理的先决条件之一就是要精确测量矫顽力。

在硬质合金生产过程中, 确保粘结相的几何排列为可再生晶粒尺寸进行优化是很重要的。通过测定饱和磁化强度可快速、无损的方式评估样品的碳化物结构。

使用FOERSTER公司的KOERZIMAT HCJ矫顽力测量系统和KOERZIMAT MS饱和磁化测量系统设备会非常快捷的获得这些参数。



碳化物裂纹检测

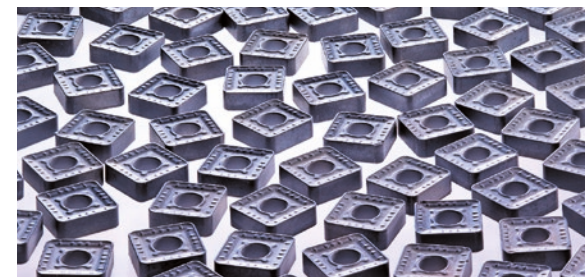
当粉末金属被压入坯料后，会产生裂纹和微结构变化，从而会导致零件在烧结过程中产生爆裂。高性能工具如钻头、铣床或车床都需要极高质量。

出于这个原因，FOERSTER公司提供了STATOGRAPH和MAGNATEST设备；用于烧结过程前，通过涡流检测方式检测坯料有无裂纹和微观结构缺陷。在烧结过程中自身体积减小，也会导致部件出现裂纹，这些缺陷也可以通过再次利用涡流检测方式进行筛选并被清理出来。



粉末和原材料检测

即使在制备由非磁性碳化物和磁性粘合剂组成的粉末混合物时，测定饱和磁化（MS）也为原材料特性提供了最必要的参数。KOERZIMAT MS设备用来测量饱和磁化。



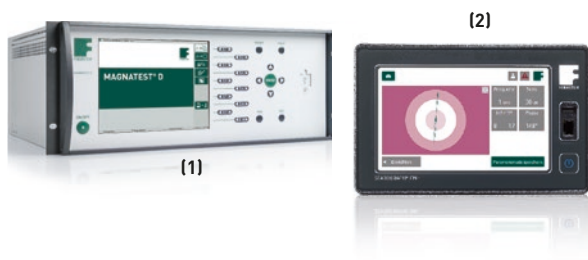
测定碳平衡

切削工具必须能够承受高负荷。烧结后的碳平衡的评估对此提供了一个尤为重要的质量参数。在烧结过程中当渗碳作用发生时，所产生的磁滞相（‘eta’ phase）使工具变得易碎并导致开裂。

在过度渗碳的情况下，碳沉淀析出，会导致强度和耐磨性不足，再次导致工具断裂。

基于这个原因，KOERZIMAT MS测量系统可以通过对比实际磁饱和值(MS)和标称值从而监测碳平衡。

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





烧结过程中的过程监控

材料生产商通常会按晶粒尺寸对碳化物进行分类。这个参数对材料的硬度、弯曲度及抗压强度提供了指标。监控烧结过程可以对烧结前及烧结后材料的晶粒尺寸进行比对。晶粒尺寸与矫顽力(HcJ)大小具有相关性。

结合相交叉的细度和矫顽力参数，随碳化物相晶粒细度的增加和粘结剂中金属含量的降低而增大。可通过饱和磁化 (MS) 检测来测量粘结剂中金属剩余含量。

使用KOERZIMAT测量系统，可以快速、精准测定矫顽力及饱和磁化参数，样件测量不受几何形状限制，从而优化烧结过程。

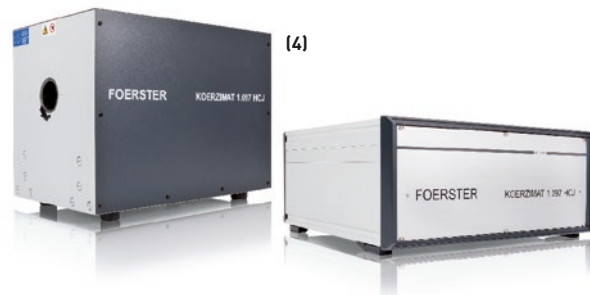


密度测量 / 状态监控

特别是脆性材料必须完全没有缺陷，比如气孔就会造成材料密度下降。因此，了解材料烧结后是否至少已经达到了理论密度值是非常重要的。

为此，需要矫顽力HcJ这个参数值。这个参数接近最大值，取决于烧结温度和持续时间。如果矫顽力值很低，密度值就会小于标称值，即密度烧结不完全。为了保证质量，KOERZIMAT HCJ测量系统可以测定和监测批量样品的矫顽力。

