

Kurzzusammenfassung zum Thema

Werkstoffverwechslungsprüfungen

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	2
1.1 Definition Werkstoffverwechslungsprüfung	2
1.2 Warum Werkstoffverwechslungsprüfung?	2
1.3 Voraussetzungen bei der Werkstoffverwechslungsprüfung?	2
2. Methoden zur Prüfung auf Werkstoffverwechslung	3
2.1 Prüfungen / Kontrollen ohne quantifizierte Aussage	3
2.1.1 Visuelle Kontrolle der Werkstoffkennzeichnung	3
2.1.2 Kontrolle der magnetischen Eigenschaften	3
2.1.3 Kontrolle der chemischen Beständigkeit	3
2.1.4 Härteprüfung	4
2.1.5 Funkenprobe	4
2.1.6 Spanprobe	5
2.1.7 Kontrolle der elektrischen Leitfähigkeit oder Permeabilität mittels Wirbelstromverfahren (bei Serienprüfung)	5
2.2 Prüfungen mit quantifizierter Aussage zu den Legierungselementen.....	6
2.2.1 Prüfung mittels Funkenspektroskopie	6
2.2.1 Prüfung mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)	7
3. Qualifikation vom Prüfpersonal	8
4. Dokumentation bei der Werkstoffverwechslungsprüfung	8

1. Einleitung

1.1 Definition Werkstoffverwechslungsprüfung

Unter Werkstoffverwechslungsprüfung versteht man den effektiven Einsatz geeigneter Methoden um eine Verwechslung von Werkstoffen festzustellen bzw. den geforderten Werkstoff zu bestätigen.

Die Werkstoffverwechslungsprüfung wird auch kurz **PMI (Positiv Material Identification)** genannt.

In den allgemeinen Regelwerken gibt es keine Festlegungen, wie ein PMI erfolgen soll. Bei der Werkstoffverwechslungsprüfung kann immer nur eine Aussage für die Werkstoffoberfläche gemacht werden. Eine Aussage zum Grundwerkstoff z. B. an beschichteten Bauteilen oder zum Schweißzusatzwerkstoff in einer Zwischenlage, ist nicht möglich.

1.2 Warum Werkstoffverwechslungsprüfung?

Mit der Prüfung auf Werkstoffverwechslung soll weitgehend sichergestellt werden, dass bei der Anlieferung von metallischen Werkstoffen, bei der Lagerung und bei der weiteren Verarbeitung eine Verwechslung von Werkstoffen ausgeschlossen wird.

Langjährige praktische Erfahrungen im Apparate- und Rohrleitungsbau sowie bei der Wareneingangsprüfung, bestärkt die Auffassung, dass eine Gutgläubigkeit in Materialzertifikate und an Werkstoffkennzeichnungen schwerwiegende Folgen haben kann. Denn immer wieder kommt es bei der Anlieferungen, der Lagerung und der weiteren Verarbeitung von metallischen Werkstoffen, zu Werkstoffverwechslungen.

Mit den in AD2000 Reihe HP 5/3 geforderten zerstörungsfreien Prüfungen wie Durchstrahlungsprüfung, Ultraschallprüfung, Magnetpulverrissprüfung, Farbeindringprüfung und der visuellen Prüfung kann nicht festgestellt werden, ob ein falscher Werkstoff bzw. ein falscher Schweißzusatzwerkstoff verwendet wurde.

Die zuvor genannten Prüfungen machen deshalb erst Sinn, wenn rechtzeitig eine geeignete Prüfung auf Werkstoffverwechslung erfolgt.

1.3 Voraussetzungen bei der Werkstoffverwechslungsprüfung?

Für die Werkstoffverwechslungsprüfung ist es grundsätzlich erforderlich, dass die zu prüfenden Werkstoffoberflächen sauber sind. Sie müssen frei von Belägen, Zunder oder anderen Schichten sein. Auch alle anderen Einflüsse, die das Analyseergebnis beeinträchtigen können müssen vermieden werden.

