

Serie Praxiswissen – Folge II-03:

Material-Oberflächenfehlerprüfung mit Wirbelstromprüfsystemen

1. Aufgabenstellung

Zerstörungsfreie Materialprüfsysteme finden vorwiegend zur Bauteil-Qualitätsprüfung in Fertigungsbetrieben, zur Prüfung von Walzwerksprodukten sowie zur Inspektion von Flugzeugen, Kraftwerken oder Chemieanlagen Verwendung. Bauteil-Qualitätsprüfungen können als Stichprobenprüfung oder als 100%-Kontrolle erfolgen. Während zur Stichprobenprüfung sowohl zerstörende als auch zerstörungsfreie Prüfverfahren zum Einsatz kommen scheiden erstere bei der 100%-Prüfung aus. Bei den Materialprüfaufgaben sind die Erkennung von Gefügefehlern, Oberflächenfehlern und Volumenfehlern zu unterscheiden.

Dieser Beitrag konzentriert sich auf die Oberflächenfehlerprüfung im Rahmen einer 100%-Bauteil-Qualitätsprüfung. Ein Schwerpunkt wird dabei auf Wirbelstromprüfsysteme gelegt.

Erkennungsaufgaben der Materialprüfung		
Gefügefehler	Oberflächenfehler	Volumenfehler
<ul style="list-style-type: none"> • Materialverwechslung • Härtung • Härtetiefe • Festigkeit • Gussgefügefehler • Schleifbrand 	<ul style="list-style-type: none"> • Risse an der Oberfläche • Offene Poren • Oberflächennahe Poren 	<ul style="list-style-type: none"> • Lunker • Einschlüsse • Poren • Risse im Inneren • Auflockerungen
Zerstörungsfreie Prüftechnologien		
<ul style="list-style-type: none"> • Magnetinduktive Prüfung • Spez. Ultraschallverfahren 	<ul style="list-style-type: none"> • Wirbelstromprüfung • Magnetpulverprüfung • Eindringverfahren 	<ul style="list-style-type: none"> • Röntgenverfahren • Ultraschallprüfung

Tabelle 1: Häufige Aufgaben und Verfahren der 100%-Materialprüfung in der Serienfertigung

Einsatzgründe der Oberflächenprüfung sind vor allem die Ausfallvermeidung bei sicherheitsrelevanten Bauteilen oder bei hohen wirtschaftlichen Folgen im Schadensfall. Hinzu kommen die Qualitätsprüfung von Dichtflächen, eine Vermeidung von „Schrottveredelung“ als teure Weiterbearbeitung fehlerhafter Bauteile und die Optimierung von Fertigungsprozessen. Die hohen Qualitätsanforderungen der Automobilindustrie sorgen zusätzlich für eine Steigerung der Einsatzfälle.

Rissprüfungen sind insbesondere nach Härtungsprozessen mit einer eventuell anschließenden Feinbearbeitung durch z.B. Schleifen erforderlich. Wälzlagerteile, Befestigungselemente wie Schrauben und Bolzen sowie Automobilkomponenten sind die wichtigsten zu prüfenden Erzeugnisse. Automobilkomponenten sind dabei die größte Gruppe mit Motor- und Getriebeteilen: z.B. Kurbelwellen, Kolben, Nockenwellen, Ventilen und Getriebe-Antriebswellen, sowie mit Fahrwerksteilen: z.B. Lenkungs-Zahnstangen, Achslenkern, Achsschenkel und Bremsscheiben. Das Versagen kleiner aber hochbelasteter Motorenteile wie Kolbenbolzen oder Ventilsitzringe führt zu hohen Folgeschäden. Die meisten Fahrwerksteile sind kritisch für die Fahrzeugsicherheit.

