



WIR VERSTEHEN DIE ZEICHEN DER ZEIT
KEEPING PACE WITH THE SIGNAL OF TIME

Publikation

PM-Anwendungen mit Akustischer Resonanzprüfung

Kurzbeschreibung

Die Akustische Resonanzprüfung (ART – Acoustic Resonance Testing) bietet den Herstellern von pulvermetallurgischen Bauteilen eine wirtschaftliche Lösung für die linienintegrierte Qualitätsprüfung. Die Technik überzeugt durch ein hohes Maß an Zuverlässigkeit, geringer Taktzeit zur vollständigen Bauteilprüfung und relativ niedrigen Investitionskosten. Bestehende organisatorische und technische Anforderungen an Betreiber können mit engagierten und verfügbaren Maschinenfahrern abgedeckt werden. Kennzeichnend für die Technik ist eine verhältnismäßig aufwendige Voruntersuchung von Eigenschwingungen, die Realisierung eines Bauteil spezifischen Prüfaufbaus sowie der Durchführung von Serien begleitenden Messreihen zur Justierung des Prüfsystems. Der nachfolgende Beitrag stellt die Grundlagen der Technik zusammen. Die Besonderheiten der Technik von MEDAV liegen darin, dass das Justieren der Prüfeinrichtung unter Einsatz statistischer Verfahren auf unbewerteten Serienbauteilen sowie die Adaption der Auffälligkeitsschwellen automatisiert erfolgen. Abschließend werden zwei konkrete Anwendungen der CrackMaster™-Systemtechnik beschrieben, die sich vor allem in der mechanischen Ausführung der Prüfvorrichtung unterscheiden.

Vorstellung der Technik

Akustische Resonanzprüfung (ART)

Die ART verwendet ausschließlich physikalische Eigenschaften der Bauteile zur Bewertung: die Eigenschwingungen, wobei diese zum Prüfen stimuliert und Eigenfrequenzen sowie deren Dämpfungen gemessen und ausgewertet werden. Alle elastischen Bauteile sind durch ihr Eigenschwingungsverhalten eindeutig charakterisiert: Zwei Bauteile, die „gleich“ sein sollten, müssen zwingend das gleiche Eigenschwingungsverhalten aufzeigen. Sind Unterschiede vorhanden, müssen diese eine Ursache im bzw. am Bauteil haben; manche Unterschiede sind Güte relevant.

Das Eigenschwingungsverhalten von Bauteilen wird von verschiedenen Material- und Bauteileigenschaften beeinflusst, z.B. Material, Dichte, Körnigkeit, geometrische Eigenschaften, Steifigkeit, Masse. Deshalb können innen und außen liegende Abweichungen wie z.B. Risse, „grüne Kerne“ und unvollständige Bauteile mit ART erkannt werden (siehe dazu auch [1]).

Merkmale und deren Abweichungen

Als Gütemerkmale werden Eigenfrequenzen und die Dämpfungen der zugehörigen Eigenschwingungen verwendet. Daraus lassen sich weitere Merkmale ableiten, die besonders sensitiv zur Erkennung kleiner Abweichungen sind.

Diese weiterführenden Merkmale sind für den Erfolg des Ansatzes wesentlich. Während grobe Abweichungen wie z.B. lange und tiefe Risse sich bereits in der Absolutlage der Eigenfrequenzen signifikant auffällig darstellen können, ist dies bei kleinen, kurzen Rissen nicht zu erwarten: Natürlich verändert ein kleiner Riss im Gegensatz zu einem langen Riss nicht das Schwingungsverhalten des Gesamtbauteils nachhaltig!

Durch Ausnutzung spezieller physikalischer Phänomene können weitere Merkmale gebildet werden. Ein Beispiel dafür stellt die so genannte Frequenzspreizung bzw. Schwebung dar, die bei rotationssymmetrischen Bauteilen als Konsequenz von Inhomogenitäten und Unsymmetrien, z.B. bedingt durch Risse, beobachtet werden kann.

Die CrackMaster-Systemtechnik unterstützt tausende von Merkmalen, die automatisch gebildet und justiert werden. Der Betreiber konzentriert sich auf Offline-Bauteiluntersuchungen sowie die Eingabe von Untersuchungsergebnissen in das Prüfsystem.