[4] KOERZIMAT® 1.097 HCJ



[4]

零 部 件

零 部 件



高价值零部件烧结过程的质量监控

复杂的零部件在制造过程中需要频繁的进行烧结。在大批量的生产中，使用这种经济的制造工艺来替代传统的金属铸造工艺。高质量的金属粉末，精密的模具及精准的烧结过程控制是生产制造高质量零部件的首要条件：这些零部件通常用于汽车生产领域或其他工业领域。

FOERSTER的测量测试设备帮助验证原材料粉末的质量，同时对生坯料和烧结过程进行监控。

检测部件包括：

- 紧固件
- 箱体部件
- 传动部件
- 驱动器
- 执行器



铁烧结零件

由于成本原因，复杂形状的零件通常采用烧结工艺制造。这些包括软磁部件比如箱体部件和紧固件，以及在驱动器和马达部分的机械应力部件。

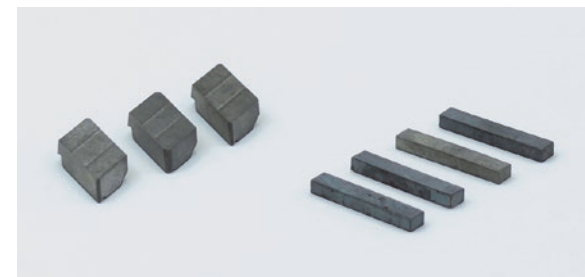
原材料铁粉的质量，在烧结前后的晶粒尺寸大小及均匀分布，决定了制造部件的强度及耐磨性。这些参数与测得的矫顽力值有关。KOERZIMAT可用来监测从粉末质量评估到烧结过程评估的整个生产过程。



生坯

等静压制预制过程中，在没有气孔的情况下，有可能获得最佳的材料密度。KOERZIMAT测量系统甚至在生产最初阶段就可以获得颗粒尺寸分布和密度等相关参数。

这些都是监控生产制造过程的最基本的参数。



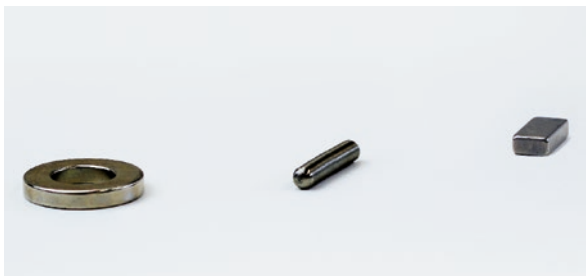
MIM（金属注射成型技术）部件

金属粉末注射成型技术是通过注射成型和后续烧结结合方法制造高质量金属部件的一种经济有效的替代方式。

对于这种方法，也可以用矫顽力测量来对烧结后原材料粉末和粘结剂的质量进行评估监测。

[1] KOERZIMAT® 1.097 MS
[2] KOERZIMAT® 1.097 HCJ





铝镍钴磁铁

成本效益高的铝镍钴磁铁的制造工艺一般还包括金属粉末的压制和烧结。原材料粉末的质量，以及在烧结过程中带有可磁化钴铁夹杂物构成的无磁金属网格，也可通过KOERZIMAT设备计算出来。此外，矫顽力和饱和磁化之间的相关性也可用于评估。



造币坯板检测

硬币需要经过许多人的手，在使用寿命中必须承受相当大的压力。因此，正确烧结坯板就非常的重要。监控烧结质量的关键参数是材料密度和表面质量。在这种情况下，使用便携式仪器SIGMATEST可通过测量电导率参数间接进行密度测量。如果烧结质量很好，那么电导率数值就会相对的高。使用高频检测也可用于监控随机样品的表面孔隙度。



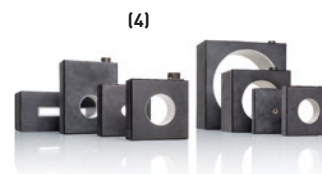
测试复杂的批量生产零部件的微观结构

复杂零部件的批量生产速度是非常快的。所以，检查所有烧结工艺是否正确执行尤为重要，例如压塑和校准。使用MAGNATEST D可以让零部件直接在生产线中实现100%在线检测。为了能够实现这一功能，零部件会穿过环形线圈，并在材料表面进行涡流检测。在有混料或者错误烧结工艺的情况下，测试数据会与标样件存在很大的差异。缺陷件将会被识别并分选出。

- [3] SIGMATEST®
- [4] 环形线圈
- [5] MAGNATEST® D



[3]



[4]

