

Karlheinz Schiebold

Zerstörende Werkstoffprüfung

Metallographische Werkstoffprüfung
und Dokumentation der Prüfergebnisse

Zerstörende Werkstoffprüfung

Karlheinz Schiebold

Zerstörende Werkstoffprüfung

Metallographische Werkstoffprüfung und
Dokumentation der Prüfergebnisse

Ein Lehr- und Arbeitsbuch mit
67 Abbildungen und 14 Tabellen

 Springer Vieweg

Karlheinz Schiebold
Mülheim a.d.R., Deutschland

ISBN 978-3-662-57802-5
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-57803-2>

ISBN 978-3-662-57803-2 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2018

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Lektorat: Thomas Zipsner

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany



Dem Andenken meines Vaters

Prof. Dr.-phil. ERNST SCHIEBOLD

(1894 – 1963)

In dankbarer Verehrung gewidmet

Karlheinz Schiebold

Vorwort

Vor ca. 100 Jahren begann die wissenschaftliche Metallographie ihren Einzug in die Technik der Materialprüfung. H. C. Sorby, A. Martens und E. Heyn können als Wegbereiter der Metallographie gelten, weil sie erstmalig metallographische Metallschliffe herstellten und fotografierten [1]. Die Erkenntnisse über die Metalle und Legierungen wuchsen danach durch zahlreiche Forscher und begründeten die Metallkunde. Darin eingebettet war die Metallographie, die sich mit dem Zusammenhang zwischen den Zustandsdiagrammen, dem Gefügeaufbau und den Eigenschaften der Metalle und Legierungen befasst [1].

Die seitdem schnelle Entwicklung der Mikroskopie und der technische Fortschritt bei den Präparationstechniken trugen dazu bei, das Gefüge von z. B. Eisen und Stahl in immer besserer Qualität darstellen und dokumentieren zu können [2].

In der vom Verfasser veröffentlichten Buchreihe bildet das Buch über die metallographische Werkstoffprüfung nach den Büchern der zerstörenden Werkstoffprüfung „Chemisch analytische Werkstoffprüfung“ und „Mechanisch-technologische Werkstoffprüfung“ den Abschluss über die wichtigsten Prüfverfahren. Deshalb enthält dieses Buch auch eine Dokumentation der Prüfergebnisse, da alle beschriebenen Prüfverfahren diesbezüglich dargestellt werden müssen. Eine solche Dokumentation muss aber zwangsläufig mit dem Kapitel „Prüfbescheinigungen“ abgerundet werden, da diese unbedingt zur Darstellung der Prüfergebnisse im Produktionsprozess der Erzeugnisse gehören.

Dieses Buch soll insbesondere dem Vater des Autors, Prof. Dr.-phil. Ernst Schiebold gewidmet sein, einem Pionier der Werkstoffprüfung, dessen Aktivitäten zur Entwicklung der Werkstofftechnik Anfang der 30er Jahre des 20. Jahrhunderts erstmals an die Öffentlichkeit kamen und der aus seiner Zeit in der damaligen Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft u. a. auch zur Entstehung der Gesellschaft zur Förderung Zerstörungsfreier Prüfverfahren und damit zur Gründung der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP) beigetragen hat. Später war er als Direktor des Amtes für Material- und Warenprüfung (DAMW) in Magdeburg tätig.

Von 1953 bis 1963 hat Prof. Ernst Schiebold als ordentlicher Professor und Direktor des Instituts für Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung an der Technischen Hochschule Magdeburg (heute Otto-von-Guericke Universität) in kurzer Zeit eine über die Landesgrenzen hinaus bekannte wissenschaftliche Schule mit dem Schwerpunkt Zerstörungsfreie Prüfung aufgebaut. Aus ihr ging auch sein Sohn Karlheinz hervor, der 1963 sein Studium der Werkstoffkunde und -prüfung abgeschlossen hat. Da zum damaligen Zeitpunkt keine Planstelle am Institut frei war, ging er in die Industrie und begann sein erstes Arbeitsleben im damaligen VEB Schwermaschinenbau Kombinat Ernst Thälmann Magdeburg (später SKET SMS GmbH), wo er in der komplexen Werkstoffprüfung über 28 Jahre tätig war.