Vergleichende Messung

Die Linien integrierte Prüfung konzentriert sich nicht so sehr auf die Auswertung absoluter Werte für Eigenfrequenzen und Dämpfungen. Vielmehr steht die sichere Erkennung „untypischer“ Bauteile im Vordergrund.

MEDAV entwickelte zur Erkennung von Auffälligkeiten das Chamäleon-Verfahren (siehe dazu [2]). Mit Chamäleon-Technik gelingt es, die Merkmale des aktuell zu prüfenden Bauteils mit den entsprechenden Merkmalen einer Historie von Bauteilen, z.B. der letzten 200, zu vergleichen. Passen die aktuellen Merkmalswerte „dazu“, ist das Bauteil unauffällig und damit „gut“. Fällt mindestens ein Merkmal aus dem Toleranzbereich, wird das Bauteil als auffällig ausgeschleust und im Rahmen des QS-Regelkreises untersucht und das Bewertungsergebnis in das CrackMaster-System zur Optimierung der Auffälligkeitsgrenzen zurückgeführt.

Eine wesentliche Erleichterung zur Systempflege findet der Betreiber in der Fähigkeit von Chamäleon zur automatisierten Driftadaptation der Auffälligkeitsgrenzen. Verschleiß von Werkzeugen, Schwankungen in der Ofentemperatur und im Abkühlverhalten sind einige der Gründe, warum sich die gemessenen Eigenfrequenzen über der Zeit im Schwerpunkt (Mittelwert) unterscheiden können – „driften“. Dieses Phänomen ist auch bei anderen Mess- und Prüftechniken bekannt. Chamäleon führt die Auffälligkeitsgrenzen um einen gleitenden Mittelwert mit, wobei Grenzen für diese Driftadaptation vorgebar sind.

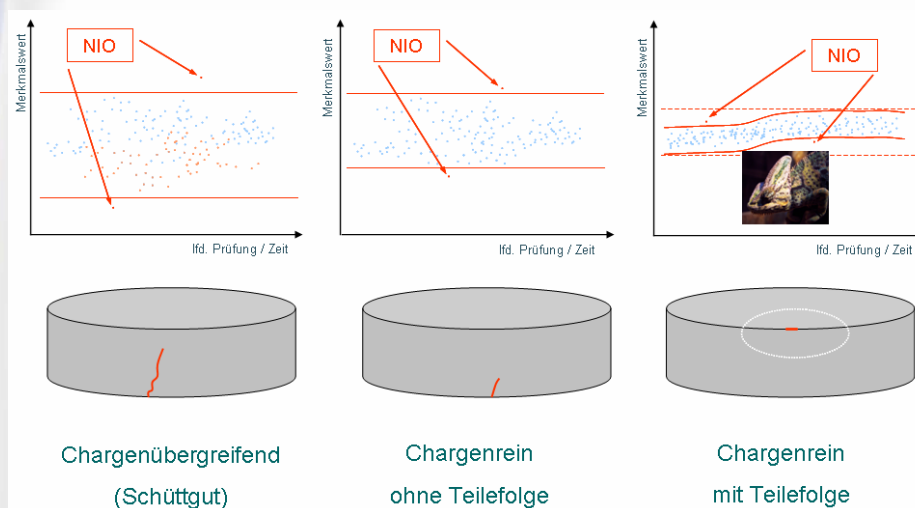


Abbildung 1: Auffälligkeitsgrenzen in Abhängigkeit der gewählten Referenzteile und deren Auswirkung auf die Fehlererkennung (plakativ dargestellt). Chargen übergreifende Teileensemble (links) als Referenzteile führen zu breiteren Toleranzgrenzen, geeignet zur Erkennung „langer“ Risse; Merkmalswerte einer Charge sind über Farbgebung blau / gelb gekennzeichnet. Prüfung der Bauteile bei Chargen reinem Teileensemble (Mitte) ermöglicht auch Erkennung „kurzer“ Risse. Bei Prüfung der Bauteile nach FIFO (rechts) können bereits sehr kleine aber relevante Abweichungen gerade in den kritischen Zonen der Bauteile erkannt werden, was durch die in Chamäleon enthaltene automatische Driftadaptation begünstigt wird.