Mögliche äußere störende Einflüsse können z. B. sein:

- starker Wind, der den Funken bei der Funkenspektroskopie verweht
- Staub und Schmutz, die die Optik bei der Funkenspektroskopie beeinträchtigen
- zusätzliche Röntgenstrahlung, kann die Röntgenfluoreszenzanalyse beeinträchtigen

2. Methoden zur Prüfung auf Werkstoffverwechslung

Bei der Prüfung bzw. Kontrolle auf Werkstoffverwechslung, kann in zwei Gruppen unterschieden werden:

- Prüfungen / Kontrollen, bei denen **keine quantifizierte Aussage** zu den Legierungselementen gemacht werden kann
- Prüfungen bei denen eine **quantifizierte Aussage** zu den Legierungselementen gemacht werden kann

2.1 Prüfungen / Kontrollen ohne quantifizierte Aussage

Die nicht quantifizierbaren Prüfungen sind Prüfverfahren bzw. Kontrollen, mit denen keine quantifizierte Aussage zu den Werkstoffelementen gemacht werden können. Es werden keine Werkstoffanalysen durchgeführt. Diese Prüfverfahren bzw. Kontrollen können aber trotzdem einen Hinweis zu einem falschen Werkstoff geben.

2.1.1 Visuelle Kontrolle der Werkstoffkennzeichnung

Mit der visuellen Kontrolle der Werkstoffkennzeichnung kann zwar keine Aussage zur Werkstoffqualität erfolgen, eine falsche bzw. fehlende Werkstoffkennzeichnung wird jedoch festgestellt. So kann rechtzeitig eine weitere geeignete Prüfung eingeleitet werden.

2.1.2 Kontrolle der magnetischen Eigenschaften

Mit einem Dauermagnet, kann festgestellt werden, ob ein Werkstoff ferromagnetisch ist oder nicht. Durch das magnetische Verhalten können z. B. ferritische und austenitische Werkstoffe grob unterschieden werden (**Achtung!** Durch Kaltverfestigung können auch Austenite ferromagnetisch werden). Obwohl die Elemente Eisen, Kobalt und Nickel ferromagnetische Stoffe sind, sind **austenitische Cr-Ni-Stähle** in der Regel bei Raumtemperatur **nicht magnetisch**. Das Eisen, als Hauptbestandteil einer austenitischen Legierung bei Raumtemperatur i. d. R. *nicht* ferromagnetisch ist, liegt daran, dass austenitische Stähle überwiegend ein kubisch flächenzentriertes Gefüge haben.

Wird an austenitischen Bauteilen unterschiedliches magnetisches Verhalten festgestellt, so kann dies z. B. ein Hinweis auf unterschiedliche Spannungszustände sein. So können z. B. an austenitischen Bauteilen auch überdrehte Schweißnähte gefunden werden.

2.1.3 Kontrolle der chemischen Beständigkeit

In Abhängigkeit von den Legierungselementen sind Werkstoffe gegen entsprechende Säuren chemisch beständig. Mit einer Säure- Tüpfelproben kann an der Werkstoffoberfläche das Reaktionsverhalten von Werkstoffen bewertet werden.

Hier möchte ich aus vielen Möglichkeiten nur zwei Beispiele nennen:

- Mit der **45%igen Salpetersäure** wird die blanke saubere Oberfläche von einem Werkstoff benetzt. Ist dabei **keine Reaktion** zu erkennen, dann ist der Nachweis erbracht, dass der Werkstoff mit **mindestens 5 % Chrom** legiert ist. Ist jedoch eine Reaktion in Form von köcheln und Verfärbung der Säure zu erkennen, dann ist der Werkstoff mit weniger als 5 % Chrom legiert. Wie viel, oder ob überhaupt Chrom zulegiert ist kann in diesem Fall nicht ausgesagt werden.
- Mit der **Molybdänreagenz** (eine gelbe Flüssigkeit bestehend aus Salzsäure und Salpetersäure), wird die blanke saubere Oberfläche von einem Cr-Ni-(Mo)-Stahl benetzt. Ist nach 5 Minuten **keine Reaktion** zu erkennen, dann ist der Nachweis erbracht, dass der Werkstoff **< 0,15% Molybdän** hat. Verfärbt sich die gelbe Flüssigkeit jedoch ins bräunlich-schwarze, dann ist der Werkstoff mit Molybdän legiert. Wie viel Molybdän zulegiert ist, kann nicht festgestellt werden.

