

Metallographische Untersuchungen an Bauteilen

Metallographic Component Analysis

Wolfram Stets, Jörg Tschöpe

Eingegangen: 18. Januar 2007

Angenommen: 3. Mai 2007

Received: January 18, 2007

Accepted: May 3, 2007

Translation: G. Peach

Kurzfassung

Im Zuge der immer schnelleren Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen steigt die Bedeutung der Bauteilmetallographie als Werkzeug der Schadensanalyse und Qualitätskontrolle. Das Institut für Gießereitechnik arbeitet auf diesem Gebiet mit einem tragbaren Auflichtmikroskop mit bis zu 500-facher Vergrößerung. Die Bilder werden mit Hilfe einer Digitalkamera aufgenommen. Anhand von verschiedenen Untersuchungsfällen wird die Leistungsfähigkeit des Systems demonstriert. Es wurden bis zu 37 t schwere Gussstücke aus Gusseisen mit Kugelgraphit sowie Pumpengehäuse aus Duplexstahl untersucht. Auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse konnten Expertisen für die weitere Verwendbarkeit der Gussstücke erstellt werden.

1 Einleitung

Die Bauteilmetallographie ist als Sonderverfahren der zerstörungsfreien Materialprüfung eine wichtige Möglichkeit der Vor-Ort-Untersuchung. Sie gibt die Möglichkeit, das Gefüge großer Bauteile oder Gussstücke metallographisch zu untersuchen, ohne dass diese dafür zerstört werden müssen. Anwendung findet die Bauteilmetallographie z. B. bei Schadensfalluntersuchungen oder während der Betriebsüberwachung von großen Anlagen bzw. Bauteilen.

Im folgenden Beitrag wird über die metallographische Untersuchung an Bauteilen bzw. Gussstücken durch das IfG - Düsseldorf berichtet sowie werden einige Besonderheiten bei der Untersuchung von Gusswerkstoffen herausgestellt.

Abstract

In the context of today's ever faster production cycles for equipment and plants, component metallography is gaining recognition as an important tool for failure analysis and quality control. The Institute of Casting Technology (Institut für Gießereitechnik) operates in this field using a portable, reflected light microscope with a 500x magnification capability. The images are recorded with the aid of a digital camera. The system's performance has been proven on the basis of numerous case studies. For example, castings of nodular graphite iron weighing up to 37 tons as well as pump casings made of duplex steel have been examined. The results of such investigations serve as the basis for preparing opinions and recommendations about the continued use of the castings.

1 Introduction

Component metallography is a special, non-destructive material testing method that offers the possibility of performing quick, on-site testing. Metallographic analysis of the microstructure of large components or castings is possible without the need to destructively cut samples from the item. Component metallography can be used, for example, in failure analysis or during operational evaluations of large plants or components.

This paper describes the IfG - Düsseldorf metallographic analyses system for components or castings while also highlighting several unique cases and features in the examination of casting materials.

2 Durchführung der Untersuchungen

2.1 Oberflächenpräparation

Wie bei jeder metallographischen Untersuchung beeinflusst auch bei der ambulanten Metallographie die Schliiffpräparation entscheidend die Qualität der Ergebnisse.

Die Oberflächenpräparation kann mit verschiedenen tragbaren Geräten erfolgen, die einen flächigen Abtrag in ähnlicher Weise wie bei den Schleif- und Polierarbeiten im Labor erlauben. Verschiedene Hersteller bieten für diesen Zweck transportable Geräte an.

Die mechanische Schliiffpräparation durch das IfG erfolgt mit einer Maschine mit einer biegsamen Welle (Bild 1), die eine Drehzahl von 10 000-25 000 /min gewährleistet. Für eine schnelle Präparation werden Aufsätze mit Schleifscheiben bis 1000-er Körnung sowie Aufsätze mit Filz für die Diamantpolitur (3 und/oder 1 μm) eingesetzt. Da bei Gussstücken teilweise noch die Gushaut vorhanden ist (mit größerer Rauigkeit, Sandeinschlüssen und Randentartungen des Graphits), muss diese gegebenenfalls noch vorher mit einer groben Schleifscheibe oder einem Fächerschleifer (z.B. Körnung 60) abgetragen werden. Bei der Präparation von Gusseisen mit Lamellen, Vermicular- bzw. Kugelgraphit bedarf es einer intensiven Politur (größerer Zeitaufwand als z. B. bei Stahlguss) um die Graphitausscheidungen reproduzierbar dazustellen und auszuwerten. Das Ätzen einer präparierten Stelle erfolgt am Bauteil bzw. Gussstück ähnlich wie das Ätzen

2 Performing the Tests

2.1 Surface Preparation

As with every metallographic analysis, even in field metallography, the quality of the results are decisively influenced by the preparation of the specimen.