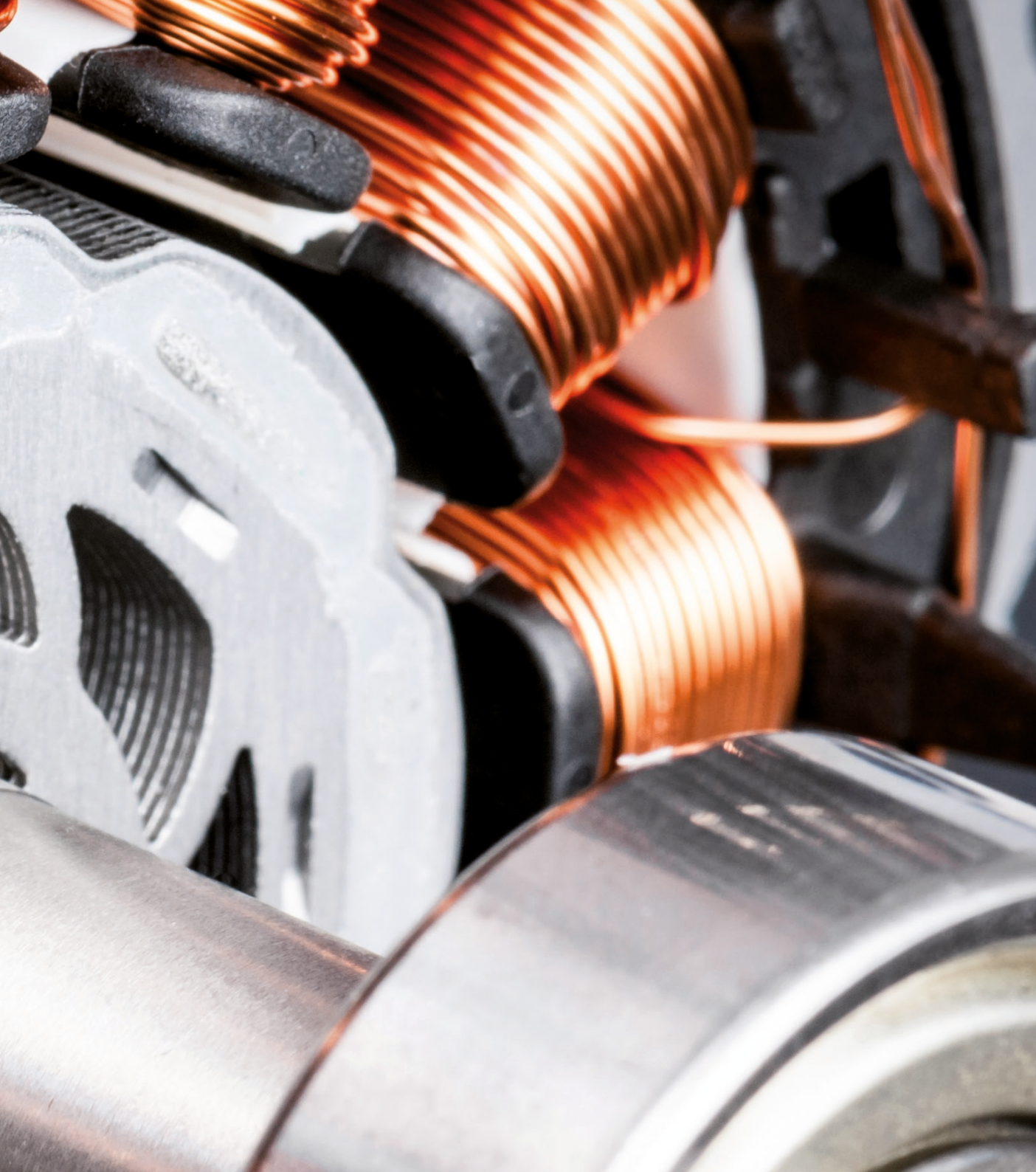


[5]

软磁部件

软磁部件





软磁部件需求与日俱增

在许多不同的应用领域，都需要金属粉末制成的软磁部件。它们最大的应用领域是在汽车行业，特别是在电动马达及制动器部分。造成这种情况的原因有很多。

用粉末金属制造软磁部件可以生产复杂的形状，这是用传统方法无法实现的。与硬金属相比，软磁部件可以很容易地被外部磁场磁化，然后根据需要进行退磁。这使得通过施加磁场可以将电信号转换为运动（执行器）或运动转换为电信号（传感器）。

软磁复合材料（SMC）通常用于电机，因为它们非常适用于高频应用。其材料结构能降低涡流及异常损耗的影响，从而大大提高电机的效率。使用KOERZIMAT HCJ和KOERZIMAT MS测量系统，可对软磁部件的磁性能在生产制造之前、期间及之后的各道工序进行监控。



