

1 Einleitung

1.1 Aufgaben und Ziele der metallographischen Untersuchungen von Gusslegierungen

Die Metallographie ist die Lehre vom Gefügeaufbau der Metalle und Legierungen und stellt somit eine Disziplin der Metallkunde dar.

Aufgabe der Metallographie ist die qualitative und quantitative Beschreibung des Gefüges metallischer Werkstoffe.

Die Gefügebildung trifft Aussagen zur Art und Menge der durch Grenzflächen (Korngrenzen bzw. Phasengrenzen, Einlagerungen bzw. Einschlüsse) voneinander getrennten Gefügebestandteile, zu deren geometrischen Parametern Größe, Form, Verteilung und Orientierung sowie zur Realstruktur der Gefügebestandteile. Als Untersuchungsmethode werden im Wesentlichen direkt abbildende mikroskopische Verfahren benutzt.

Die Metallographie ist eingebunden in eine komplexe Struktur- und Gefügeanalyse mittels Verfahren der Röntgen-, Elektronen- und Neutronenbeugung sowie physikalischen Methoden zur Ermittlung strukturabhängiger elektrischer, magnetischer, mechanischer und thermischer Eigenschaften. Das Ziel der Metallographie im interdisziplinären Verbund mit anderen Fachgebieten besteht in der Aufklärung der Zusammenhänge zwischen Struktur, Gefüge, Technologie und Eigenschaften der metallischen Werkstoffe und in der Vorhersage der Eigenschaften und des Werkstoffverhaltens unter vorgegebenen Beanspruchungsverhältnissen. Daneben bildet die Metallographie einen wesentlichen Bestandteil der Qualitätskontrolle, weil sie ein wichtiges Hilfsmittel zur Erkennung und Vermeidung von Ausschussursachen bei gegossenen Bauteilen sowie bei der Beurteilung von Schadensfällen darstellt.

Der Einsatz und die Entwicklung moderner Gießverfahren in der industriellen Fertigungstechnik erfordert eine geeignete Infrastruktur zur Prüfung der Guss- und Bauteilqualitäten. Metallographische Methoden ermöglichen es durch vielseitige Präparations- und Ätzverfahren, die Einflüsse der unterschiedlichen Randbedingungen im Gießprozess auf die Gefügestruktur der verschiedenen metallischen Werkstoffe sichtbar zu machen und auf mikroskopischem Wege zu charakterisieren. In diesem Zusam-

1 Introduction

1.1 Object of metallographic examination of casting alloys

Metallography is the theory about the (micro) structure of metals and alloys and is one branch of metallurgy. The main task of metallography is a qualitative and quantitative description of the (micro) structure of metal materials/metals.

The description of the structure provides information about the amount and kind of microconstituents which are separated by interfaces (grain boundaries and phase boundaries respectively, interstitials and inclusions respectively) and about the geometric parameters such as size, shape, distribution and orientation. It also gives information about the real structure of all microconstituents. For the investigations direct imaging microscopic methods are used.

Metallography includes a complex matrix and structure analysis using methods like X-ray, electron and neutron diffraction. Physical methods are also used to detect electrical, magnetic, mechanical and thermal properties depending on the structure. Metallography co-operates with other sciences to explain connections between structure, technology and properties of metal materials and intends to give a preview about the material properties under special load conditions. Beyond this, metallography is a main part of the quality control because it is a useful aid in diagnosing and preventing rejected castings and in analysing casting defects.

The use and development of modern casting processes for industrial production engineering efforts a suitable infrastructure for testing casting and component quality. With its versatile preparation and etching procedures metallography enables microscopically visualising and characterising the different conditions during the casting process. This encompasses different procedures including scanning electron microscopy.

The structure of metal materials can be identified with a microscope after preparation. For this purpose macroscopic, microscopic and electromicroscopic aspects for structure analysis have to be taken into consideration. The knowledge about the properties and the manufacturing of metals and alloys is a main aspect in avoiding mistakes during the preparation and structure analysis.

menhang stehen verschiedenste Möglichkeiten und Verfahren bis hin zur Rasterelektronenmikroskopie zur Verfügung.

Um das Gefüge eines metallischen Werkstoffes im Mikroskop zu erkennen, muss es präpariert werden. Dabei sind makroskopische, mikroskopische und elektronenmikroskopische Gefügebetrachtungen zu unterscheiden. Die Kenntnisse über die Eigenschaften und die Verarbeitung eines Metalls bzw. einer Metalllegierung ist wichtig, um Fehler bei der Präparation und Gefügebeurteilung zu vermeiden.