Dort begann die Laufbahn von Karlheinz Schiebold als Gruppenleiter für Ultraschallprüfung und später als Abteilungsleiter für die Zerstörungsfreie (ZfP) und Zerstörende (ZP) Werkstoffprüfung sowie die Spektrometrie. Aufgrund der im SKET doch außerordentlich umfassend vorhandenen Metallurgie mit einem Stahlwerk, drei Eisengießereien, zwei Stahlgießereien, einer Großschmiede, zwei Stahlbaubetrieben und zahlreichen Maschinenbaubetrieben war ein umfangreiches Betätigungsfeld gegeben. Die Werkstoffprüfung gewann über die Jahre eine immer größere Bedeutung für die Untersuchung metallurgischer Produkte und vermittelte für ihn dadurch unschätzbare Erfahrungswerte. Schiebold war insgesamt 25 Jahre mit seinen Prüfern in den Betrieben unterwegs und bearbeitete zudem Forschungs- und Entwicklungsthemen für die Betriebe der Metallurgie.

Aus diesen Erfahrungswerten konnte er nach der Wende in seinem zweiten Arbeitsleben in aus der LVQ GmbH in Mülheim an der Ruhr (Lehr- und Versuchsgesellschaft für Qualität) ausgegründeten eigenem Unternehmen LVQ-WP Werkstoffprüfung GmbH und im Magdeburger von der Treuhand erworbenen Unternehmen des ehemaligen VEB Schwermaschinenbaukombinat „Karl-Liebknecht“ als LVQ-WP Prüflabor GmbH schöpfen und manchmal unter großem Zeitdruck Unterrichtsmaterialien, wie Skripte, Übungen, Wissensteste und teilweise auch Prüfungen verfassen. Durch die Anerkennung der Firma LVQ-WP Werkstoffprüfung GmbH als Ausbildungsstätte der DGZfP sind solche Unterlagen in der ZfP in sechs Prüfverfahren und 3 Qualifikationsstufen und in der ZP durch die Zusammenarbeit mit dem DVM in 9 Prüfverfahren entstanden und über fast zwanzig Jahre erfolgreich zur Weiterbildung von Werkstoffprüfern verwendet worden.

Leider ist es in einem solchen Fachbuch nicht möglich, sämtliche Techniken und Anwendungen der Werkstoffprüfung umfassend zu beschreiben. So wird auf theoretische Ableitungen, mathematische Methoden, Modellierungen und bruchmechanische Bewertungen verzichtet.

Allen am Entstehen des Buches Beteiligten sei an dieser Stelle gedankt. Besonderer Dank gilt meiner lieben Frau Angelika und natürlich auch allen Firmen und Personen, von denen ich bei der Vorbereitung und Ausgestaltung dieses Buches Unterstützung erhielt, und insbesondere den Sponsoren, die zum Entstehen und Gelingen des Werkes beigetragen haben.

Dem Springer-Verlag danke ich für die bei der Herausgabe des Buches stets gute Zusammenarbeit.

Mülheim an der Ruhr, Frühjahr 2018

Prof. Dr.-Ing. Karlheinz Schiebold



Benutzungshinweise

Bilder, Tabellen, Gleichungen und Literaturzitate werden jeweils *innerhalb eines Kapitels* fortlaufend gezählt, z.B. Bild 1.10 = 10. Bild im Kapitel 1; oder [5] = 5. Literaturzitat im Literaturverzeichnis am Ende des Buches.

In diesem Buch werden die *Maßeinheiten* des Internationalen Einheitensystems (SI) einschließlich der daraus abgeleiteten dezimalen Vielfachen und Teile wie Milli, Mega usw. verwendet.

INHALTSVERZEICHNIS

0.	Einführung	12
1.	Metallographische Werkstoffprüfung	13
1.1	Probennahme	13
1.2	Probenpräparation	19
1.2.1	Probenkennzeichnung	19
1.2.2	Probentrennung	21
1.2.3	Probeneinfassung	24
1.2.4	Schleifen, Läppen und Polieren	27
1.2.5	Reinigen	30
1.3	Makroskopische Metallographie	30
1.4	Mikroskopische Metallographie	31
1.4.1	Ätzen	31
1.4.2	Lichtmikroskopie	34
1.4.2.1	Optische Grundlagen	34
1.4.2.2	Abbildungsfehler	36
1.4.2.3	Vergrößerung	37
1.4.2.4	Lichtquellen	37
1.4.2.5	Lichtfilter	38
1.4.2.6	Beleuchtungsstrahlengang	40
1.4.2.7	Abbildungsstrahlengang	41
1.4.2.8	Beleuchtungsarten	43
1.4.3	Elektronenmikroskopie	44
1.4.4	Untersuchungen mit der Mikrosonde	47
1.4.5	Durchstrahlungs-Elektronenmikroskopie	47
1.5	Quantitative Metallographie	48
1.5.1	Korngrößenbestimmung	48
1.5.1.1	Bestimmung der Korngrößen-Kennzahl G durch Vergleich mit einer Bildreihentafel	48
1.5.1.2	Bestimmung der Korngrößen-Kennzahl G nach dem Linienschnittverfahren	52
1.5.1.3	Bestimmung der Korngrößen-Kennzahl G nach Snyder und Graff	53
1.5.1.4	Bestimmung der Korngrößen-Kennzahl G nach dem Flächenauszählverfahren	53
1.5.1.5	Bestimmung der Korngröße nach dem Vergleichsverfahren	54
1.5.1.6	Bestimmung einer durchschnittlichen prozentualen Korngröße KG	55
1.5.2	Graphiteinstufung	56
1.5.3	Reinheitsgradbestimmung	63
1.5.4	Härtemessung zur Gefüge-Charakterisierung u. f. Gefügeveränderungen	66
1.5.5	Schichtdickenmessung	68
2.	Dokumentation der Prüfergebnisse	72
2.1	Bildverarbeitungssysteme zur Gefügeanalyse	72
2.1.1	Mikrofotographie mit Filmen	72
2.1.2	Thermodrucke mit Videoprintern	72
2.1.3	Digitale Bilddatenerfassung	73
2.2	Prüfprotokolle	74
2.3	Prüfbescheinigungen	76
2.3.1	Inhalt der Prüfbescheinigungen	77
2.3.2	Kriterien von Prüfbescheinigungen	78
2.3.3	Auswirkungen der Verpflichtungen durch Prüfbescheinigungen	85
2.3.4	Dokumentation der Prüfbescheinigungen	86