原材料质量

原材料的电磁性能对其制成的电磁驱动器的性能起着决定性的作用。为了验证原材料质量是否符合这一用途, KOERZIMAT设备可以用来测定磁特性指标。



部件生产的过程监测

在生产电磁驱动器的软磁部件时, 机械精加工过程-平滑、研磨、抛光和机加工等工序, 都会导致材料内部机械应力累积。

材料通过热处理可以恢复到原始状态。因此, 使用 KOERZIMAT HCJ设备在最终退火前后检测矫顽力参数, 以便在生产过程中进行材料特性监测, 并在必要时随时进行修正。

测量工作可以在原材料生产过程中直接进行, 或在进一步加工前的进料检验过程中进行。通过这种方式, 材料质量可以被连续监测并记录。

因此, 这些因素就会导致电磁功率损耗, 从而会影响到与之相关的材料矫顽力参数。

使用KOERZIMAT MS设备, 可以测量特定单位重量下的饱和磁化值。同时得出有关材料密度(压制质量)等结论。该两种测量系统都可用于生坯料及粉末的检测。

(1) KOERZIMAT® 1.097 HCJ





软磁复合材料

软磁复合材料(SMCs) 主要用于高频应用, 使能源得到最佳利用。KOERZIMAT HCJ的矫顽力检测用于监控生产制造过程, 诸如软磁复合材料塑料制品的热处理、机械加工及铸造。

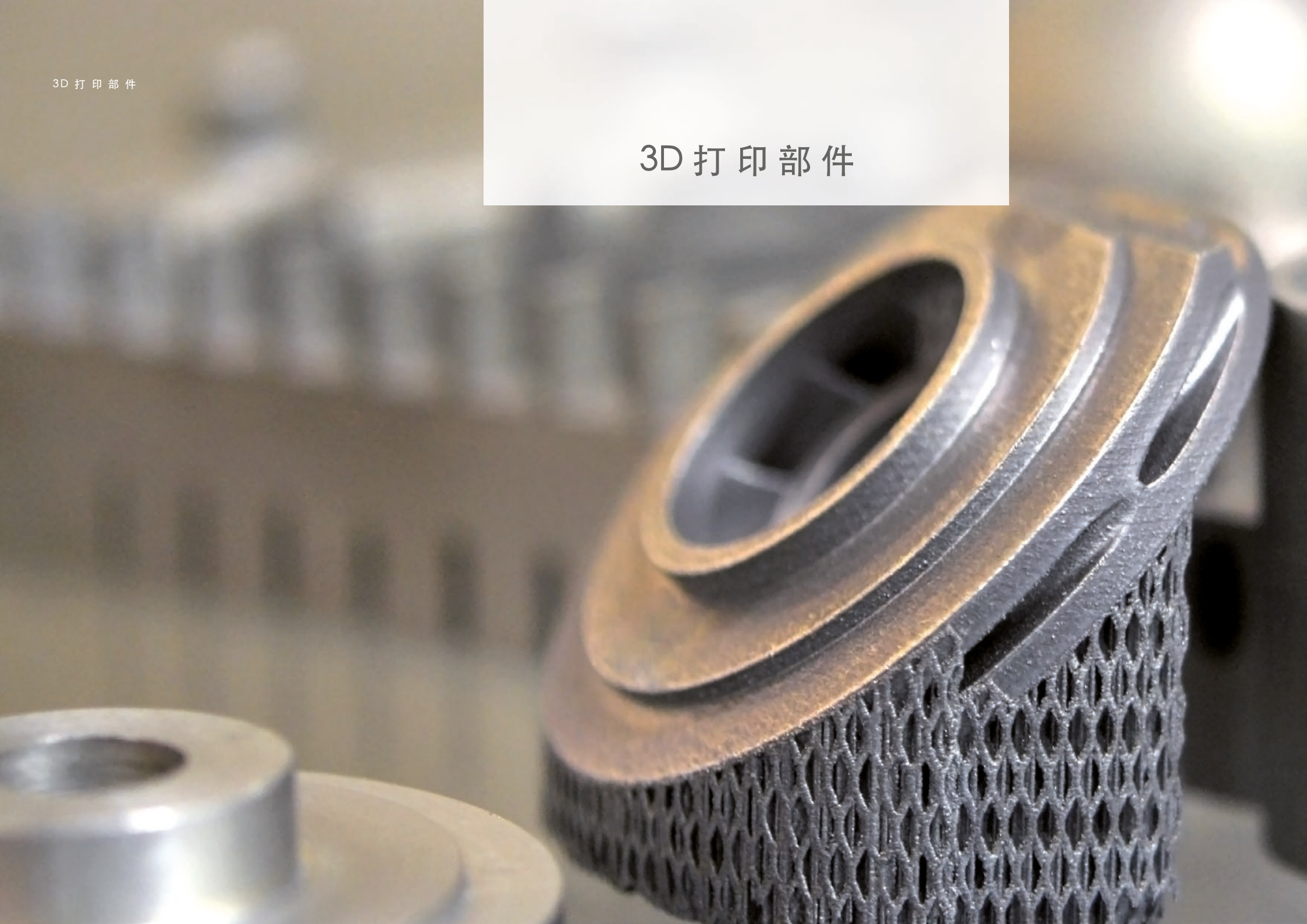
另一方面, KOERZIMAT MS测量系统可测量饱和磁化参数, 从而确定软磁复合材料中的磁性成分比例。这两种测量可快速、精确得出结论并不受任何样品的形状限制。此外, 这两种测量系统都可用于生坯料及粉末的检测。