2.1.4 Härteprüfung

An unlegierten und niedrig legierten Werkstoffen kann mittels einer Härteprüfung eine Aussage zur Zugfestigkeit gemacht werden. Annäherungsweise gilt 3,3- mal Härte in HBW ist die Zugfestigkeit R_m . So kann die Härteprüfung auch zur Prüfung auf Werkstoffverwechslung genutzt werden.

2.1.5 Funkenprobe

Auch die Funkenprobe kann bei Stählen bedingt zur Werkstoffverwechslungsprüfung genutzt werden.

Hält man eine Stahlprobe an einen rotierenden Schleifstein, so reißt der Stein kleine Partikel des Stahls ab und erhitzt diese dabei bis zur Schmelztemperatur. Bei den fortgeschleuderten glühenden Teilchen kann man je nach Werkstoff einen kürzeren oder längeren, zusammenhängenden oder unterbrochenen Strahl (Hauptstrahl) erkennen. Mehrere dieser Strahlen bilden zusammen eine Funkengarbe. Bei diesen hohen Temperaturen verbrennt das Eisen und die Eisenbegleiter, besonders Kohlenstoff, Silizium und Mangan an der Luft. Da das Oxydationsprodukt des Kohlenstoffs CO bzw. CO_2 ein Gas darstellt, zerspringen diese kleinen Teilchen in einem bestimmten Abstand vom Schleifstein unter verschiedenen explosionsartigen Erscheinungen. Die Häufigkeit dieses Zerplatzens und die Form des entstehenden Strahlenbildes (Funkengarbe) lassen Rückschlüsse auf den Werkstoff zu. Man unterscheidet zwischen stachelige, blumige, keulen-, tropfen- und lanzenähnliche Formen. Ausführlichere Beschreibung der Funkenbilder siehe Europa Tabellenbuch Metall. Mit der Funkenprobe kann man unbekannte Werkstoffproben z. B. mit der geforderten bekannten Werkstoffprobe vergleichen. Ergibt sich dabei das gleiche Funkenbild, so kann man davon ausgehen, dass es sich in etwa um den gleichen Werkstoff handelt. Gerade bei Vergleichsproben ist darauf zu achten, dass man beim Schleifen den gleichen Anpressdruck ausübt.

Damit die Funkenbilder gut zu erkennen sind ist es vorteilhaft die Funkenprobe in abgedunkelten Räumen durchzuführen. Einfluss auf das Funkenbild haben auch die Körnung und die Umfangsgeschwindigkeit des Schleifsteins, sowie der angemessene gleichmäßige Anpressdruck der Probe auf den Schleifstein. Die Probe muss ausreichend Dick sein (> 10 mm).

Durch das Schleifen an der zu prüfenden Probe, wird diese leicht beschädigt. Deshalb sollte man den Bereich, an dem geschliffen wird, so auswählen, dass eine anschließende Weiterverwendung der Probe gewährleistet ist.



Beispiele von Funkenbilder und ihre Werkstoffzuordnung (Quelle Europa Tabellenbuch Metall)

2.1.6 Spanprobe

Mit Hammer und Meißel wird an einem ferromagnetischen Werkstoff ein Span entnommen. Wenn der Span gleich spröde bricht, dann ist der Werkstoff eher kein Stahl, sondern eher Gusseisen. Lässt sich aber ein deutlicher Span entnehmen, dann ist der Werkstoff duktil, also ein Stahl.

2.1.7 Kontrolle der elektrischen Leitfähigkeit oder Permeabilität mittels Wirbelstromverfahren (bei Serienprüfung)

Das Wirbelstromverfahren kann für alle Werkstoffe eingesetzt werden, die eine elektrische bzw. magnetische Leitfähigkeit (Permeabilität) besitzen. Dies sind alle metallischen Werkstoffe.

Beim Wirbelstromverfahren wird der Effekt ausgenutzt, dass die meisten Verunreinigungen, Beschädigungen und **Gefügeänderungen** in einer elektrisch leitfähigen Prüfprobe, eine **andere elektrische Leitfähigkeit** oder eine **andere Permeabilität** haben als die Referenzprobe.