The surface preparation can be performed with various portable devices, which permit area abrasions in a manner similar to the grinding and polishing operations at the lab. Transportable equipment for this purpose is supplied by various manufacturers.

IfG employs a machine with a flexible shaft (Fig. 1), which provides a rotational speed of 10,000-25,000 rpm to prepare the specimens. Attachments with grinding wheels of up to 1000 grain as well as attachments with polishing pads for diamond abrasion (3 and/or 1 μm) are used for quick specimen preparations. Some castings may still have the casting skin (with greater coarseness, sand inclusions, and graphite edge degeneration), which sometimes must first be ablated with a rougher grinding wheel or serrated disk (e.g., 60 grain). The preparation of cast iron with lamellar, vermicular, or nodular graphite requires intensive polishing (more time involved than for cast steel) in order to present and analyze the microstructural graphite constituents. The etching of a prepared surface on the component or casting is performed in a way similar to the etching of a sample at the lab (the etchant is applied with a spray bottle or cotton swabs). The final steps of rinsing and drying, use alcohol and a blow dryer.



Bild 1. Schleif- und Poliermaschine mit biegsamer Welle

Fig. 1. Grinding and polishing machine with flexible shaft

einer Probe im Labor (Auftragen des Ätzmittels mit Spritzflasche oder Wattetupfer). Das anschließende Spülen erfolgt mit Alkohol, die Trocknung mit Fön.

2.2 Gefügebetrachtung

Die am Gussstück präparierte Stelle wird anschließend mit einem aufsetzbaren Mikroskop betrachtet. Dafür steht ein tragbares Mikroskop zur Verfügung (Bild 2), das mit einem Adapter zum Anschließen einer Digitalkamera für die Bilderfassung ausgerüstet ist (bei Einsatz einer handelsüblichen Digitalkamera, wie in Bild 2 dargestellt, ist die Angabe des Abbildungsmaßstabes nur annäherungsweise möglich). Mit dieser Bilderfassung wird eine Dokumentation und spätere qualitative sowie teilweise quantitative Auswertung der Gefügebildnahmen ermöglicht. Das Mikroskop besitzt ein Objektivrevolver, in dem unterschiedliche Objektive (5x, 10x, 20x, und 50x) für einen schnellen Vergrößerungswechsel eingesetzt sind. Als Lichtquelle fungiert eine LED, deren Licht über Glasfaserkabel zum Objekt geleitet wird. Die Energie kann sowohl über Akkupack als auch über Netzanschluss bezogen werden. Die Qualität der Objektive und die Intensität der Lichtquelle liefern Schliffbilder, die den im Labor aufgenommenen Bildern nahe kommen.

2.2 Structural Analysis

The prepared point on the casting is then analyzed with an attachable microscope. The microscope provided (Fig. 2) is equipped with an adapter that connects to a digital camera for recording the images (with a commercially available digital camera, as shown in Fig. 2, only an approximation of the image resolution is possible). This recorded image provides the documentation that allows for subsequent qualitative and, to some extent, quantitative analysis of the microstructures. The microscope has a revolving chamber that holds different lenses (5x, 10x, 20x, and 50x) that can be selected to provide rapid switching between magnifications. The light source is an LED, that permits light to be directed onto the object via optical fibre. The energy source can be either a battery pack or a network connection. The quality and resolution of the lens together with the intensity of the light source combine to deliver images that approach the image quality achieved in the lab.



Bild 2. Auflichtmikroskop mit aufgesetzter Digitalkamera

Fig. 2. Reflected light microscope with mounted digital camera

3 Bauteiluntersuchungen

3.1 Deckel einer Umformpresse aus GJS-500-7

Nach der mechanischen Bearbeitung eines 37 t schweren Deckels einer Umformpresse wurden auf der Oberfläche Schattierungen festgestellt (Bild 3). Eine Identifizierung dieser Schattierungen war nur mit der Bauteilmetallographie möglich. Die Fehlerdiagnose an der geschliffenen und polierten Oberfläche ergab, dass es sich bei den Schattierungen um Chunky-Graphit handelt (Bild 4).