(2) KOERZIMAT® 1.097 MS



3D 打印 部 件

3D 打印 部 件



复杂形状部件的3D打印技术

随着工业发展对零部件形状需求的增长，例如在汽车、航空航天及粉末冶金领域，3D打印技术尤为重要。3D打印工艺作为生产技术，被用于打印形状复杂的部件。然后，像传统制造工艺一样，生坯料在更高的温度下进行烧结。

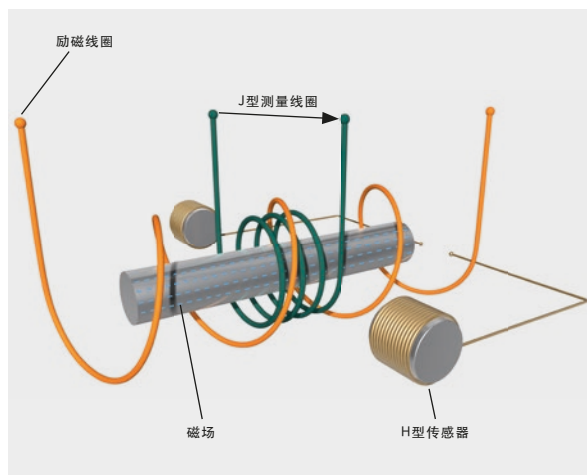
FOERSTER提供的KOERZIMAT HCJ和KOERZIMAT MS测量系统可监控烧结过程。此两种测量系统，可快速、精准并不受产品形状限制进行矫顽力及饱和磁化检测，该两种指标是材料质量监控的重要依据。

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



J(H) 磁滞回线

在工业环境下，开放式磁化回路方法可以快速测量软磁材料的磁滞回线。使用精确的J型线圈，可对制造电磁发动机的原材料（如共轨喷射系统）进行测量关键参数。H型线圈可以精确测量软磁部件成品和硬质合金材料的矫顽力 H_{cJ} 。



磁性能测量原理图

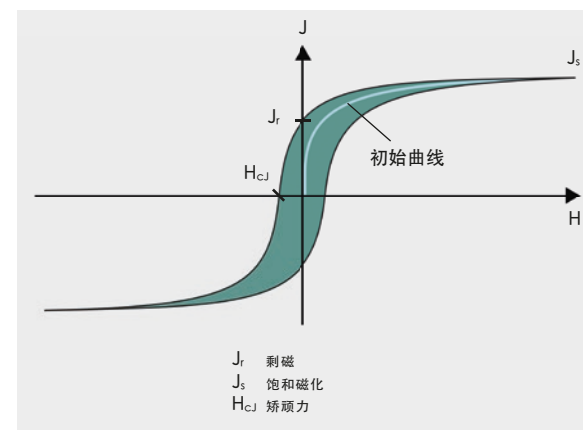
完整的J(H)磁滞回线表示执行器运行过程中部件的能量损耗（交变磁化损耗）。因此， H_{cJ} 矫顽力也是一项重要指标。相对磁导率 μ_r （初始曲线斜率）表示部件在磁化线圈中的一个动态特性：相对磁导率值越高，那么部件在电磁系统中会越快被磁化，从而提高系统动力。

软磁部件在生产制造过程中，机械过程如精加工、研磨、抛光和热处理（最终退火）可以极大改变上述磁性参数。

因为其中一些磁性能必须通过J(H) 磁滞回线、 μ_r 磁导率和 H_{cJ} 矫顽力这些参数监测部件状态，那么KOERZIMAT测量系统就是一套理想的测量工具。