Offene Poren entstehen quasi als aufgeschnittene Gaseinschlüsse nach der spanenden Bearbeitung von Gussteilen. Meistens sind sie unkritisch für die Bauteilfestigkeit. Zu Beschädigungen und Fehlfunktion führen sie jedoch an Funktionsflächen von z.B. Dichtungen oder Lagern. Bohrungen von Hydraulik-Schieberventilen, Zylinderlaufbuchsen von Motorblöcken oder Gleitlagerschalen sind typische Prüflinge.

Oberflächennahe Poren sollen gelegentlich vor einer spanenden Bearbeitung erkannt werden, um die Kosten teurer Fertigungsschritte an fehlerhaften Teilen zu vermeiden. Die aufwendige Bearbeitung von Verbrennungsmotor-Kurbelgehäusen ist ein aktuelles Beispiel.



Prüfungsaufgabe	Beschreibung	Einsatzgründe
Oberflächen-Risse	<ul style="list-style-type: none"> Zur Oberfläche hin offene Risse Meistens Härtungsrisse nach der Wärmebehandlung und ggfs. anschließender Feinbearbeitung z.B. durch Schleifen 	<ul style="list-style-type: none"> Sicherheitsrelevante Bauteile (z.B. Lenkungsteile, Achsteile) Hohes Potential an Folgeschäden und Imageverlust bei Ausfall (z.B. Nockenwellen, Ventile)
Offene Poren	<ul style="list-style-type: none"> Aufgeschnittene Gaseinschlüsse nach spanender Bearbeitung 	<ul style="list-style-type: none"> Funktionsflächen für Dichtungen (z.B. Hydraulikventil-Bohrungen)
Oberflächennahe Poren	<ul style="list-style-type: none"> Gas- oder Fremdmaterialeinschlüsse unmittelbar unter der Oberfläche im Bereich weniger 0,1 mm Insbesondere Bei Gussteilen (z.B. Im Schleuderguss-Verfahren hergestellte Zylinder-Laufbuchsen) 	<ul style="list-style-type: none"> Vermeidung von Schrottveredelung (z.B. vor der Bearbeitung von Kurbelgehäuse-Zylinderlauflächen)

Tabelle 2: Prüfungsaufgaben der Oberflächenfehlerprüfung

2. Verfügbare Lösungstechnologien und Produktklassen

Für die Erkennung von Oberflächenfehlern stehen mehrere Verfahren der zerstörungsfreien Materialprüfung zur Verfügung. Daneben gibt es optische und akustische Lösungsansätze die hier nicht weiter betrachtet werden.

1. Zerstörungsfreie Materialprüfsysteme (Gerätekombination mit Engineering)
<p>Unter Materialprüfsystemen sind hier aufgabenspezifische Gerätekombinationen mit z.B. Prüfsonden, Auswertegeräten und Datenschnittstellen zu verstehen. Hinzu kommen meistens applikationsspezifische Engineeringleistungen durch den Anbieter. Nicht enthalten sind Prüfstandsmechanik und Prüfstandssteuerung.</p>
<p>1.1. Wirbelstrom-Prüfsysteme Das Wirbelstromprinzip erkennt Oberflächenfehler anhand von Unregelmäßigkeiten in induzierten Wirbelströmen. Tastsonden oder Spulen induzieren diese Wirbelströme und messen gleichzeitig die von den Wirbelströmen ausgehenden elektromagnetischen Felder. Die Wirbelstromprüfung ist immer mit einer automatischen Auswertung verbunden und erfordert eine genaue Handhabungstechnik.</p>
2. Zerstörungsfreie Materialprüfzellen (komplette Prüfstände bzw. Prüfmaschinen)
<p>Materialprüfzellen sind komplette manuelle, teilautomatische oder vollautomatische Prüfstände mit Prüftechnik, Mechanik und Steuerung. Bei manuellen Prüfbänken erfolgen Teilehandhabung und Prüfung durch den Bediener: Bei vollautomatischen Prüfständen sind Teilehandhabung, Prüfsonden- oder Prüfmittelhandhabung, Auswertung und oft auch die Verkettung im Materialfluss automatisiert.</p>
<p>2.1. Magnetpulver-Rissprüfbänke Bei der Magnetpulverprüfung werden kleinste Risse durch Magnetisierung und Benetzung mit Magnetpulver für das Auge sichtbar gemacht. Oberflächenrisse führen zu magnetischen Streufeldern mit sichtbaren Ansammlungen von Magnetpulver als Folge. Meistens erfolgt die Prüfung visuell. Eine Automatisierung durch Bildverarbeitung wird von den Herstellern als Option angeboten.</p>
<p>2.2. Eindring-Rissprüfbänke In kleinste Risse eindringende farbliche oder fluoreszierende Flüssigkeiten werden bei diesem Verfahren durch Entwickler für das Auge sichtbar gemacht. Eine gründliche Vorreinigung, eine Zwischenreinigung vor dem Entwicklerauftrag sowie eine Endreinigung sind bei diesem Verfahren notwendig. Die Prüfung erfolgt überwiegend visuell. Auch hier wird eine Automatisierung durch Bildverarbeitung von einzelnen Herstellern angeboten.</p>