Regelmäßig ist die Erkennung „kleiner“ Abweichungen, z.B. kurze Risse, die Herausforderung für die Prüfaufgabe. Unter der Annahme, dass zwei Bauteile die unmittelbar nacheinander gefertigt werden, „ähnlicher“ sind als zwei Bauteile, die im größeren Teileabstand gefertigt werden, empfiehlt es sich, die Prüfung der Bauteile in der Folge ihrer Produktion (FIFO – First In First Out) durchzuführen; dadurch werden als Referenzteile zur Bewertung des aktuellen Bauteils besonders „ähnliche“ Bauteile verwendet. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt die Auswirkungen, wie sich die Zusammensetzung des Referenzteilensembles auf die Toleranzbreite der Merkmale auswirkt. Bei Prüfung nach FIFO können die Auffälligkeitsgrenzen besonders eng gewählt werden. Dadurch gelingt es, „kleine“ Abweichungen zuverlässig zu erkennen, die ansonsten in der Streuung der Messwerte nicht auffällig wären; diese Technik hat sich im Praxiseinsatz bewährt, obgleich teilweise organisatorische Änderungen im Teilefluss erforderlich waren.

Zu ergänzen ist, dass diese Vorgehensweise deshalb ihre Berechtigung erfährt und den entsprechenden Anwendererfolg hat, weil die Anwender ihren Fertigungsprozess beherrschen und überwiegend Gut-Teile produzieren. Es kommt bei der Prüfung vor allem darauf an, die statistisch auftretenden Schlecht-Teile sicher zu erkennen. Und dazu verwenden wir statistische Methoden auf physikalisch motivierte Merkmale.

In Einzelfällen, z.B. bei Gussteilen wie Bremsscheiben, stellt die Eigenfrequenzmessung und nicht die Rissprüfung die Prüfaufgabe dar. Diese ist bei der Verwendung der ART zur Rissprüfung bereits methodisch enthalten, wobei allerdings feste Grenzwerte für ausgewählte Eigenfrequenzen angesetzt werden.

Komponenten des Prüfaufbaus

Zur Prüfung wird das Bauteil lagerichtig positioniert, zum Schwingen angeregt und die Eigenfrequenzen gemessen.

Für die Positionierung werden üblicherweise Bauteil spezifische Prüfnester erstellt oder Universalauflagen mit Wechselnestern verwendet. Das Bauteil wird in das schwingungsentkoppelte Prüfnest verbracht, was automatisiert oder manuell erfolgen kann.

Die Anregung des Bauteils zum Schwingen erfolgt mittels Stoßvorrichtung, die automatisiert bedient wird (siehe unten Anwendung „Riemenscheibe“) oder unter Verwendung einer Prallvorrichtung, bei der die Bauteile nach dem Aufprall auf einen Amboss schwingen (siehe unten Anwendung „Nockenteil“). Physikalische Phänomene sind dafür verantwortlich, dass die Anregung von Eigenschwingungen eines Bauteils abhängig ist von Anschlagposition und –stärke: Wird das Bauteil an unterschiedlicher Stelle angeregt, können Eigenfrequenzen unterschiedlich stark stimuliert werden, teilweise auch nicht messbar sein.

Eigenschwingungen des Bauteils werden meist über Luftschall mittels Mikrofon gemessen, wobei hier Frequenzen auch im unteren Ultraschallbereich erfasst und ausgewertet werden. Seltener wird Körperschall gemessen, was mittels Tastspitzen mit integriertem Beschleunigungssensor oder mit Laservibrometer erfolgen kann.

Die Verwendung von Finite Elemente Modellen (FEM) ist hilfreich, um das Messregime für Bauteile zu optimieren. FEM liefert über Computersimulation Informationen zu den Eigenschwingungen und zugehörigen Eigenfrequenzen des Bauteils in Form von Videoanimationen und Frequenzwerten. Wie in [1] ausgeführt sind beide Informationen zweckmäßig, um die „wichtigen“ Eigenschwingungen zu erkennen und daraufhin das Anschlagregime zu optimieren.

