

Neue Analysemethoden bei der normgerechten Bestimmung wichtiger Kenngrößen in Gusseisen-Werkstoffen

H. Dietz, U. Sonntag, R. Borau

Einführung

Moderne Werkstoffprüfung basiert heutzutage immer häufiger auf der Nutzung innovativer Technologien, wie bspw. der Digitalen Bildverarbeitung. Mithilfe dieser werden – teils interaktiv, teils vollautomatisch – Materialproben untersucht, analysiert und ausgewertet.

Das hessische Software-Unternehmen dhs Dietermann & Heuser Solution GmbH befasst sich seit Anfang der 90er Jahre mit der Entwicklung und dem Vertrieb solcher Imaging-Systeme.

Den Anstoß dazu gab die räumliche Nähe zur feinmechanisch-optischen Hochburg Wetzlar, nur wenige Kilometer vom Firmensitz entfernt, und den dorthin bestehenden Kontakten. Kernprodukt war und ist bis heute die dhs-Bilddatenbank®, eine modular aufgebaute Profi-Lösung für den kompletten Workflow in Labor und QS: Bildaufnahme, -archivierung, -verarbeitung, -analyse und Dokumentation. Diese Software entwickelte sich sehr rasch zu einem in Deutschland und weltweit anerkannten Produkt. Die Vermarktung erfolgt u. a. in enger Kooperation mit verschiedenen Vertriebspartnern, die als Marktführer durch ihre jeweiligen Kernkompetenzen enorm breit gefächerte Einsatzfelder eröffnen.



Die dhs-Bilddatenbank® ist eine modular aufgebaute Bildverarbeitungs-Software, die in Einzelplatz- wie auch in komplexen Netzwerk-Applikationen Verwendung findet und unter allen aktuellen Windows™-Betriebssystemen läuft.

Mit inzwischen mehr als 2.500 Installationen zählt dieses Produkt zu den Meistverkauften am Markt, es wird durch die Mehrsprachigkeit und die Verwendung allgemein gültiger Standards (in punkto Betriebssysteme, Server, Office-Anwendungen usw.) inzwischen weltweit eingesetzt.

Die Software zeichnet sich vor allem durch ihre extrem anwenderfreundliche Bedienung aus. Kürzeste Implementierungsphasen, flexible Anpassungsmöglichkeiten an vorhandene Organisationsstrukturen und EDV-Landschaften, keine

Bei GJL stellt die programmseitige Ermittlung der Graphitanordnung ein Problem dar

zeitaufwändigen Lernphasen und erfolgreiche Umsetzung auch für weniger geübte PC-User sind die großen Anwender-Vorteile. Automatisierung von Routineaufgaben, perfekte Reproduzier- und Kommunizierbarkeit von Untersuchungen und Prüfergebnissen, Kostenreduzierung und Zeitersparnis sowie eine einfach gut beherrschbare Datenbank sind die weiteren Pluspunkte. Beispielhafte Applikationen sind u. a. Labor- und QS-Anwendungen in Industrie, LifeScience, Forschung und öffentlichen Einrichtungen.

Heute versteht sich dhs als Komplett-Dienstleister im besten Sinne des Wortes: ein kompetenter Partner für alle Fragen rund um das Thema Bildverarbeitung. Das Leistungsspektrum enthält inzwischen nicht nur Software, sondern wurde um Hardware (Kameras, Mikroskope und optische Geräte, PC-Systeme), Dienstleistungen (Consulting,

Individualprogrammierungen, Installationen) und Schulungen erweitert.

Nachfolgend wird schwerpunktmäßig die bildanalytische Gussproben-Auswertung beschrieben

Problemstellung Guss-Auswertung

Die Auswertung nach aktuell gültigen Normen zur Bestimmung der Mikrostruktur in Gusseisen (EN ISO 945, ASTM A-247) basiert im Wesentlichen auf dem visuellen Vergleich mit Referenzobjekten, die auf Bildreihentafeln bereitgestellt werden und die fester Bestandteil der Norm sind. Damit ist das auf diese Weise ermittelte Ergebnis in hohem Maße von subjektiven Faktoren geprägt. Logische Konsequenz wäre der Einsatz computergesteuerter Auswertprogramme, die sowohl eine Objektivierung der gemessenen Ergebnisse als auch eine schnellere Auswertung erlauben.