An einer Sendespule wird ein Wechselstrom angelegt, die dann ein Magnetfeld induziert. Nähert sich ein leitendes Prüfteil der mit Strom durchflossenen Spule, so wird im Prüfteil ein Wirbelstrom induziert. Die Größe des Wirbelstroms hängt von der Zusammensetzung (Legierung) und dem Gefügestand ab. Durch Prüfen einer bekannten Referenzprobe mit verschiedenen Wirbelstromfrequenz (meist 8 Frequenzen) erhält man im Spulensystem einen elektronischen Fingerabdruck vom Gefügestand dieser Probe. Dieser Fingerabdruck wird mit der integrierten Empfängerspule vom Gerät empfangen, ausgewertet und gespeichert. Ändert sich bei der Prüfung an anderen Prüfteilen der Gefügestand, die Legierung oder der Wärmebehandlungszustand, so verändert sich auch das Wirbelstromsignal. Diese Veränderung wird vom Prüfgerät erkannt und angezeigt.

Das Wirbelstromverfahren ist kein absolutes, sondern ein vergleichendes Verfahren. Das Ergebnis wird als Ja/Nein- Aussage angezeigt, ein Messwert wird nicht ermittelt. Bei der Prüfung wird das Material bzw. deren Oberfläche nicht verändert, deshalb ist es ein zerstörungsfreies Prüfverfahren.

Es wird hauptsächlich bei der Serienprüfung angewandt. Durch die Verwendung mehrerer Frequenzen werden Unterschiede zur Referenzprobe gut erkannt, und der Durchsatz bei der Serienprüfung ist sehr hoch. Je nach Art der Überprüfung, der Größe und Geometrie der Teile sowie der erforderlichen Genauigkeit, sind bis zu ca. zehn Teile pro Sekunde prüfbar. Allerdings muss bei einem zweifelhaften Ergebnis mit diesem Prüfverfahren, eine Kontrolle z. B mit Spektralanalyse erfolgen.



Gefügeprüfgerät WGP AVF 01 „LAW-NDT“
Quelle: LAW-NDT Mess- und Prüfsysteme GmbH



Prüfgerät WLP 4900 „LAW-NDT“

2.2 Prüfungen mit quantifizierter Aussage zu den Legierungselementen

Die quantifizierbaren Prüfungen sind Prüfverfahren, mit denen eine quantifizierte Aussage zu den Werkstoffelementen gemacht werden kann. Hier werden mit verschiedenen Verfahren Werkstoffanalysen durchgeführt. Diese Analysegeräte zeigen nach der Analyse meistens einen Werkstoff im Display an, der mit den festgestellten Legierungselementen übereinstimmt. Da bei der Analyse aber nicht alle Legierungselemente festgestellt werden können und die Analysegeräte z. B. nicht zwischen DIN und ASTM Werkstoffe unterscheiden, sollte man diesen Werkstoffvorschlag ignorieren. Bei der Prüfung müssen grundsätzlich die einzelnen Legierungselemente bewertet werden. Es macht auch Sinn, dass man den Wert von der Basis, z. B. Fe- Gehalt oder ggf. den Ni- Gehalt, bewertet. In Summe sollten die Elemente ca. 100% ergeben. Die Analysegeräte müssen den erforderlichen Wartungsbestimmungen entsprechen. Die Analysegeräte müssen in angemessenen Zeitabständen an Werkstoffproben mit bekannter Analyse überprüft werden.

2.2.1 Prüfung mittels Funkenspektroskopie

Die portablen und mobilen Funkenspektroskope arbeiten nach dem Prinzip der optischen Emissionsspektrometrie. Mit der Probensonde werden durch eine Bogen- oder Funkenentladung Teile von einem leitfähigen Probenmaterial verdampft und die freigesetzten Atome und Ionen zur Emission von Strahlung angeregt.

Über einen Lichtleiter wird die emittierte Strahlung an das optische System geleitet, wo sie in einzelne spektrale Komponenten zerlegt wird. Von den zahlreichen Wellenlängen, die jedes in der Probe enthaltene Element typischerweise emittiert, wird die für die jeweilige Applikation am besten geeignete Spektrallinie mit Hilfe eines CCD- Detektors gemessen. Die Strahlungsintensität, die sich weitgehend proportional zur Konzentration des Elements in der Probe verhält, wird intern weiterverarbeitet und mit im Gerät gespeicherten Kalibrationsdaten verglichen. Die Ergebnisse können anschließend direkt als Konzentrationswerte in Prozent auf dem Bildschirm und weiteren Ausgabegeräten zur Verfügung gestellt werden.