Bei der Konstruktion der Prüfvorrichtung sind Umwelтанforderungen zu berücksichtigen, die sich durch hohe Umgebungsgeräusche, Ultraschallquellen und Vibrationen ergeben. Es gibt in der Regel einfache und mit wenig Aufwand verbundene Lösungen für die jeweiligen Anwendungsszenarien.

Der aufgezeichnete Luft- bzw. Körperschall wird u.a. unter Anwendung der Fourier-Analyse analysiert, Merkmale werden gebildet. Die Bildung von Auffälligkeitsgrenzen bedingt eine Messreihe über wenige hundert Bauteile mit Nachbewertung einzelner Bauteile wie unten unter „Basiseinrichtungen“ beschrieben.

Die Bauteile werden bevorzugt im abgekühlten Zustand geprüft. Sind die Bauteile vergleichbar warm, erfordert dies für das Chamäleon-Verfahren wegen der integrierten Driftadaption keine besonderen Maßnahmen. Unterschiede von mehreren zehn Grad in der Bauteiltemperatur können durch spezielle Maßnahmen der Signalverarbeitung kompensiert werden.

Einrichten und Systempflege

Basiseinrichten

Sobald die Prüfvorrichtung vorhanden ist, wird im Rahmen einer Messreihe über einige hundert Bauteile das CrackMaster-System basiseingerichtet. Dies bedeutet, dass zum einen Merkmale definiert und Auffälligkeitsgrenzen grob ermittelt werden und zum anderen eine Gegenprüfung von Bauteilen erfolgt, um die Auffälligkeitsbewertung durch CrackMaster zu validieren.

Dazu werden möglichst Serien begleitend die Bauteile nach FIFO im Sinne eines „Schnappschusses“ aus der Produktion entnommen, nummeriert, gemessen und aufbewahrt. Danach werden offline die Merkmale eingerichtet und die Bauteile nach Auffälligkeit sortiert. Als Auffälligkeitsmaß dienen alle Merkmalswerte, wobei zu jedem Merkmal (von typischer Weise tausenden von Merkmalen) Mittelwert und Standardabweichung berechnet werden. Die Merkmale werden als gleichwertig betrachtet; Merkmalswerte sind um so auffälliger, wie sie als Vielfaches der Standardabweichung vom jeweiligen Merkmalsmittelwert ab liegen. Entsprechend der Merkmalsauffälligkeit gelten dann die zugehörigen Bauteile als auffällig.

Entsprechend dieser Auffälligkeitssortierung werden die auffälligsten Bauteile sowie die harmnischsten und einige dazwischen liegende Bauteile auf ihre Güte von der werkseigenen Qualitätssicherung, gegebenenfalls auch unter Einsatz zerstörender Methoden, untersucht (zu deren Identifikation wurden die Bauteile auch nummeriert). Entsprechend dem Werksstandard wird die Güteklassenzuordnung (gut, schlecht) getroffen und dem System eingegeben. Es erfolgt ein Justierprozess, der rechnerunterstützt durchgeführt wird. Ziel ist es, die Merkmalsgrenzen derart einzustellen, dass die Schlecht-Teile sicher erkannt und Pseudofehler (fälschlicher Weise als schlecht bewertete Gut-Teile) möglichst vermieden werden. Hinzuweisen ist unbedingt darauf, dass „Pseudofehler“ ein irreführender Begriff sein kann: Erkennt CrackMaster ein Bauteil als „auffällig“, so ist es im physikalischen Sinne auch „anders“ als die Referenz. Problematisch kann das Identifizieren der jeweiligen Ursache sein, oder – im günstigen Fall – handelt es sich um zulässige Abweichungen, was dann in der Regel durch Justieren von Merkmalsgrenzen unkritisch ist. Zulässige Risslängen et al. sind allerdings im CrackMaster-System nicht zuverlässig zu behandeln.

Nach dem Justierprozess des Basiseinrichtens kann mit den ermittelten Merkmalsgrenzen die Serienprüfung anlaufen.