Warum dann also die Verwendung des Konjunktivs? Bisherige Programmlösungen erfüllen die gestellten Anforderungen nur zum Teil. Während z. B. die Bestimmung des Graphitanteils, der Partikeldichte oder der Graphitgrößenverteilung ohne Schwierigkeiten möglich ist, stellt insbesondere bei Grauguss die programmseitige Ermittlung der Graphitanordnung (A-E) ein nicht unbeträchtliches Problem dar. Auch bei der Formklassifizierung müssen mitunter Abstriche gemacht werden. So bestimmen programmseitig

Holger Dietz, dhs (Greifenstein-Beilstein)

Ulrich Sonntag

Ralf Borau

Info: www.dhssolution.com

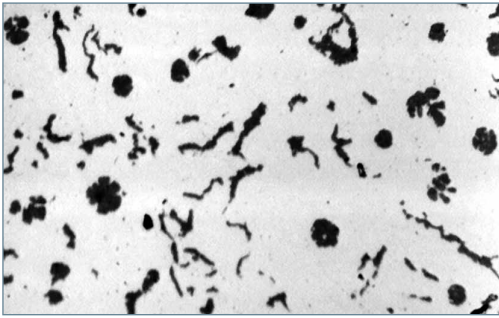


Bild 1. Graphitusbildung eines Gussgefüges

verwendete Klassifikatoren nicht immer die in der Norm festgelegten Formklassen (I-VI bzw. I-VII), sondern setzen die Form dem Parameter Rundheit (Verhältnis Partikel-fläche zur Fläche des umschreibenden Kreises) gleich. Die Rundheit allein ist für eine normgerechte Formklassifizierung jedoch nicht ausreichend.

Hinzu kommt weiterhin, dass auch einige in den Normen verwendeten Definitionen nicht immer eindeutig sind bzw. gewisse Sachverhalte nicht ausreichend beschreiben. Als Beispiel sei hier die Größenbestimmung von Lamellen genannt. Hier gibt es keine exakte Festlegung, ob man den Durchmesser des umschreibenden Kreises oder den realen Verlauf der Lamelle heranziehen soll. Auch ist nicht festgelegt, ob und wie verbundene Lamellen getrennt werden sollen. Insofern ist verständlich, dass viele Anwender nach wie vor das „kleinere Übel“ der subjektiven Bestimmung der Kenngrößen bevorzugen – nicht zuletzt auch, weil hier ein großes Maß an eigener Erfahrung eingebracht werden kann.

Im Zuge der Forderung von Qualitätssicherungsmaßnahmen, nach Reproduzierbarkeit der Graphitauswertung, nach Vergleichbarkeit mit Auswertungen in anderen Laboren (z.B. von Zulieferern und Abnehmern) ist dies jedoch gleichfalls eine unzureichende Alternative. Was bleibt, ist die Schaffung von hinreichend gut auf die genannten Problempunkte abgestimmten Anwendungslösungen. Mit dem Modul „Guss-Analyse“ zur dhs-Bilddatenbank® wird erstmalig eine Lösung angeboten, die eine umfassende und komplette Auswertung nach gültiger Norm ermöglicht, ja in einigen Punkten sogar noch darüber hinaus geht!

Programmaufbau

Das Software-Modul „Guss-Analyse“ besteht aus mehreren Teilpaketen und ist sowohl zur Analyse von Gusseisen mit Lamellengraphit als auch Gusseisen mit Kugelgraphit einsetzbar (ggf. auch Gusseisen mit Vermiculargraphit). Folgende Parameter, über beliebig viele Messfelder akkumulierbar, können vom Programm bestimmt werden:

- **Graphitgröße**
- **Graphitform**
- **Graphitanordnung**
- **Ferrit-Perlit-Verhältnis**
(*am geätzten Schliff*)
- **Nodularitätsmaß**

Ergänzend ist zu bemerken, dass bei der Bestimmung des Ferrit-Perlit-Verhältnisses andere auftretende Gefügebestandteile, wie beispielsweise Karbide oder Phosphideutektikum, von der Vermessung ausgeschlossen werden können. Um den Anforderungen bei der praktischen Arbeit gerecht zu werden, wurde bei der Programmgestaltung Wert auf eine einfach bedienbare Benutzeroberfläche gelegt. Die berechneten Ergebniswerte können in einem individuell gestaltbaren Protokoll ausgegeben werden.