Je nach Prüfmodus können die Elemente **C, Si, Mn, Cr, Ni, Mo, Cu, Co, Al, Nb, Ti, V, W, Zr, Pb und Fe** bestimmt werden. Nur im Modus Funkenentladung und unter Argonspülung (atmosphärische Gase müssen ausgeschlossen sein) kann im Probenmaterial der Kohlenstoffgehalt bestimmt werden.

Vor der Prüfung muss in Abhängigkeit vom zu prüfenden Werkstoff, erst das passende Prüfprogramm angewählt werden.

Die Probenoberfläche muss für die Prüfung sauber sein. Die Elektrode muss vor und zwischen den einzelnen Prüfungen mit einer geeigneten Bürste gereinigt werden.

Durch das Abfunken entsteht am Prüfstück ein Brennfleck. Deshalb wird das Prüfverfahren nur als quasi-zerstörungsfreies Prüfverfahren angesehen.

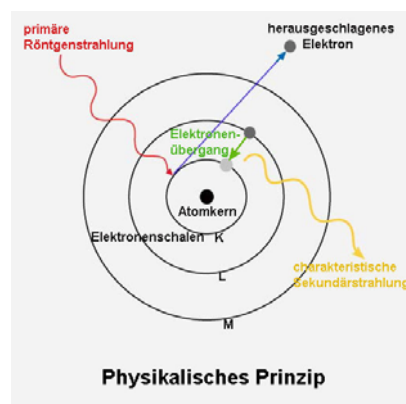
Bei der Prüfung mit Funkenanregung unter Argonenschutz beträgt die Einbrenntiefe ca. 0,05 mm und mit Bogenanregung unter Luft ca. 0,1 mm.

Deshalb sind beim Abfunken speziell im Bogenprogramm bei bestimmten Werkstoffen **Mikrorisse** nicht auszuschließen.

Die Funkstellen sind ggf. nach der Prüfung in geeigneter Weise zu entfernen.

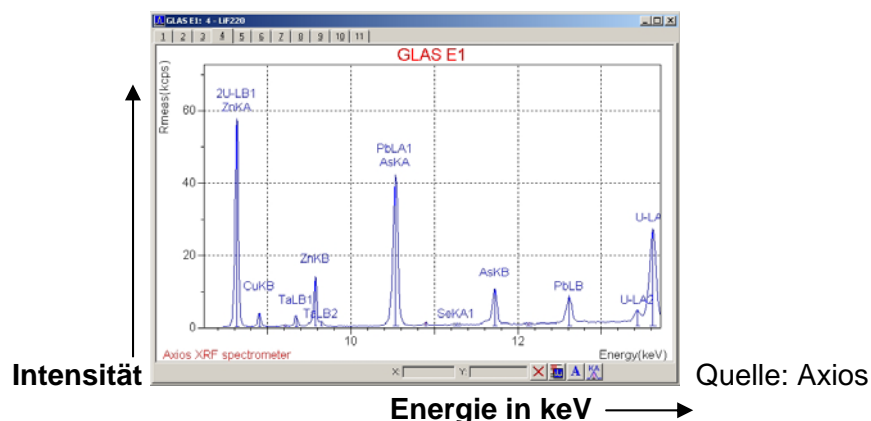
2.2.1 Prüfung mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)