Qualitätsregelkreis

Der Qualitätsregelkreis beschreibt die Vorgehensweise zur Optimierung der Systemjustage im laufenden Serienprozess (siehe dazu auch [2]). Abbildung 2 gibt eine Übersicht zum Ablauf des geschlossenen Qualitätsregelkreises.

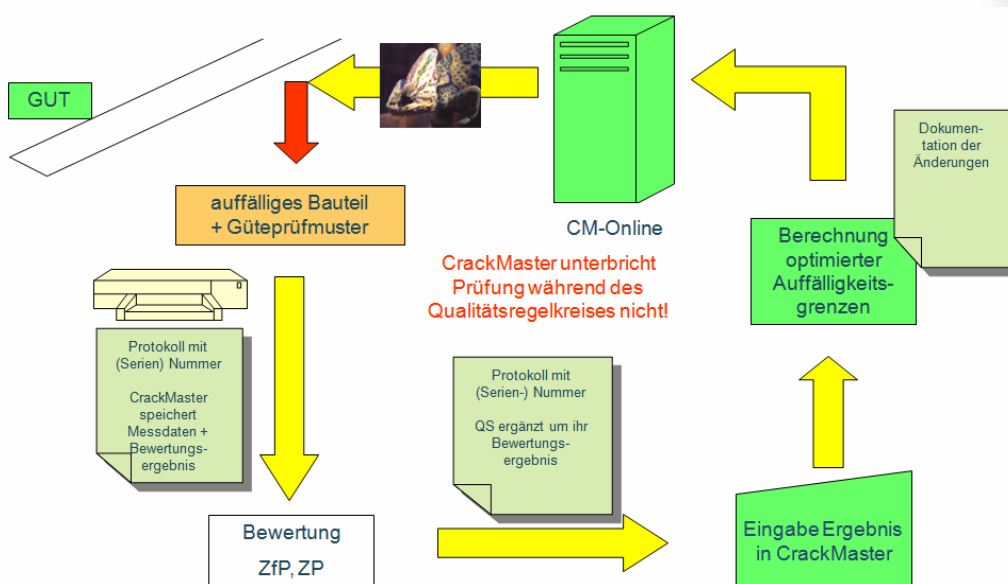


Abbildung 2: Qualitätsregelkreis. Im laufenden Prozess werden auffällige Bauteile und Güteprüfmuster ausgeschleust. Die Qualitätssicherung entnimmt diese ausgeschleusten und dokumentierten Bauteile zu einer Nachuntersuchung. Danach werden diese Ergebnisse in CrackMaster eingegeben. CrackMaster optimiert automatisch die Auffälligkeitsgrenzen derart, dass die betreffenden Bauteile nach Vorgabe der Qualitätssicherung bewertet werden würden. Formulare erleichtern die Dokumentation der jeweiligen Arbeitsschritte. Während der Ausführung dieses Regelkreises wird die Prüfung mit CrackMaster fortgeführt.

Prozesseingriffe

Prozesseingriffe sind z.B. Chargenwechsel oder die Nachstellung von Maschinen- und Prozessparametern. Folge dieser Prozesseingriffe können sprunghafte Veränderungen in der Absolutlage von Merkmalen sein.

Chamäleon bietet die Möglichkeit, durch entsprechende manuelle oder automatisierte Signalisierung eines Prozesseingriffs die Auffälligkeitsgrenzen auf das neue, korrekte Niveau zu überführen. Es wird zur Absicherung dieser Adaption empfohlen, entsprechende Güteprüfmuster zur Überprüfung durch die Qualitätssicherung auszuschleusen und zu untersuchen.

Kümmerner

Für die erfolgreiche Einführung von CrackMaster in die Produktion wird die Benennung und Einbindung eines Kümmersers durch das Werk vorausgesetzt. Der Kümmerner ist eine engagierte Persönlichkeit mit dem Ziel, eine anfänglich neue Technik erfolgreich in den Betrieb einzuführen. Technisch sind der sichere Umgang mit dem PC und die Entwicklung eines Grundverständnisses zu Eigenschwingungen und der Messtechnik erforderlich. Letzteres wird durch Schulung und vor allem durch gemeinsames Arbeiten im Sinne eines Know-how-Transfers erreicht. Der Kümmerner wird dabei in die Lage versetzt, den kompletten Einrichtungsvorgang und die Systembetreuung selbstständig auch für neue Bauteiltypen durchzuführen; dies ist realistisch möglich.