Die mechanischen Eigenschaften und das Betriebsverhalten von gegossenen Komponenten hängen in erster Linie vom Gefügebau ab. Nur ein optimales Gefüge, seine Primär- und Sekundärstruktur, kann die gestellten mechanischen und dynamischen Anforderungen an die Gussteile erfüllen. Das heißt aber auch, dass bei der Fertigung der Teile eine ständige Kontrolle des Gefüges stattfinden muss, um sicher zu stellen, ob die Matrix zweckentsprechend ausgebildet ist. Daraus lässt sich eine erste wichtige Aufgabe der Metallographie ableiten, nämlich die Durchführung von Kontrolluntersuchungen zur Fertigungsüberwachung.

Derartige Überwachungen erfolgen nach Richtlinien, Standards sowie innerbetrieblichen Vorschriften und können auch zwischen der Gießerei und dem Kunden vereinbart werden. Somit gelten diese Richtlinien als Abnahmevorschriften, nach denen entschieden wird, ob das Bauteil verwendet werden kann, oder ob es zu Ausschuss erklärt werden muss.

Unbedingt notwendig ist die kontinuierliche Dokumentation und Auswertung der Prüfergebnisse, um den Einfluss der Gefügeausbildung auf die Eigenschaften der Bauteile näher und gezielter bestimmen zu können. Dabei können heute alle Gefügemerkmale völlig frei von subjektiven Einflüssen durch geeignete Messverfahren erfasst und ausgewertet werden, was allgemein als quantitative Metallographie bekannt ist.

Die Ursachen der Abweichungen der geforderten Eigenschaften im Bauteil und damit letztlich die Ursachen der Abweichungen in der Gefügeausbildung müssen im nächsten Schritt untersucht und ermittelt werden. Derartige Untersuchungen stellen den zweiten Aufgabenkomplex der metallographischen Untersuchungen dar, da in den meisten Fällen nur der Gefügebau Aufschluss über ungenügende Eigenschaften gibt.

Durch die mittlerweile immer komplexer werdenden Gusskomponenten in Verbindung mit maximalen Werkstoffeigenschaften sowie neuen Form- und Gießverfahren werden aber zunehmend Fehlerer-

The mechanical properties of casting components for special application depend on its structure, meaning that just an optimal structure meets all the mechanical and dynamical requirements. These demands a permanent structure control during the production of the castings to make certain that the matrix structure meets the requirements. This results in the important role of the metallography: the realization of control investigations for the purpose of production control.

This controlling has to be done according to regulations and standards which also can be an agreement between the customer and the foundry and can be of value as specifications of the castings. Based on these specifications the criteria for good castings and rejections are declared.

A continuous documentation and evaluation of the testing results is absolutely necessary to determine the influence of the structure on the components' properties. In order to be able to do so, all typical structure characteristics have to be documented and evaluated by modern measuring techniques and procedures independent of subjective influences. This is common in the field of quantitative metallography.

In a further step the possible causes for deviations from the required component properties and final the reasons for deviations from the structure have to be examined and evaluated. This kind of examinations is the second field of metallography; the so-called qualitative metallography, which gives the necessary information about structure defects leading to insufficient component properties.

The more complex the casting components in connection with increasing material properties and modern moulding and casting methods become, the more likely is the appearance of certain defects. This leads to the necessity of complex investigation methods like optical and scanning electron microscopic investigations of metallographic samples up to electron-probe analysis. By the way, a certain kind of well known defects can be identified much better and more definitively by the use of these methods.

For that, an extensive characterization of the structure does not end in itself. The purpose of that is to understand the connections between chemical compositions, technical procedures for the production of casted components and the structure itself. Based on the understanding of casted materials and their action under stress, these connections become more and more clear.

At the same time these investigation methods

scheinungen festgestellt, welche zu umfassenderen Untersuchungsmethoden wie licht- und rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen von metallographischen Schliffen und zur Anwendung der Elektronenstrahlmikroanalyse zwingen. Im Übrigen kann mit diesen Untersuchungsmethoden auch die Vielzahl der als bekannt vorgegebenen Fehler besser und vor allem eindeutig definiert werden.