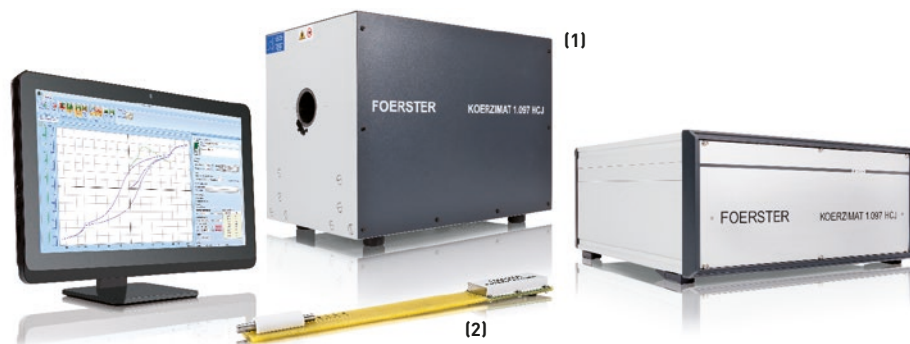
因为J(H)磁滞回线、 μ_r 磁导率仅适用于标准形状样品（如圆环形、棒材和金属板带）。测量烧结零件时， H_{cJ} 矫顽力参数也尤为重要，使测量复杂形状的零件成为可能。

在硬质合金领域， H_{cJ} 矫顽力用来分析微观结构（晶粒尺寸、分布均匀性和粘结金属比例）同时监控烧结制造过程。



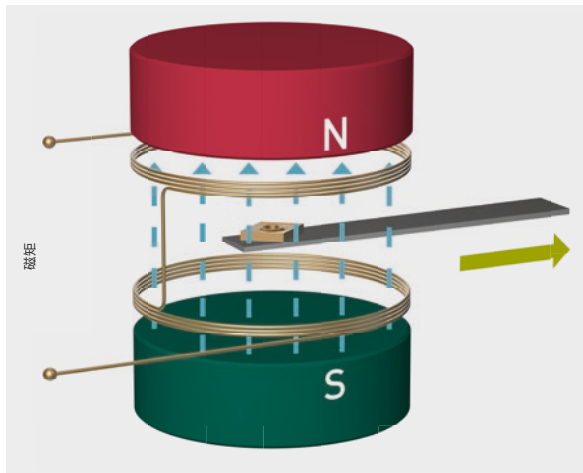
J(H)磁滞回线图

- (1) KOERZIMAT® 1.097 HCJ
(2) J型传感器



单位重量和单位体积下的饱和磁化

KOERZIMAT MS饱和磁化测量系统是一款极佳的测量系统。可在工业环境中快速并不受任何形状限制测量材料的磁饱和极化和磁偶极矩。



磁饱和和极化测量原理图

通过一个特殊结构的永磁体（Halbach 阵列），样件被磁化至饱和状态，这样就不需要任何电力资源进行磁化。当样件被从磁体中抽出时，磁偶极矩通过两个线圈（亥姆霍兹线圈）和一个磁通计测量出来。

在粉末冶金领域，单位重量和单位体积下的饱和磁化是材料制造过程中非常重要的指标。如果材料的重量或密度是已知的，那么KOERZIMAT软件会自动测量出这两个材料参数。

一旦测量值与钴或镍的材料常数相比较，KOERZIMAT MS软件会评估出磁性粘结剂的含量。



电子显微镜下看到的微观结构

[3] KOERZIMAT® 1.097 MS

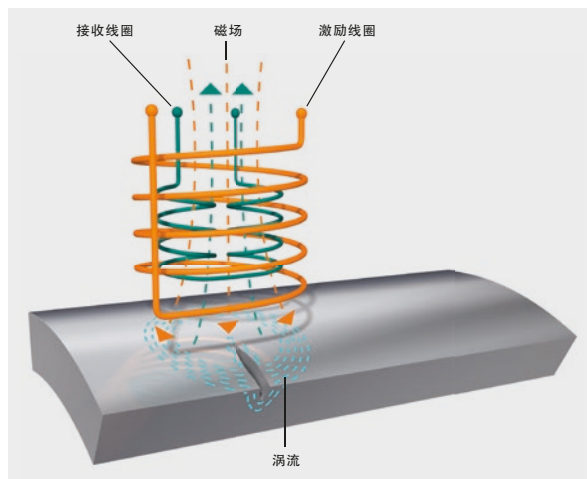


表面裂纹检测

采用涡流检测法进行无损探伤

如今，随着人们对质量问题的高度关注，更不用说与产品责任相关的风险，越来越有必要对零部件进行100%全检。根据DIN EN ISO 15549标准，涡流检测法是一种无损的、非接触式的材料检测方式。它可以检测表面如裂纹、迭片、气孔等缺陷，是一种高效、可靠并经济实用的检测方法。通过使用差分测量线圈，在检测材料中引起感应电动势，产生涡流。