Anwendungen

Prüfung von rotationssymmetrischen Bauteilen am Beispiel „Riemenscheibe“

GKN Sinter Metals GmbH, Bad Brückenau, Deutschland, hat die Prüfung von gesinterten Riemenscheiben automatisiert. Verschiedene Maschinenparameter sind in Tabelle 1 angegeben. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt das zu prüfende Bauteil, **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** gibt einen Überblick zum Prüfnest.

Bauteil:	Riemenscheibe
Varianten:	-
Anregungskonzept:	Stoßvorrichtung
Prüfnest:	Motorisch betriebener Drehteller mit Wechselnest zur Unterstützung der Prüfung von Bauteilvarianten
Messregime:	3 Anschläge pro Bauteil
Sensorik:	Luftschall, 75 kHz Bandbreite
Bewertung:	IO, NIO
Bewertungsgüte:	Sichere Risseiterkennung < 0,5% Pseudofehler
Sortierung:	IO, NIO, Güteprüfmuster auf getrennten Bändern
Teilefolge:	FIFO, chargenrein
Taktzeit:	5 Teile pro Minute
Zuführung:	Umsetzeinheit des Palletierautomaten, automatisiert
Anlagensteuerung:	SPS
Schallschutz:	Geräuschschutzkabine
Betriebsarten:	Automatik, Handarbeitsplatz, Prüfmusterteile Referenzteilmessung
Kalibrierung:	Monatlich
Platzbedarf (L x B x H):	1.000 x 800 x 600 (für Geräuschschutzkabine)
Sonstiges:	Markierung Gut-Teil Sensorische Überwachung von Bändern und Zuführung
Liefertermin:	2008

Tabelle 1: Maschinenparameter und Anlagendaten „Riemenscheibe“



Abbildung 3: Prüfling „Riemenscheibe“

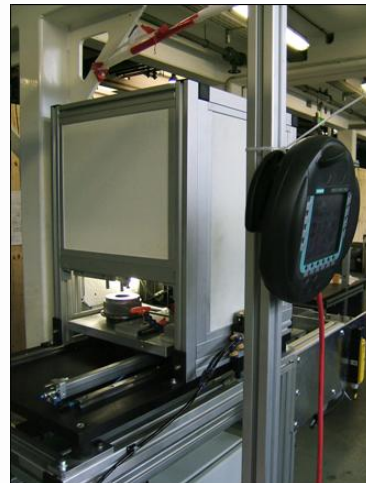


Abbildung 4: Prüfvorrichtung im Überblick
Design&Herstellung: JAM und IDL

Prüfung von Sonderbauformen am Beispiel „Nockenteil“

Schunk Sintermetalltechnik GmbH, Heuchelheim, Deutschland, hat die Prüfung von gesinterten Nockenteilen automatisiert. Verschiedene Maschinenparameter sind in Tabelle 2 angegeben. Abbildung 5 zeigt das zu prüfende Bauteil, gibt einen Überblick zum Prüfnest.

Bauteil:	Nockenteil
Varianten:	1 Ausführung; Umrüstzeit: unter 15 Minuten
Anregungskonzept:	Prallvorrichtung
Prüfnest:	Teilespezifische, wechselbare Führungsschiene
Messregime:	1 Anschlag (Aufprall) pro Bauteil
Sensorik:	Luftschall, 75 kHz Bandbreite
Bewertung:	IO, NIO
Bewertungsgüte:	Sichere Risteilerkennung
Sortierung:	IO, NIO, Güteprüfmuster in getrennten Kammern
Teilefolge:	Chargenrein
Taktzeit:	20 Teile pro Minute
Zuführung:	Stufenförderer, automatisiert, lagerichtig per Schikane, Geräusch gedämmt
Anlagensteuerung:	SPS
Bedienpanel:	Siemens S7-300
Schallschutz:	Schallschutzumhausung
Betriebsarten:	Automatik, Handarbeitsplatz, Prüfmusterteile Referenzteilmessung Leerfahrt
Kalibrierung:	Monatlich
Fernwartung:	Wird unterstützt.
Platzbedarf:	8 m ² (ohne Teilebevorratung, Leergut)
Sonstiges:	Sensorische Überwachung von Bändern und Zuführung Abpackstation
Liefertermin:	2010