Die umfassende Charakterisierung des Gefüges ist dabei nicht Selbstzweck, sondern sollte mit der Absicht durchgeführt werden, Zusammenhänge zwischen chemischer Zusammensetzung, technologischen Prozessen zur Herstellung gegossener Komponenten und der Gefügeausbildung aufzuklären sowie auf dieser Grundlage die Eigenschaften und das Beanspruchungsverhalten gegossener Werkstücke zu verstehen.

Gleichzeitig können diese Untersuchungsmethoden auch grundlegende Aussagen zu eingesetzten Rohstoffen und zu den Reaktionen und Vorgängen an der Grenzfläche Formwand/Metall treffen und somit auch hier für die Ursachenfeststellung und Entwicklung von Abhilfemaßnahmen einen Beitrag leisten.

Letztlich sind mechanisch technologische Prüfverfahren (z. B. Festigkeitsprüfung, Härteprüfung usw.) für die Ergebnisinterpretation genauso wichtig wie durchzuführende Simulationsversuche (z. B. Probeabgüsse). Der Vorteil solcher Simulationsversuche liegt in der Tatsache, dass hierbei gleichzeitig auch erforderlich gewordene Maßnahmen zur zukünftigen Fehlervermeidung überprüft werden können.

Je nach zu untersuchenden Fehlern unterscheidet bzw. entscheidet man zwischen Makro- und Mikrountersuchungen. Bei komplexen Fehlern werden in der Regel beide Methoden angewendet.

Makroskopische Untersuchungen erfolgen mit bloßem Auge oder dem Stereomikroskop an Proben im Anlieferungszustand, d.h. an nicht präparierten Flächen. Dadurch können erste Fehler im Material erkannt und Hinweise zu Werkstoffeigenschaften gewonnen werden.

Typische Merkmale für Fehler, die bereits im Makroschliff identifiziert werden können, sind:

- Poren, Lunker
- Fremdeinschlüsse
- Porositäten
- Schlieren
- Schlacken

Metallische Werkstoffe sind lichtundurchlässig (opak), so dass ihre mikroskopisch zu betrachtende Struktur im Auflicht untersucht werden muss. Die

give basic information about the charged materials and the interfacial reactions between mould and metal. Causes for defects can also be detected and remedial measures can be developed.

Last but not least, mechanical and technological testing procedures (strength test; hardness test, etc.) are necessary as well as simulation tests such as pilot castings. The advantage of the simulation tests is that required measures for future avoidance of any defects/errors can be checked simultaneously.

Depending on the kind of defect macroscopic or microscopic examinations have to be done. In case of complex defects both methods will be applied.

Macroscopic examinations have to be done visually (with the naked eye) or with a stereo-microscope and unprepared samples, meaning samples with unprepared surfaces. Through that the first material defects can be detected and indications can be provided to typical material properties.

Typical marks of defects recognizable in macro-metallographic samples:

- pores; shrinkage
- inclusions
- porosity
- flow marks
- slag

The microscopic structure of metallic materials has to be investigated by reflected light because these materials are impermeable to light. The requested structure information (defects, inclusions, matrix) is obtained from the light which is reflected from the prepared material surfaces. For structure analysis the metallographic surfaces have to be absolutely plain, skin sharpness in maximum, free of scratches, cracks, smudge and all kinds of impurities to reflect a realistic figure of the material structure, especially of its defects in this case.

The third field of examination extends to castings with external defects without any objective cause. For example the causes for bad machinability of castings or flow marks on the surface of diecastings have to be established. The above mentioned macroscopic examinations are suitable for that.

The necessity of metallographic examinations for quality control in the foundry is obvious. Even the customer will accept these investigations to guarantee a high quality level of his products demanded by the long life application.

gewünschten Strukturinformationen (Fehler, Einschlüsse, Gefüge usw.) werden dabei den Lichtstrahlen entnommen, die von einer präparierten Fläche des Werkstoffes, der Schlieffläche, reflektiert werden. Deshalb muß diese für die Gefügebeurteilung so wichtige Schlieffläche eine hohe Ebenheit aufweisen, maximale Randschärfe haben und die Struktur des ausgewählten Werkstoffausschnittes, also im vorliegenden Fall seine Fehler, wirklichkeitsgetreu und repräsentativ wiedergeben. Natürlich muss die erforderliche Wechselwirkung mit dem Licht ebenso gewährleistet sein wie die Freiheit von Kratzern, Rissen, Verschmierungen und sonstigen Unsauberkeiten.