Bei der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) wird die Technik der **Fluoreszenzspektroskopie** auf Röntgenstrahlung angewendet. Die Materialprobe wird dabei entweder durch polychromatische Röntgenstrahlung, Gamma- oder Ionenstrahlung angeregt. Dabei werden kernnahe Elektronen von inneren Schalen des Atoms herausgeschlagen. Dadurch können Elektronen aus höheren Energieniveaus auf die freien Stellen zurückfallen. Die dabei freiwerdende Energie wird in Form von elementspezifischer Fluoreszenzstrahlung abgegeben. Jede Atomart **emittiert und absorbiert** bei der gleichen Wellenlänge. Diese Fluoreszenzstrahlung kann von einem Strahlungsdetektor ausgewertet werden. Die Intensität der Röntgenstrahlung ist ein Maß für die quantitative Konzentration der Elemente. Die Röntgenfluoreszenzanalyse ermöglicht eine qualitative und quantitative Bestimmung aller Elemente **ab Ordnungszahl $Z = 9$ (Fluor)** in den unterschiedlichsten Zusammensetzungen. Die **Nachweisbarkeit nimmt mit steigender Ordnungszahl zu**. Deshalb sind Schwermetallen, die eine hohe Ordnungszahl haben, gut nachweisbar. Das für Stahl wichtige Legierungselement **Kohlenstoff kann jedoch nicht nachgewiesen werden**.



Quelle: Wikipedia

Die Energieauflösung beschreibt die Trennschärfe zweier spektraler Peaks. Die **Auflösung** von einem **mobilen RFA** (energiedispersives **EDXRFA**- System) liegt bei **ca. 120 eV**. Die EDXRFA sind klein in der Bauweise und benötigen nur **kurze Messzeiten**. Die Auflösung von einem stationären RFA (wellenlängendispersives **WDXRF**- Systems) hängt vom Detektorkristall und dem Design der Optik ab. Es können Auflösungen von **20 eV bis 5 eV** erreicht werden. Damit ist ein **WDXRF**- System deutlich **genauer**, so dass auch nahe beieinander liegende Peaks noch getrennt werden können. Allerdings sind die hochgenauen Kristalle und Optiken **teuer** und fehleranfällig. Zudem erfordern **WDXRF**- Systeme deutlich **längere Messzeiten**.



Quelle: Axios

Die Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) ist ein zerstörungsfreies Prüfverfahren.

3. Qualifikation vom Prüfpersonal

Für die Werkstoffverwechslungsprüfung gibt es zurzeit noch keine allgemeine Ausbildung. Es werden nur Einweisungen durch die Gerätehersteller angeboten. Nur eine Qualifikation zur Bedienung von einem Analysegerät, ist nicht ausreichend. Um eine qualifizierte Werkstoffverwechslungsprüfung durchführen zu können, muss das Prüfpersonal wie folgt qualifiziert sein:

- gute Kenntnisse von dem eingesetzten Verfahren. Das heißt, es muss das Prüfprinzip sowie die Einsatzgrenzen des Verfahrens kennen
- gute Kenntnisse von den beim Betreiber eingesetzten Rohrklassen, deren Werkstoffe und den Schweißzusatzwerkstoffen. Das heißt, es muss wissen mit welche Werkstoffen verwechselt werden kann
- eine umfassende Einweisung für das eingesetzte Prüfgerät
- die Bedienungsanleitung für das eingesetzte Prüfgerät muss bekannt sein
- die mechanischen, die chemischen und die magnetischen Eigenschaften vom Prüfobjekt müssen bekannt sein. Das heißt, es muss wissen, welche chemische Elemente gesucht werden und nach welchen aufgelöst werden kann

4. Dokumentation bei der Werkstoffverwechslungsprüfung

Wenn die Dokumentation z. B. **per Stempel** auf einer Isometrie oder Zeichnung erfolgt, dann müssen folgende Angaben darauf enthalten sein:

- PMI Stempel
- Prüfgerät / Prüfprinzip
- Werkstoff und ggf. Schweißzusatzwerkstoff
- Prüfumfang
- Prüfer, Prüfdatum und Unterschrift des Prüfers

Wenn die Dokumentation **in einem Protokoll** erfolgt, dann sind im Protokoll grundsätzlich folgende Angaben erforderlich (siehe auch evtl. Forderungen in Prüfanweisung):

- Prüfobjekt, Abmessung, Werkstoff, Grundwerkstoff, Schweißnaht, Oberflächenzustand
- Prüfgerät / Prüfprinzip
- Prüfumfang
- Prüfergebnis¹⁾, Prüfer, Prüfdatum und Unterschrift

¹⁾ Das Prüfergebnis kann mit nur „**erfüllt**“, oder auch mit den „**quantifizierten Elementsangaben**“ die geprüft wurden, bewertet werden.