Chunky-Graphit ist eine entartete Graphitform, bei der der Graphit nicht in Kugelform ausgeschieden wird. Er kann vorzugsweise in dickwandigen Gussstücken aus Gusseisen mit Kugelgraphit vorkommen [1]. Vorhandener Chunky-Graphit wird bei großen Einzelstücken oft erst bei der mechanischen Bearbeitung optisch sichtbar. Möglicherweise wird Chunky-Graphit sogar erst nach dem Versagen eines Bauteiles als Ursache festgestellt. In den üblichen angegossenen Proben beim Gießen von Gusstücken tritt Chunky-Graphit in der Regel nicht auf. Bei der massiven Störung der Graphitkugelbildung, wie sie bei Chunky-Graphit vorliegt, ist je nach dem Grad der Kerbwirkungserhöhung mit einer Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften zu rechnen. Die Bruchdehnung, Brucheinschnürung, Kerbschlagarbeit und Zugfestigkeit vermindern sich, wobei die 0,2 % Dehngrenze nur geringfügig reagiert [2]. Haupt-Einflussfaktoren auf die Bildung von Chunky-Graphit sind z. B. Gehalte an Spurenelementen wie Ce, Pb, Sb und As, der Si-Gehalt sowie lange Erstarrungszeiten.

Nach der metallographischen Untersuchung wurden FEM-Belastungsberechnungen durchgeführt. Unter Verwendung dieser Ergebnisse und von Werkstoffkennwerten für Gusseisen mit Kugelgraphit mit stellenweise auftretendem Chunky-Graphit konnte ermittelt werden, dass der Deckel in der Umformpresse unter Beachtung einer reduzierten Lebensdauer eingesetzt werden kann.

3 Component Testing

3.1 Cover of a Forming Press of GJS-500-7

After mechanical processing, surface shading was detected on the 37 ton cover of the forming press (Fig. 3). The identification of this shading was only possible with component metallography. A failure analysis of the ground and polished surface revealed that the shading was caused by chunky graphite (Fig. 4).

Chunky graphite is a degenerated form of graphite, whereby the graphite is not excreted in the more common spheroidal form. Preferably, it occurs in nodular graphite iron in thick walled, cast iron parts [1]. The presence of chunky graphite in large, cast pieces often becomes visible only from mechanical processing. Potentially, chunky graphite may be detected as the cause only after a component failure. Chunky graphite does not normally appear in the usual sampling of cast parts. With a massive disruption in the formation of the nodular graphite, as is the case for chunky graphite, and depending on the degree of higher stress concentration, a degradation of the mechanical properties must be assumed. The elongation and reduction of area, charpy impact strength, and tensile strength are all reduced, although a 0,2%-proof stress is considered a negligible reaction [2]. The major factors in the formation of chunky graphite can be the presence of trace elements, for example, Ce, Pb, Sb, and As, the Si content as well as long solidification times.

Subsequent to the metallographic analysis, FEM load calculations were performed. It could be determined from these results and the material characteristics for nodular graphite cast iron with the isolated occurrence of chunky graphite, that the cover of the forming press was suitable for operational use – with the caveat of a reduced life span.



Bild 3. Dunkle Schattierungen auf der bearbeiteten Oberfläche des Deckels aus Gusseisen mit Kugelgraphit

Fig. 3. Dark shades on the working surface of the cover made of nodular graphite iron

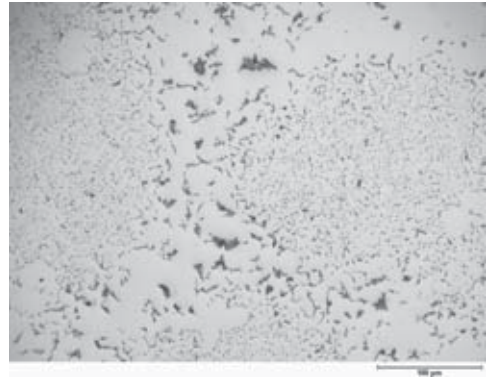


Bild 4. Bei der metallographischen Untersuchung stellt sich heraus, dass es sich bei den dunklen Schattierungen in Bild 3 um Chunky-Graphit handelt (Gefüge ungeätzt; ursprüngliche Vergrößerung ca. 150-fach).