2.3.5	Ausführung und Gestaltung der Prüfbescheinigungen	88
2.3.6	Prüfbescheinigungen als Element der Vertragsprüfung im QM-System	88
2.3.6.1	Prüfbescheinigungen und Vertragsanforderungen	88
2.3.6.2	Prüfbescheinigungen und Wareneingangskontrolle	89
2.3.6.3	Verwaltung von Prüfbescheinigungen	93
2.3.6.3.1	Eingabe von Prüfbescheinigungen	93
2.3.6.3.2	Ausgabe von Prüfbescheinigungen	93
2.3.6.4	Rechtliche Handhabung von Prüfbescheinigungen	94
2.3.6.4.1	Haftung aus fehlerhaften Prüfbescheinigungen	95
2.3.6.4.2	Haftung auf Erfüllung und Schadensersatz	96
2.2.6.4.3	Haftung des Herstellers	96
2.3.6.4.4	Haftung des Ausstellers	97
2.3.6.4.5	Haftung als unabhängiger Sachverständiger (Gutachter)	97
2.3.7	Prüfbescheinigungen u. handelsrechtl. Untersuchungs- u. Anzeigepflichten	98
2.3.7.1	Prüfbescheinigung und Wareneingangsprüfung	98
2.3.7.2	Rügerecht und unterlassene Prüfungen	99
2.3.7.3	Prüfbescheinigungen und Rügepflicht	99
2.3.7.4	Prüfbescheinigungen und Produkthaftung	100
2.3.7.5	Prüfbescheinigungen und Aufbewahrungspflichten	100
2.3.7.6	Prüfbescheinigungen in der Vertragsgestaltung	100
2.3.7.7	Prüfbescheinigungen und Versicherungsschutz	101
2.3.7.8	Prüfbescheinigungen im internationalen Geschäftsbetrieb	102

3. Literaturverzeichnis 103

4. Sachwortverzeichnis 105



0. Einführung

Die Metallographie ist ein zerstörendes Verfahren der Materialprüfung, bei dem das Gefüge von Werkstücken sichtbar gemacht, mit optischen Geräten untersucht und qualitativ und quantitativ beschrieben wird. Das Buch soll den Lesern einen Einblick in die praktische Metallographie geben und Hilfestellung bei der täglichen Arbeit oder bei der Aus- und Weiterbildung anbieten.

Zur Erklärung und zum Verständnis der Werkstoffeigenschaften ist der mikroskopische Aufbau der Werkstoffe, der sich in der Größenordnung zwischen dem atomaren bzw. molekularen Bereich und dem mikroskopischen und makroskopischen Bereich einordnet (Bild 1.1) und von der Werkstoffherstellung beeinflusst wird, von entscheidender Bedeutung. Seine Darstellung und Untersuchung für metallische Werkstoffe ist Gegenstand der Metallographie.

Die Metallographie hat die Aufgabe, die Gefügebestandteile abzubilden und nach Art, Menge, Größe, Form und Verteilung zu bestimmen. Als Gefügebestandteile gelten das Haufwerk der Kristallite (Körner) gleicher oder verschiedener Zusammensetzung, die sie voneinander trennenden Grenzflächen (Korngrenzen), Ausscheidungen in den Kristalliten oder an den Grenzflächen und Einschlüsse von Fremdphasen.