Im folgenden Abschnitt wird an zwei der o. g. problematischen Auswertekriterien gezeigt, wie eine diesen Anforderungen gerecht werdende Lösung realisiert wurde.

Klassifizierung der Graphitanordnung (A-E)

Mikroskopische Aufnahmen von Lamellengraphit weisen aus bildanalytischer Sicht besondere Charakteristika auf, die eine automatische Auswertung mit hoher Präzision und Zuverlässigkeit schwierig machen. Die Lamellen bilden in vielen Fällen ein zusammenhängendes Netz (siehe dazu Bild 2), so dass eine Analyse einzelner Strukturelemente ohne eine aufwändige Vorverarbeitung nicht möglich ist. Aus diesem Grund existieren Lösungen, die auf die Analyse von bildglobalen Merkmalen (z. B. Histogrammen) mit statistischen Methoden (z. B. Maximum-Likelihood) setzen. Dabei ist allerdings eine zuverlässige Identifikation von Einzelstrukturen ungeklärt, und eine

bildräumliche Zuordnung der Anordnungsklassen wird somit erschwert.

Um diese Schwierigkeiten zu umgehen, wurde bei der Entwicklung des hier vorgestellten Anordnungs-klassifikators ein Ansatz gewählt, der eine den Bildstrukturen angepasste flächenhafte Analyse erlaubt und darüber hinaus ein aussagekräftiges Visualisierungskonzept gewährleistet.

Bei der angewendeten Hybrid-Methode erfolgt zuerst eine „Vorsortierung“ der Bilder, indem je nach Erscheinungsbild der Anordnungen, z. B. durch unterschiedliche Größenverhältnisse je nach Wanddicke, mehrere Gruppen gebildet werden und für jede Gruppe ein individueller Klassifikator erstellt wird.

Dabei werden die unterschiedlichen Charakteristika mit einem so genannten Clustering-Verfahren beim Anlernen des Klassifikators erkannt und entsprechend zugeordnet. Bei der späteren Klassifikation wird für alle zu analysierenden Bilder mittels eines Maximum-Likelihood-Algorithmus ermittelt, zu welcher Gruppe (zu welchem Cluster) dieses Bild gehört.

Eine weitere Problematik bei der Lamellenanordnung liegt in häufig vorkommenden Graphitstrukturen, die eher im Zwischenbereich zweier Klassen liegen und die selbst durch den Experten nicht eindeutig einer bestimmten Klasse zuzuordnen sind. Da für solche Einsatzgebiete die Fuzzy-Methoden prädestiniert sind, wurden diese z. B. bei der Visualisierung berücksichtigt.

Klassifikatorgrundlagen

Grundlage des Klassifikationskonzepts ist ein mehrstufiger Vorverarbeitungsalgorithmus. Dieser hat die Aufgabe, die miteinander verbundenen Strukturen zu trennen und für die Anordnung relevante Einzelmerkmale zu berechnen.

Dazu werden zuerst die Lamellenverläufe ermittelt (Skelettierung) und an Verzweigungspunkten zu (Sub-)Lamellen aufgetrennt. Anschließend ermittelt man die Einflusszonen (Segmente oder Bereiche) dieser Lamellen und deren Nachbarschaftsbeziehungen.