Fig. 4. A metallographic analysis reveals that the darker shades in Fig. 3 are chunky graphite (unetched structure; original magnification ca. 150x).

3.2 Pumpengehäuse aus Duplexstahl

Ein gegossenes Pumpengehäuse aus Duplexstahl (Werkstoff 1.4517) wurde einer Reparaturschweißung unterzogen (Bild 5). Nach der anschließenden Wärmebehandlung war nicht sicher, ob das Gefüge den Anforderungen entspricht. Daher erfolgten Gefügeuntersuchungen zur Feststellung der weiteren Einsetzbarkeit. Die Bilder 6 und 7 zeigen die Gefügeausbildung von Grundwerkstoff, Wärmeeinflusszone (WEZ) und Schweißgut der präparierten (polierten und geätzten) Stelle. Die nachträgliche quantitative Bildanalyse an den Bildern ergab im Schweißgut und im Grundwerkstoff einen Ferritanteil von ca. 65-70 % (Rest: Austenit) und in verschiedenen Bereichen der Wärmeeinflusszone ca. 15-30 % Ferrit. Aus den Gefügeuntersuchungen und den

3.2 Pump Cases of Duplex Steel

A cast pump case made of duplex steel (material 1.4517) was subject to welding repair work (Fig. 5). Following heat treatment, it was not certain whether the microstructure met the required specifications. Therefore, an analysis of the microstructure was performed to determine continued serviceability. Figs. 6 and 7 show the crystalline structure of the basic material, the heat affected zones (HAZ), and the welding deposit on the prepared surface (polished and etched). The subsequent quantitative analysis of the image revealed a percentage of ferrite in both the weld deposit and basic material of approximately 65-70% (other: austenite) and, in several areas of the heat affected zone, approximately 15-30% ferrite. Based on the analysis of

Angaben zu den Schweißelektroden sowie der Wärmebehandlung konnte die Schlussfolgerung gezogen werden, dass das Pumpengehäuse ausreichende mechanische und korrosionstechnische Eigenschaften aufweist.

the microstructure and the data for the welding electrolytes and the heat treatment, the conclusion was reached that the pump case exhibits stable mechanical and stress corrosion characteristics.



Bild 5. Pumpengehäuse aus Duplex-Stahlguss 1.4517

Fig. 5. Pump casings of duplex steel 1.4517

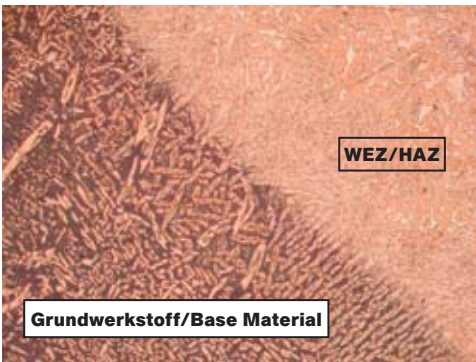


Bild 6. Duplex-Gefüge im Gusswerkstoff. Ferrit zeigt sich als dunkle Phase im Grundwerkstoff bzw. als helle Phase in der WEZ (geätzt nach Adler; ursprüngliche Vergrößerung ca. 150-fach).

Fig. 6. Duplex microstructure in casting material. Ferrite appears as a dark phase in the base material or as lighter phase in the HAZ (etched per Adler; original magnification ca. 150x).



Bild 7. Duplex-Gefüge im Schweißgut. Ferrit zeigt sich als dunkle Phase (geätzt nach Adler; ursprüngliche Vergrößerung ca. 150-fach).

Fig. 7. Duplex microstructure in weld deposit. Ferrite appears as a dark phase (etched per Adler; original magnification ca. 150x).