Das dritte Aufgabengebiet erstreckt sich auf die Untersuchungen von Gussstücken, welche äußere Fehler aufweisen, deren Ursachen nicht ohne weiteres erkennbar sind. So ist beispielsweise festzustellen, warum sich das Gussstück schlecht bearbeiten lässt oder welche Ursachen Schlieren auf der Oberfläche von Druckgussteilen haben. Die oben erwähnten Makrountersuchungen sind dafür geeignet.

Es wird deutlich, dass die Gießerei nicht auf die metallographische Untersuchungsmethoden verzichten kann. Aber auch der Gussverbraucher wird sich zunehmend dieser Untersuchungsmethoden annehmen, um eine hohe Qualität und lange Lebensdauer seiner Produkte, die Gussteile enthalten, zu gewährleisten.

1.2 Generelles zur Probenahme

Die Probenahme beginnt mit der Auswahl des Probenmaterials und der Festlegung der Schlieffebene. Um Gefüge bzw. Einschlüsse und Defekte genau darzustellen, ist es sinnvoll mehrere parallele und/oder sich kreuzende Schlieffebenen zu untersuchen.

Eine entsprechende Größe der Schliffe ist zu gewährleisten, als Faustformel kann etwa 15 x 15 x 10 mm angenommen werden. Schliffe werden sowohl direkt aus dem Gussstück (bei Gussfehleruntersuchungen) wie aus angegossenen Proben (unter Berücksichtigung der maßgebenden Wanddicke) und aus Proben, welche für die Bestimmung der mechanischen Eigenschaften verwendet worden sind, entnommen. Bei Gefügefehleruntersuchungen sind Anschliffe direkt auf der Fehleroberfläche ungeeignet und nicht interpretierbar, die Schliffe sollten hier daher immer senkrecht zur Oberfläche gelegt werden.

Grundsätzlich sind Schliffproben sorgfältig zu behandeln, vor Verunreinigungen und Feuchtigkeit zu schützen und geeignet zur Verpackung bzw. zur Lagerung (Exsikkator). Macht sich die Reinigung von

1.2 Sampling in general

The sampling starts with the selection of the sampling material and determination of the metallographic area. It is necessary to investigate an amount of parallel and/or crossing metallographic plains to figure out the structure, inclusions and defects exactly.

A size of 15 x 15 x 10 mm for the metallographic samples is recommended. Metallographic samples can be taken from the casting itself (casting defect examination), from cast-on test bars (under consideration of a necessary section thickness) and from samples which are used for the determination of the mechanical properties of castings. Metallographic samples regarding to the examination of casting defects should never be done on the surface of the defect directly. This would lead to a false and useless interpretation of the results. In such a case the metallographic sample has to be placed in vertical direction to the surface.

Basically metallographic samples are to be treated carefully to protect against pollutions and humidity and are to be packed or stored suitably (exicator). If the cleaning of the metallographic samples is inevitable, the use of soft brushes, alcohol, acetone as well as dry air pressure are favourable. The best solution is to clean the samples with alcohol in the ultrasonic bath. During any cleansing work attention is to be paid to making certain that structure components are neither torn out nor that any stickings such as slag or brilliant carbon membrane are lost during the defect investigation.

With the sampling a metallographic sample is taken with the help of a dividing procedure from the respective material. On this occasion, the danger of influencing the material structure exists near the latter cross section. This influence can be caused by thermal effects, deformations, crack formation or crack growth as well as edge damage.

Figure 1 shows a micrograph improperly taken with a cut-off disc. The heat resulting from this has led to the formation of bright and dark zones. Figure 2 and figure 3 show that in these zones different structures appear which no longer allow for a precise judgement of the structure.

Therefore, it is unavoidable to cut micrographic samples wet. The cut-off disc exists ideally of Al_2O_3 , SiC or diamond and a binding agent (plastic, rubber, metal) which works out the samples by grinding in a coolant (water). With soft materials (e.g., aluminium alloys) attention is to be paid to the fact that of the contact pressure is held low by the choice of suitable



Bild 1. Unsachgemäß entnommener Schliff mit Wärmeeinwirkungszonen, 1:1

Figure 1. Improperly taken micrograph with thermal effect zones, 1:1

Schliffproben notwendig, so sind weiche Bürsten, Alkohol, Aceton sowie trockene Druckluft günstig. Am besten reinigt man Proben mit Alkohol im Ultraschallbad. Bei allen Reinigungsarbeiten ist darauf zu achten, dass Gefügebestandteile nicht herausgerissen werden oder bei der Fehleruntersuchung keine lose anhaftenden Fehlermerkmale, wie beispielsweise Schlacke oder Glanzkohlenstoffhäutchen, verloren gehen können.