Die Segmentgrenze ergibt sich aus der euklidischen Distanztrans-

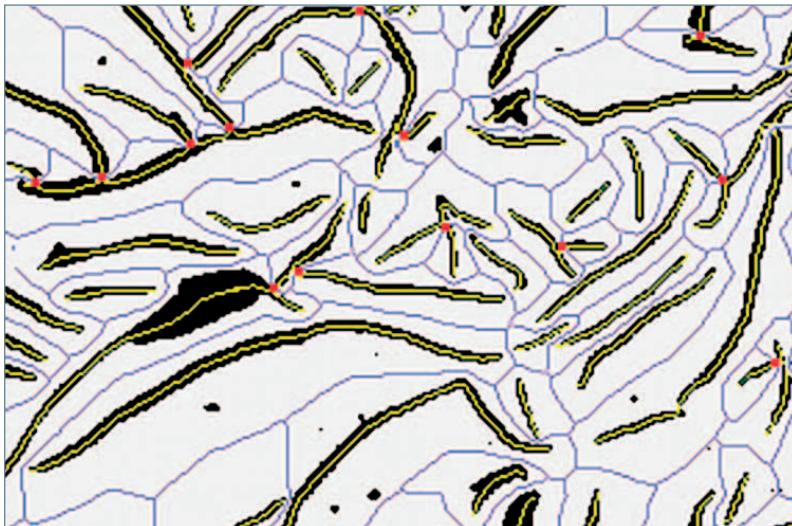


Bild 2. Darstellung eines Bildausschnittes mit Graphitlamellen nach folgenden Operationen:
 1. Skelettierung der Lamellen (gelbe Linien)
 2. Zerlegung in Sublamellen (rote Verzweigungspunkte)
 3. Segmentbildung (blaue Grenzlinien)

formation zu den benachbarten Bereichen.

Während der Vorverarbeitung werden bis zu zwölf Einzelmerkmale pro Segment berechnet, zur Anschauung sind hier einige dieser Merkmale gelistet:

- Lamellenlänge, -dicke oder -krümmung
- Lamellenlage innerhalb sowie Größe der Einflusszone

Aus den Einzelmerkmalen wird ein mehrdimensionaler Merkmalsraum gebildet, in dem die einzelnen Anordnungsclassen charakteristische Verteilungen aufweisen, mithilfe

derer eine Unterscheidung der Klassen möglich ist. Da Anordnung ein Zusammenspiel mehrerer Lamellen einer Umgebung ist, muss für die endgültige Klassifikation die Informationen der benachbarten Bereiche mit einbezogen werden. So werden für die Charakterisierung eines einzigen Bereichs die Informationen von bis zu 150 benachbarten Lamellengebieten, nach Abstand gewichtet, zusammengetragen. Durch diese große Menge kann eine vergleichsweise hohe Robustheit (gegenüber Ausreißern) und Sicherheit der Klassifikationsentscheidung erzielt werden.

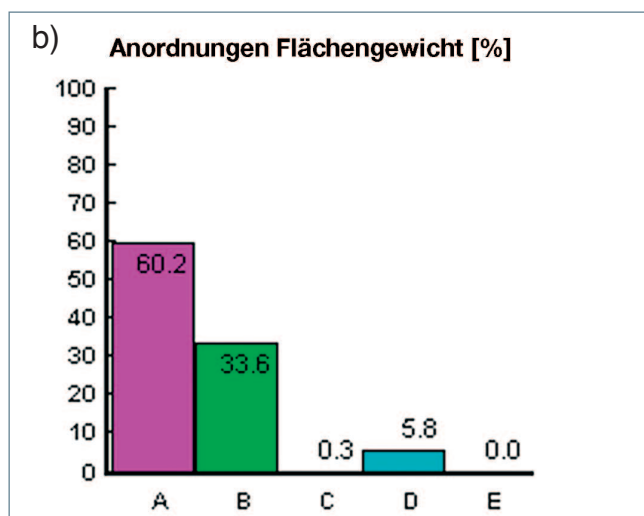
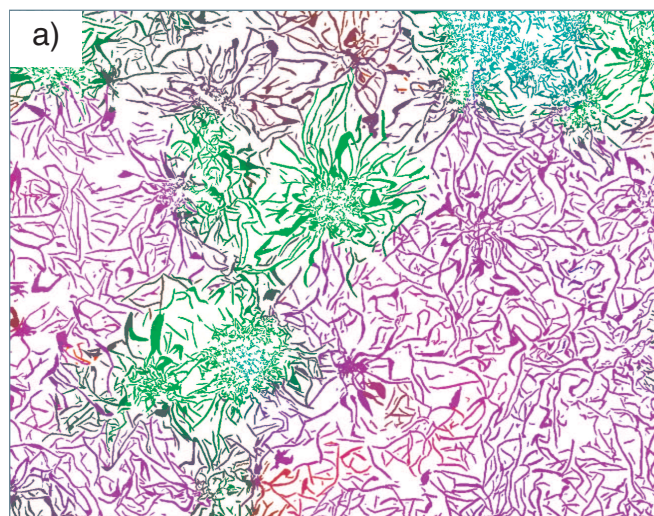
Visualisierung der Graphitanordnung