3.3 Presswerkzeug aus GGG-70L

Während des Einsatzes in einer Karosserie-Pressen brach ein Blechhalter nach mehreren 1000 Arbeitshüben. Bild 8 zeigt einen Ausschnitt des gerissenen Teiles. Da derartige Werkzeuge wieder repariert werden, war eine konventionelle (zerstörende) Laboruntersuchung nicht zulässig. Es wurde daher mit Hilfe der ambulanten Bauteilmetallographie das Gefüge im Bereich der Rissbildung untersucht. Es konnte visuell eingeschätzt werden, dass der Ferritanteil in der Grundmasse bei ca. 50 % lag (Bild 9). Damit war davon auszugehen, dass die mechanischen



Bild 8. Gerissenes Werkzeug einer Karosserie-Pressen aus GGG-70 L.

Fig. 8. Fractured stamping die for a body press made of GGG-70 L.

Eigenschaften des Werkstoffes nicht dem eines GGG-70L entsprechen (gefordert: >90 % Perlit). Die mit der ambulanten Härteprüfung festgestellten Werte von 200 HB bestätigen diese Schlussfolgerung.

Neben einer verringerten Werkstofffestigkeit kam als zusätzliche Ursache für die Rissbildung das Vorliegen von Gusseigenspannungen infrage. Die hohen Wanddickenunterschiede (45 / 130 mm) im Gusstück bewirken bei der Abkühlung in der Gießform starke Eigenspannungen, die während des Einsatzes des Werkzeuges ausgelöst wurden.

3.3 Stamping Die of GGG-70L

During operations, the blankholder in a wide frame drawing press broke after several thousand work strokes. Fig. 8 shows a section of the cracked part. These machines are considered repairable, which eliminated the option of performing a traditional investigation (consumptive) at the lab. The surface in the area of the cracking was therefore examined with the aid of mobile component metallography. After a visual inspection, it was estimated that the matrix was approximately 50% ferrite (Fig. 9). This was an indication that the mechanical characteristics

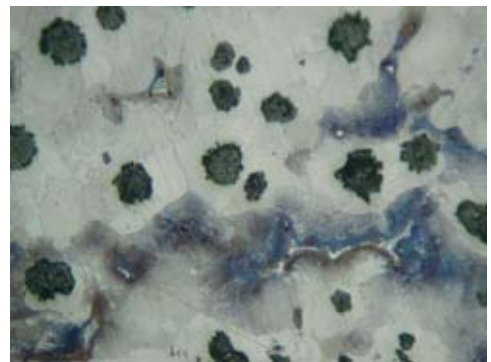


Bild 9. Geätztes Gefüge des GGG-70L in der Umgebung des Risses mit hohem Ferritanteil (ursprüngliche Vergrößerung ca. 150-fach).

Fig. 9. Etched microsurface GGG-70L near the fracture with high concentration of ferrite (original magnification ca. 150x).

of the material did not match those required for GGG-70L (required: >90% perlit). This assumption was confirmed by the hardness value of 200 HB as determined by field testing.

In addition to the reduced material hardness, another possible reason for the cracks was the existence of cast residual stresses. The large variance in wall thickness (45 - 130 mm) of the casting caused significant residual stresses while cooling still in the casting mold, which was then released during operations.

Nach der oben beschriebenen Schadensfalluntersuchung erfolgten weitere Gefügeuntersuchungen an gegossenen Presswerkzeugen (Bild 10).

Bild 11 zeigt eine präparierte Stelle im geätzten Zustand. Die Ausscheidung der Graphitkugeln entspricht der Form V und VI nach DIN EN 945. Nach dem Ätzen konnte eine metallische Grundmasse mit 5-10 % Ferrit, 1-3 % Karbide und Rest Perlit beobachtet werden. Weitere metallographische Bauteiluntersuchungen ergaben ähnliche Gefüge. Die bei diesen Untersuchungen festgestellten Gefügemerkmale an den verschiedenen Presswerkzeugen entsprechen den Anforderungen an den Gusswerkstoff GGG-70L, so dass die Werkzeuge für den Einsatz frei gegeben werden konnten.



Bild 10. Tragbares Mikroskop auf einer Matrize für ein Karosserie-Seitenteil

Fig. 10. Portable microscope attached to the plate of the side body stamping die

Zusammenfassung

Die ambulante Metallographie mit einem transportablen Mikroskop und einer Digitalkamera bietet die Möglichkeit, das Gefüge von großen Bauteilen zerstörungsfrei zu untersuchen und zu dokumentieren. In dem Maße, wie gegossene Bauteile immer größer werden, deren spezifischen Belastungen steigen und Stillstandszeiten immer kürzer werden, nehmen die

After the failure analysis discussed above, additional microsurface examinations were performed on cast stamping dies (Fig. 10).