Tabelle 3: Lösungstechnologien und Produkte zur Oberflächenfehlerprüfung



3. Auswahl der Lösungstechnologie

Die Verfahrensauswahl entscheidet sich meistens bereits anhand des Werkstoffs des Prüflings und der Geometrie der Prüfflächen. Keramische Werkstoffe können beispielsweise nur mittels des Eindringverfahrens geprüft werden. Für magnetisch leitende Bauteile mit komplexer Geometrie wird bevorzugt auf die Magnetpulverprüfung zurückgegriffen. Zu berücksichtigen sind bei beiden Verfahren der laufende Prüfmittelverbrauch, hoher Personalaufwand und geringe Prüfsicherheit bei visueller Prüfung sowie hohe Aufwendungen für Reinigungsstufen und Prüfmittelaufbereitung insbesondere bei der Eindringprüfung.

Auswahlkriterien	Wirbelstromprüfung	Magnetpulverprüfung	Eindringprüfung
Werkstoff	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrisch leitend • Magnetisch leitend 	<ul style="list-style-type: none"> • Magnetisch leitend 	<ul style="list-style-type: none"> • Metalle • Nichtmetalle
Prüfteilgeometrie	<ul style="list-style-type: none"> • Rotations-symmetrische Innen- und Außenflächen • Zylindrische Außenflächen • Ebene Flächen 	<ul style="list-style-type: none"> • Auch komplexe Geometrien 	<ul style="list-style-type: none"> • Auch komplexe Geometrien
Fehlerauflösung	<ul style="list-style-type: none"> • Hoch 	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr hoch 	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr hoch
Automatisierungsgrad der Auswertung	<ul style="list-style-type: none"> • Immer automatisch 	<ul style="list-style-type: none"> • Überwiegend manuell • Automatisierung mit Bildverarbeitung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Überwiegend manuell • Automatisierung mit Bildverarbeitung möglich
Dokumentierbarkeit der Prüfergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> • Immer möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Bedingt möglich; nur bei Auswertung mit Bildverarbeitung 	<ul style="list-style-type: none"> • Bedingt möglich; nur bei Auswertung mit Bildverarbeitung
Verbrauchsstoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Keine 	<ul style="list-style-type: none"> • Magnetpulver • Reinigungsmittel 	<ul style="list-style-type: none"> • Eindringmittel • Entwickler • Reinigungsmittel

Tabelle 3: Auswahlkriterien für Lösungstechnologien zur Oberflächenfehlerprüfung

Bei geometrisch einfachen Prüfflächen, z.B. rotationssymmetrischen Außen- oder Innenflächen, und elektrisch leitendem Material bietet sich die Wirbelstromprüfung an. Zwar können mit Hilfe von genauen Industrierobotern auch komplexe Oberflächen z.B. von Flugzeugturbinenrotoren abgetastet werden, doch sind derartige Einsatzfälle angesichts hoher Taktzeiten und Kosten eher Ausnahmefälle. Besonders bei hohen Automatisierungs- und Dokumentationsanforderungen kommen die Vorteile des Verfahrens zur Geltung.