Durch die obige Vorgehensweise ist man in der Lage, gezielt einzelne Bildbereiche einer Anordnungsclassen zuzuordnen und diese im Bild durch eine entsprechende Farbe anzuzeigen. Die Anschaulichkeit einer solchen Visualisierung kann man in Bild 3 leicht ersehen. Sie erhöht zum einen das Verständnis über das Zustandekommen des Klassifikationsergebnisses, also die prozentuale Verteilung der Klassen, zum anderen lassen sich dadurch eventuelle Fehlklassifikationen leichter erkennen und korrigieren.

Durch die Verwendung von unscharfen Zuordnungen (durch Fuzzy-Logik) kann außerdem die Unsicherheit einer solchen Entscheidung ausgedrückt werden. Liegt eine Lamelle beispielsweise in einem Übergangsbereich zwischen zwei verschiedenen Klassen, so wird dieses durch einen entsprechenden Zwischenfarbwert dargestellt. Die einzelnen Anteile, sowohl des gemessenen Bildes als auch akkumuliert und damit repräsentativ für die gesamte Probe, werden in einem entsprechenden Diagramm angezeigt.

Individuelle Klassifikatorerstellung

Aufgrund der Verschiedenheit von Aufnahmebedingungen und der unterschiedlichen Qualität der erzeugten Bilder können die Lamellengefüge sehr unterschiedliche Erschei-



Bilder 3a und 3b. Man kann in diesem Bildausschnitt gut die Farbübergänge erkennen, insbesondere zwischen den Anordnungen B und D.

nungsformen haben. Dieser Vielfalt kann mit unveränderlichen, vorkonfigurierten Klassifikatoren nur sehr unzureichend Rechnung getragen werden.

Um für jeden Anwender aber ein möglichst genaues und seinen speziellen Anforderungen entsprechendes Klassifikationsergebnis zu gewährleisten, wurde die Erstellung von individuellen, auf die jeweiligen Laborbedingungen zugeschnittenen Klassifikatoren ermöglicht. Damit kann auch die Erfahrung des Anwenders beim Trainieren berücksichtigt werden – kein anderes Produkt bietet diese Möglichkeit!

Ein komfortabel zu bedienender Bereichseditor ermöglicht hierbei das Festlegen von Flächen mit gleicher Anordnung. Mit einer überschaubaren Menge ab 20 Trainingsbildern kann bereits ein praxistauglicher Klassifikator erstellt werden.

Zusammengefasst ergeben sich gegenüber bisher existierenden Lösungen drei entscheidende Vorteile:

1. Es existiert eine effiziente Methode des Trainierens des Anordnungs-klassifikators an geeigneten natürlichen Bildern.
2. Eine Visualisierung des Klassifikationsergebnisses nach den unterschiedlichen Anordnungs-bereichen ist möglich.
3. Es wurde eine Zeitoptimierung des Algorithmus erreicht. Die Analysezeit pro Bild liegt bei einem handelsüblichen PC trotz umfangreicher Berechnungen im Bereich von nur ca. 1 Sekunde.

Bestimmung der realen Größenverteilung von Graphit-Lamellen

Am Markt verfügbare Graphitbewertungs-Programme bestimmen die Größe bisher ausschließlich über den Durchmesser des umschreibenden Kreises um eine zusammenhängende Struktur.