Tabelle 2: Maschinenparameter und Anlagendaten „Nockenteil“



Abbildung 5: Prüfling „Nockenteil“



Abbildung 6: Prüfvorrichtung im Überblick. (Design und Herstellung PMT und IDL)

Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, dass ART eine Praxis taugliche Technik für die Qualitätsprüfung von PM-Bauteilen ist. Wesentliche Vorteile der Technik gegenüber wettbewerblichen Techniken sind: Auswertung ausschließlich physikalischer, objektiv prüfbarer Bauteileigenschaften, Prüfung des Gesamtbauteils, kostengünstige Investition, Flexibilität zur Anpassung an neue Aufgaben. Die CrackMaster-Technik zeichnet sich aus durch Einrichten auf der Basis unbewerteter Serienteile und dem Chamäleon-Verfahren (statistische Auswertung des Gut-Teil-Wertebereichs für die Merkmale, Verfügbarkeit von Merkmalen zur Erkennung „kleiner“ Fehler, automatische Adaption bei Drift und Prozesseingriffen). CrackMaster mit Chamäleon sind in der PM-Industrie und darüber hinaus erfolgreich eingeführt.

Literaturhinweise

- [1] Jonuscheit H., Dr. Ernst E.: „Crack Detection Using Acoustic Testing Technique“, Konferenzbeitrag PM2008, Mannheim, Deutschland.
- [2] Jonuscheit H., Dr. Ernst E.: „Quality control measures for automated Acoustic Resonance Testing Systems“, Konferenzbeitrag PM2009, Kopenhagen, Dänemark.

Autoren

Horst Jonuscheit, MEDAV GmbH, Gräfenberger Str. 32-34, D-91080 Uttenreuth

Dr. Eberhard Ernst, GKN Sinter Metals Engineering GmbH, Industrie Str. 1,
D-97764 Bad Brückenau

Roger Kunkel, Schunk Sintermetalltechnik GmbH, Rodheimer Str. 59, D-35452 Heuchelheim

Unsere Ziele



Technologie

... in der Entwicklung und in der Unternehmensführung ist auf dem neuesten Stand und repräsentiert ein hohes Niveau.



Qualität

... in allen Bereichen unseres Unternehmens erachten wir als Voraussetzung für eine risikolose und erfolgreiche Zusammenarbeit mit unseren Kunden und Geschäftspartnern.



Stellung im Markt

... ist geprägt von den Erfahrungen in der Signal- und Informationsverarbeitung. Wir stellen uns gerne dem Wettbewerb.



Leistungsangebot

... ist umfassend, vollständig und bedarfsgerecht. Wir bieten als Systemhaus Standardgeräte, Systeme und Dienstleistungen an.



Mitarbeiter

... bilden die Wurzeln des Unternehmens und erbringen die Leistung, die zur Erhaltung und zum Ausbau der technischen Basis und der vertrauensvollen Zusammenarbeit notwendig ist.



Wachstum

... auf stabiler technischer und wirtschaftlicher Grundlage streben wir im In- und Ausland an.



Vertrauen

... im Verhältnis zu unseren Geschäftspartnern und innerhalb des eigenen Unternehmens ist die Basis für unsere Geschäfte.



Einhaltung

... gesetzlicher Vorschriften und der deutschen und international geltenden Exportkontrollvorschriften sind die Basis für unseren weltweiten Einsatz.

MEDAV GmbH

GRÄFENBERGER STRASSE 32 - 34
D-91080 UTTENREUTH

HOMBURGER PLATZ 3
D-98693 ILMENAU

TELEFON: +49-9131-583-0
FAX: + 49-9131-583-11
E-MAIL: info@medav.de
www.medav.de

w710od.0n4