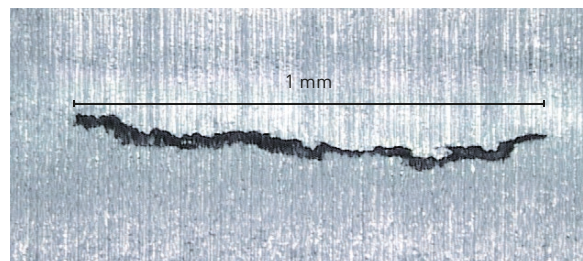
接收线圈会根据激励线圈产生的振幅和相移进行评估，即使材料中最小的缺陷也可以探测出来。



涡流检测原理图

检测材料中的裂纹

对于裂纹检测，使用专门的机械装置将工件进行旋转用固定探头扫描，或使用旋转探头扫描固定工件。工件中没有缺陷时，涡流轨迹分布是均匀、规则的，因为电阻均匀的。但当在某个位置出现裂纹时，与没有缺陷的工件对比，涡流密度就会出现不同。这个变化就会被记录并做为一个缺陷信号显示出来。



回转体工件上的自然缺陷

STATOGRAPH®探伤机

材料裂纹的涡流检测需要与检测任务相匹配的电子设备和探头。根据检测情况和工件的不同，STATOGRAPH系列产品提供了适合的涡流检测系统。

可提供适用于特殊应用的标准或特殊形状的定制探头。探头的选择取决于工件的形状、循环周期和误差规格。

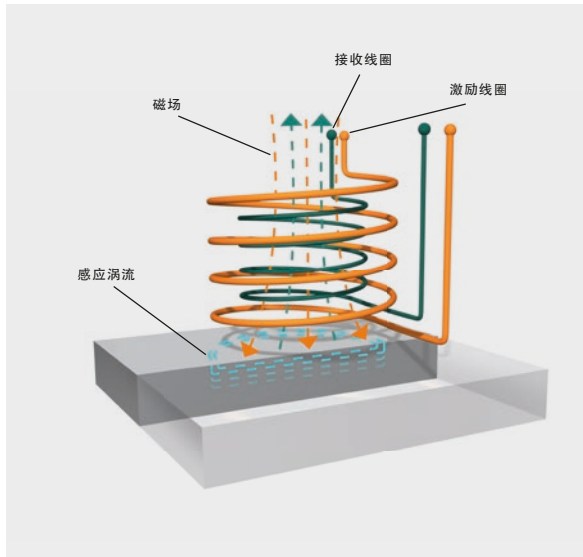


- (1) STATOGRAPH® CM
- (2) STATOGRAPH® CM+
- (3) 探头
- (4) 柔性探头

材质和微观结构测试

磁感应法

磁感应法同样依赖于涡流技术，因为其宽的频率范围可以达到不同的测试目的。用高频测试可以探测材料的裂缝，而低频磁感应测试可以提供好的穿透深度，从而提供样品的热处信息。材质和/或微观结构测试可用于防止材料混淆或鉴定热处理错误的部件。



磁感应法原理

典型的分类标准包括合金含量、表面硬度、硬度、强度和微观结构。

材质属性测试

测试材料的属性时，样品通常通过一个环形测试线圈，在线圈中引入低频涡流。样品的磁性和电学特性的结果反映在传感器记录的测试电压，电压值以图形方式显示为测量点。不同的硬度状态、合金成分或微观结构条件都会对接收电流产生影响，从而可以得出关于样品材质属性的结论。