Eine exaktere Methode zur Lamellengrößen-Bestimmung wurde in der Praxis bisher noch nicht angewendet und ist nun erstmals im Modul Guss-Analyse der dhs-Bilddatenbank® implementiert worden.

Dabei wird die Norm folgendermaßen interpretiert: Die Größe einer Graphit-Lamelle errechnet sich nach deren *realem* Verlauf und definiert sich über die Länge der (gedachten) Mittellinie.

Bei Verzweigungen erfolgt eine Trennung sich berührender Lamellen unter Berücksichtigung des Verlaufs, d. h., der gerade Zweig bleibt zusammenhängend, der im Winkel absteigende wird abgetrennt. Das folgende Beispiel zeigt die damit wesentlich verbesserten Möglichkeiten der Lamellengrößenbestimmung (siehe Bilder 4 und 5).

Als Nebeneffekt der Auftrennung von zusammenhängenden Lamellenstrukturen erhält man dadurch sogar eine gute Abschätzung der Lamellendichte bei den schwer bestimm-baren Anordnungstypen D und E.

Fazit

Mit der dhs-Bilddatenbank® und der als Bildanalyse-Tool speziell dazu entwickelten „dhs Guss-Analyse“ stehen dem gesamten Giesserei-Markt innovative Werkzeuge zur Verfügung, mit denen erstmals eine allumfassende materialographische und normgerechte Auswertung von Guss-Proben gelingt. Und zwar auf sehr einfache, nutzerfreundliche und zeitsparende Weise! Diese Bildverarbeitungs-Software, mehrtausendfach im Einsatz und extrem ausgereift, bietet in modularer Weise auf die Belange eines jeden Einsatzzweckes abgestimmte, bezahlbare Lösungen zur Bildarchivierung, -aufnahme, -verarbeitung, -analyse und Dokumentation. Also vom „Schießen“ des Bildes am Mikroskop, über alle Weiterverarbeitungsstufen, bis hin zum automatisch per Mausklick erstellten Bericht, versandfertig per E-Mail bereitgestellt.

Diese hier beschriebene Guss-Analyse erzeugt neutrale, objektive und reproduzierbare Ergebnisse – innerhalb kürzester Zeit ausgewertet und für interne Fertigungskontrollen und Qualitätsnachweise (oder aber bspw. für Prüfprotokolle) weiter zu verwenden. Ergänzend dazu bietet der Hersteller auf Wunsch umfassende Komplettlösungen, z. B. „Plug & Play“-Systeme incl. Mikroskop, Kameras, PC, Software, Installationen vor Ort und Intensiv-Schulungen. ◀



Bild 4. Mit bisherigen Verfahren erfolgt keine Trennung miteinander verbundener Lamellen. Im Bild ist die untere, hellblaue Struktur ein zusammenhängendes Objekt. Die Lamellengröße ergibt sich aus dem Durchmesser des Umkreises um ein solches Objekt.

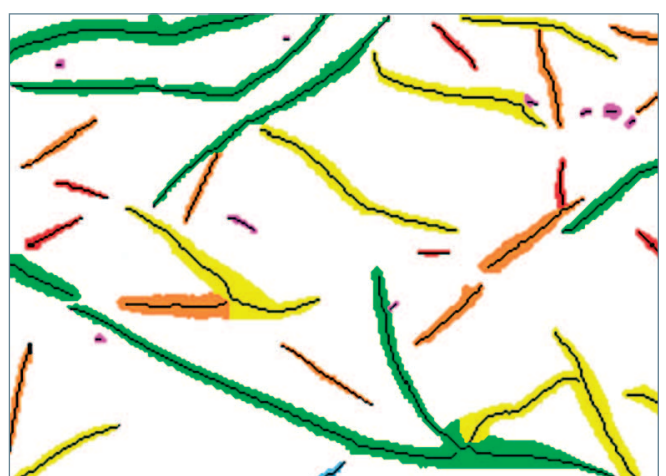


Bild 5. Die Größenklassifikation mit der oben beschriebenen intelligenten Skelettierungsmethode liefert wesentlich exaktere Ergebnisse. Sich berührende Lamellen werden sinnvoll getrennt. Die Länge bestimmt sich aus dem realen Verlauf.