Beim Wirbelstromverfahren wird die Oberfläche meistens durch aufgabenspezifisch angepassten Tastsonden abgetastet. Bei rotationssymmetrischen Prüfflächen werden entweder Tastsonde oder Prüfling rotiert. Spezielle Rotiersonden werden zu diesem Zweck angeboten. Stabstahl und Profile hingegen werden mit angepassten Messspulen geprüft. Die Erkennung von Längsrissen erfolgt mit umlaufenden Rotoren.

Die größte Unsicherheit besteht häufig bei der zu erkennenden Fehlergröße. Eine absolute Fehlerfreiheit gibt es nicht, und auf die Frage nach der Größe ab welcher von einer Oberflächenstörung eine Gefahr ausgeht weiß kaum ein Anwender eine Antwort. Fehler die sich von Oberflächenrauhigkeit und Oberflächenstruktur nicht deutlich abheben können prinzipbedingt nicht erkannt werden. In der Praxis sind mit dem Wirbelstromprinzip Risse ab 100 µm Tiefe auf geschliffenen Oberflächen zuverlässig zu erkennen. Dieses gilt für die meisten Anwendungen als ausreichend.



4. Anforderungsparameter und Produktauswahl

Bei der Lastenhefterstellung und Produktauswahl sind insbesondere folgende Spezifikationsparameter zu berücksichtigen:

Anforderungsparameter	Definition/ Einfluss/ typische Werte
Elektrische oder magnetische Leitfähigkeit	Zwingende Einsatzvoraussetzung ist eine elektrische oder magnetische Leitfähigkeit des Prüflings. Nur in elektrisch leitenden Bauteilen können Wirbelströme entstehen. Bei magnetisch leitenden Bauteilen können nach Anlegung eines Magnetfeldes Streuflüsse an Oberflächenfehlern beim Abtasten erkannt werden. Keramik- oder Kunststoffteile sind nicht prüfbar.
Rissorientierung	Es wird zwischen Längsrissen und Querrissen unterschieden entsprechend ihrer relativen Lage zur Abtastbewegung. Erkannt werden Risse quer zur Orientierung von Tastsonden oder Prüfspulen. Sollen Quer- und Längsrisse gleichzeitig erkannt werden sind meistens 2 unabhängige Prüfkanäle für Tastsonden unterschiedlicher Einbaurichtung erforderlich. Bei Langmaterial wird zusätzlich ein Rotor für umlaufende Sensoren benötigt.
Rissslänge	Kleinste Länge der zu erkennenden Risse. Um nicht zwischen den einzelnen Abtastspuren unerkannt zu bleiben, sollten die Risse länger als 2 mm sein. Normalerweise ist die Rissslänge unkritisch.
Risstiefe	Ab dieser Tiefe muss ein Riss zuverlässig als Oberflächenfehler erkannt werden. Physikalisch können Risse ab 50-100µm bei geringer Oberflächenrauigkeit erkannt werden. Für die meisten Bauteile ist eine Risstiefe von 300 µm ausreichend, 100 µm wird für z.B. Lagerteile oder Motorventile gefordert.
Oberflächenrauigkeit	Die Oberflächenrauigkeit der Prüflfläche begrenzt die erkennbare Risstiefe. Als Faustregel darf die Rauigkeit maximal ein Drittel der zu erkennenden Risstiefe betragen. Geschliffene Oberflächen haben eine typische Rauigkeit von ca. 30 µm.
Anzahl Prüfkanäle	Anzahl von Anschlüssen für gleichzeitig auswertbare Prüfsonden mit eigener Signalvorverarbeitung. Die Anzahl von Auswertemodulen mit ihrer hochwertigen Filterelektronik ist ein wesentlicher Kostentreiber des Geräts. Mehrere Kanäle werden benötigt für unterschiedliche zu erkennende Fehlerarten, unterschiedliche Rissorientierungen, unterschiedliche Prüforte bei denen die Prüfsonde nicht verfahren oder umgeschaltet werden kann sowie große Prüflflächen bei begrenzter Taktzeit.
Auflösung offener Poren	Kleinster Durchmesser ab dem offene Poren erkannt werden müssen. Sehr hohe Auflösungen gehen zu Lasten der Prüfgeschwindigkeit aufgrund geringerer Abtastgeschwindigkeiten und Spurbreiten. Für eine sichere Erkennung sollten Poren einen Durchmesser von mindestens 0,5-1,0 mm aufweisen bei einer Porentiefe von mindestens 0,5 mm.
Tiefe oberflächennaher Poren	Maximale Restwandstärke zwischen verdeckten Poren und Werkstückoberfläche. Die Eindringtiefe von Wirbelstromprüfsystemen ist auf wenige 0,1 mm begrenzt. Realistisch zu erkennen sind nur große Poren in Aluminium, bei ferromagnetischem Material ist die Eindringtiefe sehr gering. Restwandstärken kleiner 0,5 mm bei Porendurchmessern größer 1 mm sind ungefähre Grenzwerte einer Erkennbarkeit.
Auflösung oberflächennaher Poren	Kleinster Durchmesser zu erkennender oberflächennaher Poren. Die Fehlerauflösung von Wirbelstromprüfsystemen sinkt mit zunehmender Eindringtiefe. Als Faustregel sollte der zu erkennende Porendurchmesser mindestens die 2-3-fache Restwandstärke betragen.
Prüfzykluszeit	Zeitdauer welche für den Prüfzyklus zur Verfügung steht. Meistens ist die Prüfzeit unkritisch da die Handhabungstechnik für die Gesamttaktzeit begrenzend ist. Problematisch ist allenfalls die Abtastung sehr umfangreicher und langer Prüflflächen mit hoher Auflösung, dann sind eventuell mehrere Prüfkanäle gleichzeitig einzusetzen. Die meisten Prüfergebnisse sind innerhalb von 1-3 Sekunden verfügbar. Bei Kleinteilen wie Wälzkörpern werden Taktzeiten von bis zu 0,1 Sekunden erreicht.