Struktur	Mikrostruktur	Makrostruktur
Grobstruktur		Werkstücke (Halbzeuge und Bauteile) Rohlinge Lunker, Seigerungen
Gefügestruktur		Porengrößen Kristallitgrößen Dicke innerer Grenzflächen Blockwandstärken
Feinstruktur		Gitterkonstanten Atomabstände
Atomistische Struktur	Atomradien Elementarteilchen	
Abmessung (mm)	10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹² 10 ⁻⁹ 10 ⁻⁶ 10 ⁻³ 10 ⁰ 10 ⁺³ ⇒

Bild 1.1 Struktureinteilung und Größenordnung [3]

In diesem Fachbuch werden DIN EN ISO-Normen des gegenwärtigen Standes 2017 zitiert, um die Fachleute zu befähigen, ohne die Normen detailliert zu lesen, die Normen in ihrer täglichen Arbeit umsetzen zu können. Deshalb sind entsprechende Erläuterungen zu den Texten, Tabellen und Bildern in den Normen in das Buch eingearbeitet worden. Der ASME-Code wird auszugsweise behandelt, weil diese amerikanische Druckgeräte-Richtlinie nur in englischer Sprache angeboten wird und weil sich die Ausführungen in den für die Praxis wichtigen Kapiteln doch wesentlich von den DIN EN ISO-Normen unterscheiden. Vor allem Firmen, die ASME-Inspektionen für ihre Produkte bestehen müssen, können sich mit den Erläuterungen zum ASME-Code eventuell besser auf solche Inspektionen vorbereiten.

1. Metallographische Werkstoffprüfung

1.1 Probennahme

Unter Probennahme versteht man die Zerlegung eines Werkstückes, eines Bauteiles oder von Vormaterial zur Entnahme einer metallographischen Probe. Das Erfordernis zur Probennahme ergibt sich immer dann, wenn der Prüfgegenstand zu groß und unhandlich für die Untersuchung ist oder wenn mehrere Proben entnommen werden sollen.

In einem metallographischen Laboratorium werden eine Reihe von Probennahmemethoden angewandt, die sich im Arbeitsprinzip, der Probengeometrie, den Probeneigenschaften und den Auswirkungen auf das Probengefüge im Bereich der Trennfläche unterscheiden.

Bei der Probennahme wird unterschieden zwischen einer systematischen und einer gezielten Probennahme. Die systematische Probennahme soll das Werkstückgefüge allgemein charakterisieren, d. h. die entnommene Probe soll repräsentativ das gesamte Gefüge wiedergeben. Bei der Untersuchung von Schadensfällen werden beispielsweise Proben in der Nähe der Fehlstellen entnommen, um die Ursache des Versagens aufzudecken.

Eine gezielte Probennahme erfolgt dagegen, wenn eine ausgewählte Probenstelle untersucht werden muss, d. h. wenn z. B. Fehler an der Oberfläche des Bauteiles sichtbar sind oder vermutet werden oder wenn eine Bruchfläche näher charakterisiert werden soll. Weiterhin werden bei der Probennahme die Anschliffpräparationen nach Entnahmeort und Orientierung der Schlieffläche zur Hauptverarbeitungs- bzw. Hauptverformungsrichtung eingeteilt. Man kennt diesbezüglich (Bild 1.2).

- Längsschliffe parallel zur Hauptbearbeitungsrichtung insbesondere wenn die Längsausrichtung der Körner oder Einschlüsse erfasst werden sollen,
- Querschliffe senkrecht zur Hauptbearbeitungsrichtung,
- Schrägschliffe in einem definierten Winkel zur Oberfläche (z. B. für dünne Schichten),
- Flachschliffe als Oberflächenanschliff mit geringem Abtrag.

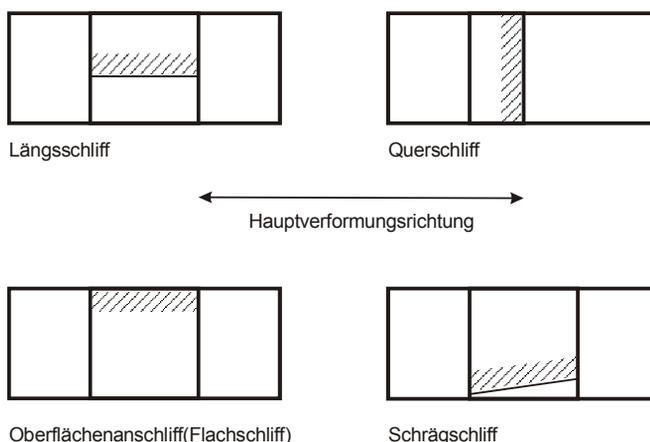


Bild 1.2 Verschiedene Arten der Anschliffpräparation [1]