Bei den Probenahmen wird die Schliffprobe mit Hilfe eines Trennverfahrens dem jeweiligen Material entnommen. Hierbei besteht die Gefahr der Beeinflussung der Materialstruktur in der Nähe der späteren Schlißfläche. Diese Beeinflussungen können durch Wärmeeinwirkungen, Verformungen, Verstärkung oder Neubildung von Rissen sowie Kantschädigung hervorgerufen werden. Bild 1 zeigt einen mit einer Trennscheibe unsachgemäß entnommenen Schliff. Die dabei entstandene Wärme hat zur Ausbildung von hellen und dunklen Zonen geführt.

Bild 2 und Bild 3 zeigen, dass in diesen Zonen unterschiedliche Gefüge auftreten, die eine genaue Beurteilung des Gefüges nicht mehr zulassen.

Deshalb ist es unumgänglich Schliffproben in einer feuchten Umgebung zu trennen. Die Trennscheibe besteht Idealerweise aus Al_2O_3 , SiC oder Diamant und einem Bindemittel (Kunststoff, Gummi, Metall) und arbeitet durch Schleifen in einem Kühlmittel (Wasser) die Probe heraus. Bei weichen Werkstoffen (z. B. Aluminiumlegierungen) ist darauf zu

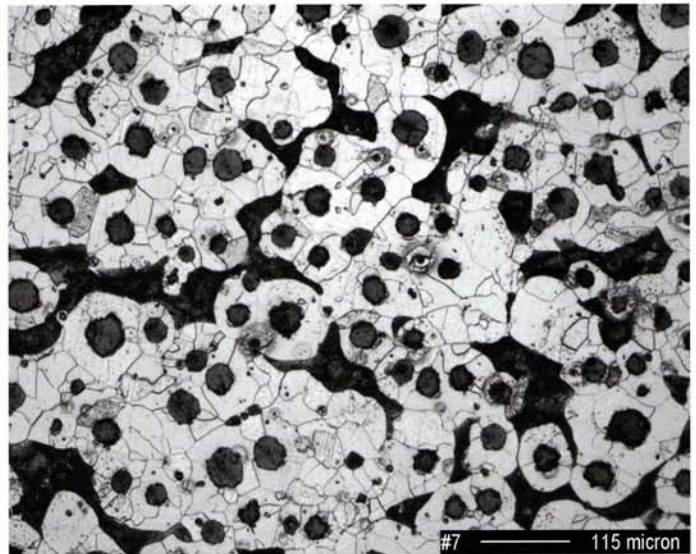


Bild 2. Gefügeausbildung in den hellen Zone aus Bild 1, 100:1, geätzt

Figure 2. Structure formation of bright zones from figure 1, 100:1, etched

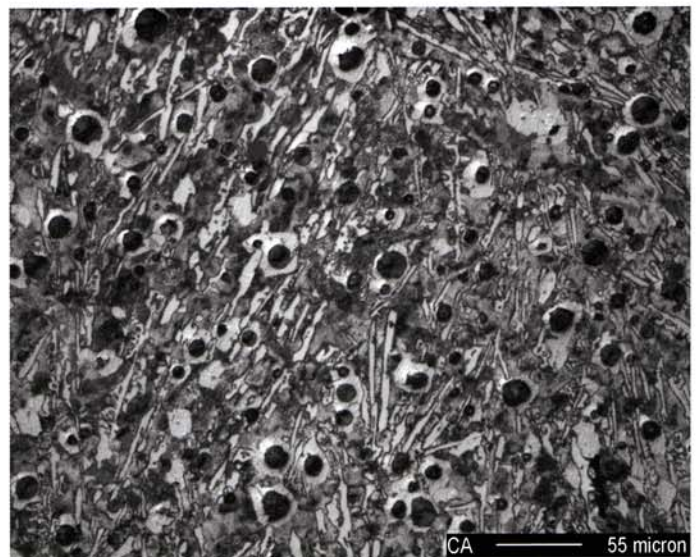


Bild 3. Gefügeausbildung in den dunklen Zone aus Bild 1, 100:1, geätzt

Figure 3. Structure formation of dark zones from figure 1, 100:1, etched

dividing tools. Then the subsequent cross section has an excellent evenness.

Of course the samples worked out in such a manner are to be marked unambiguously and exactly like the position of the withdrawal samples and the subsequent cross sections (hand sketch, photo).