MAGNATEST®系列产品

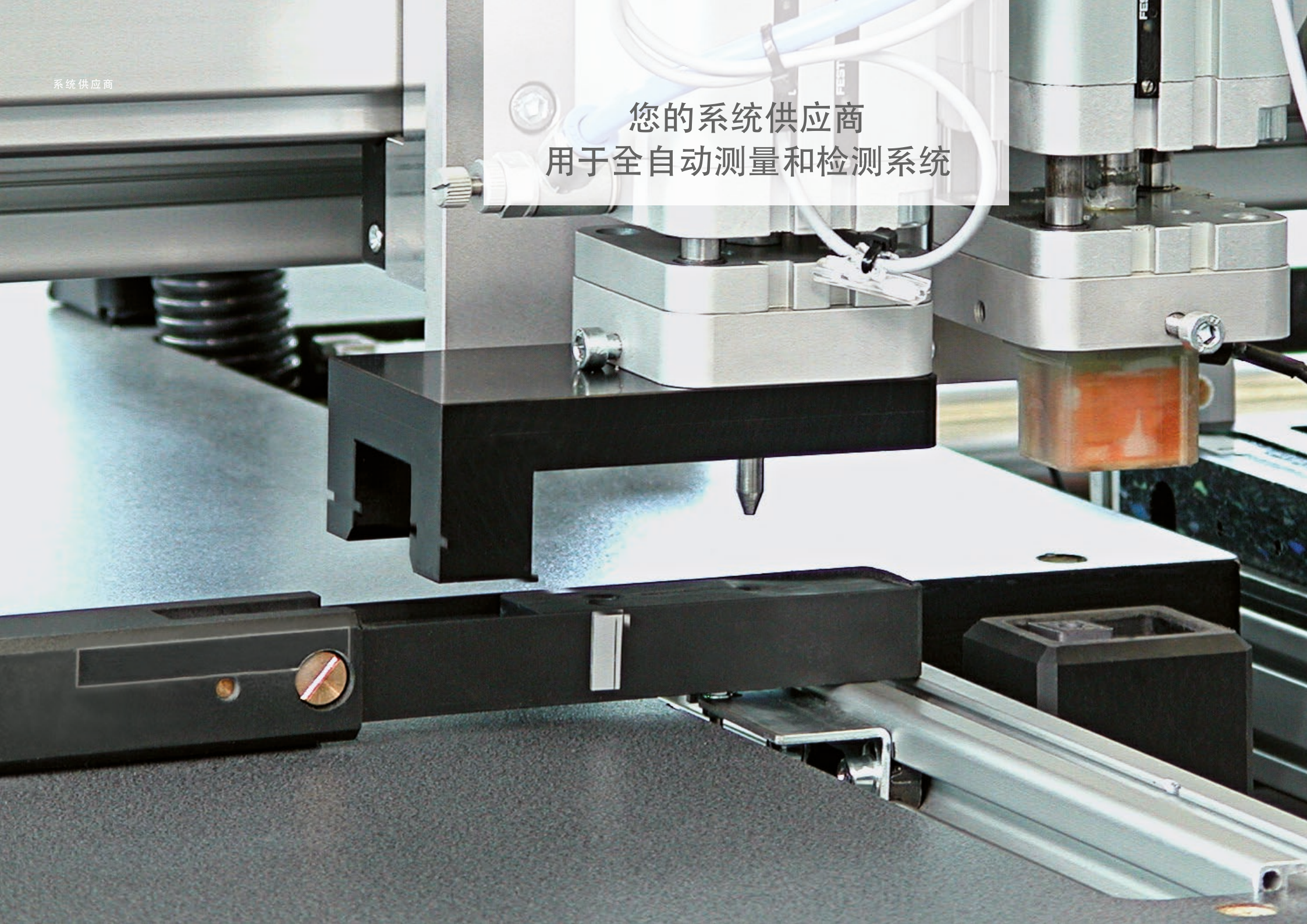
根据应用方法和样品的不同，MAGNATEST系列产品为金属件的磁感应微观结构和材质检测提供了合适的系统。各种线圈和探头完善了广泛的产品组合方案。



- [1] SIGMATEST®
- [2] MULTIPLEXER MAGNATEST® D
- [3] MAGNATEST® D
- [4] MAGNATEST® ECM
- [5] MAGNATEST® ECM CE
- [6] 环形线圈
- [7] 探头

系统供应商

您的系统供应商
用于全自动测量和检测系统



来自FOERSTER集团的自动化解决方案

用金属粉末制造成零部件是在大批量生产中完成的，它会涉及到一系列复杂不同的制造过程。为了保证生产的顺利进行，同时确保全面的质量控制，我们可以根据您的需要定制我们的产品。

因此，我们不仅可以提供单独的测量测试设备，而且还可以为您的生产提供包括所有机械装置在内的全自动检测系统。这些产品的开发和制造将与您——我们的客户，密切合作，并将始终铭记您的应用与需求。

在与我们的产品和销售专家咨询后，我们会制定一个方案来实现您的目标。在随后的执行过程中，我们将与专业的机械工程师进行产品定制的合作，以确保您获得最佳的解决方案。我们还会与您指定的供应商合作，这些供应商可能已经知道您的部件的详细信息并具有直接的经验。系统制造完成后，我们将继续在调试期间为您提供支持；另外，如果您有任何问题，我们的服务团队会随时为您解答。此外，我们还会提供个性化的产品和服务培训，让您可以更好地使用您的系统——从第一天开始。



带有自动上料装置的全自动检测系统



FOERSTER测试机用于自动化微观结构检测（各种小规格零部件）



Institut Dr. Foerster GmbH & Co. KG

In Laisen 70 | 72766 Reutlingen | Germany
+49 7121 140 0 | info@foerstergroup.com

foerstergroup.com

总部

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

分公司

- 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