Fig. 11 shows a prepared spot after etching. The nodular graphite particles represent Forms V and VI according to DIN EN 945. After etching, a metallic matrix with 5-10% ferrite, 1-3% carbides and residual perlite was observed. Additional metallographic analysis produced similar microstructures. These investigations determined the specifications of the casting material GGG-70L were met by the surface characteristics of the different stamping dies and the tools were released for operation.

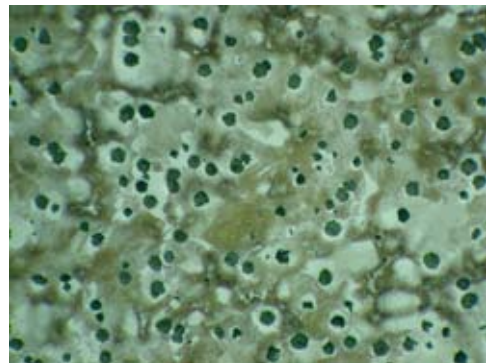


Bild 11. Geätztes Gefüge von GGG70-L mit zulässigem Ferritanteil < 10 % (ursprüngliche Vergrößerung ca. 75-fach).

Fig. 11. Etched surface of GGG70-L with allowable ferrite content < 10% (original magnification ca. 75x).

Summary

Field metallography with a transportable microscope and a digital camera provide a non-destructive method to examine and document the microstructures of large components. To the extent that cast components are getting bigger, their specific loading is increasing, and downtimes are being reduced, the importance and usefulness of component metallography in-

Bedeutung und der Einsatz der Bauteilmetallographie zu. Das IfG hat mit diesem Verfahren bisher an zahlreichen Gussteilen aus Gusseisen mit Kugel- und Lamellengraphit sowie aus Stahlguss Untersuchungen zur Werkstoffqualität und zu Schadensursachen vorgenommen. Im Rahmen derartiger Untersuchungen wurden z. B. in einem Deckel einer Umformpresse aus GJS-500-7 Chunky-Graphit nachgewiesen, der die Bauteilbelastbarkeit mindert. In einem weiteren Fall wurde die Schweißnaht in einem Pumpengehäuse aus Duplexstahl untersucht und für gut befunden. Dass bestimmte nachteilige Gefügemerkmale in Gusseisen mit Kugelgraphit GGG-70L zur Rissbildung führen können, wurde anhand eines Umformwerkzeuges gezeigt.

creases. IfG has extensive experience applying this method to investigate material quality and perform failure analysis on numerous castings of nodular and lamellar graphite iron as well as cast steel. In the context of such investigations, for example, the cover of a forming press made of GJS-500-7 was found to have chunky graphite, which reduced the load capacity of the component. In another case, the weld seam in a pump case made of duplex steel was examined and declared serviceable. It was also demonstrated on the stamping die that certain detrimental surface characteristics of nodular graphite iron (GGG-70L) can lead to cracking.

Literatur/References

- [1] Löblich, H.: Einfluss der Keimbildungsbedingungen auf die Entstehung von Chunky-Graphit in GJS, IfG Düsseldorf, AiF-Vorhaben Nr. 13696 / N, IfG-Bericht Nr. E-317, Düsseldorf, 2005
- [2] Frenz, Holger: Eigenschaften von ferritischem und ferritisch-perlitischen Gußeisen mit Kugelgraphit unter besonderer Beachtung des Bruchverhaltens, Dissertation 1991, TU Berlin, Fachbereich 17, Werkstoffwissenschaften

Korrespondenzanschrift/Correspondence address:
Institut für Gießereitechnik gGmbH
Sohnstraße 70
40237 Düsseldorf
stets@ifg-net.de

Dr.-Ing. Wolfram Stets



working at the Institut für Gießereitechnik for many years, mainly dealing with the production, the investigation and the application of ferrous cast materials. He had been responsible of the IfG metallographic laboratory for a long time. Now he is the head of the Department of Metallurgy and Materials Technology.

Jörg Tschöpe



was employed at the Institut für Gießereitechnik from 2002 to 2006. In correlation with his working fields he carried out microstructural investigations at ferrous and non-ferrous cast materials, also including the enforcement of investigations with the on-site metallography.