Tabelle 4: Anforderungsparameter für Spezifikation und Produktauswahl von Wirbelstromprüfsystemen

Die oben genannten Anforderungsparameter sind eher verfahrensspezifisch als gerätespezifisch und dienen den Anbietern zur aufgabenspezifischen Lösungsdimensionierung. Unterschiede unter den Anbietern gibt es beim Schwerpunkt der Anwendungserfahrung sowie bei den „inneren Werten“ der Geräte.

Unterschiede bei den inneren Werten der Geräte aber auch im Preis gibt es vor allem bei der Filtertechnik. So bestimmt die Tiefpassfiltergrenze die maximal auswertbare Frequenz des Fehlersignals und damit die maximale Abtastgeschwindigkeit. Je höher die Tiefpassfiltergrenze desto höher sind Leistungsfähigkeit und Preis. Auf der anderen Seite ist die Steilheit des Hochpassfilters verantwortlich für eine scharfe Trennung zwischen dem Nutzsignal der Messung und Störsignalen.



5. Inhalte im Such- und Spezifikationswerkzeug xpertgate

In dem gebührenfreien Such- und Spezifikationswerkzeug www.xpertgate.de finden Sie zu diesem Thema:

- Produktsuchen zur Produktauswahl über die oben beschriebenen Anforderungsparameter
- Lösungssuchen zur Kennzeichnungsverifizierung, Fehlerrückverfolgung und Variantenfertigungssteuerung
- Eine Lieferantenübersicht der am deutschen Markt vertretenen Anbieter zu den oben beschriebenen Produktklassen
- Applikationsbeispiele

