

II. Vorgehensweise bei Guß- und Gefügefehleruntersuchungen

1 Ziele und Methoden der Untersuchungen

Die Aufgabe von Gußfehleruntersuchungen besteht grundsätzlich darin, die Fehlerart und die Fehlerursachen sowie daraus die Entwicklung der notwendigen Gegenmaßnahmen möglichst eindeutig zu definieren.

Dabei kann bereits eine einfache Sichtprüfung, als erste zerstörungsfreie Prüfung des Fehlers, mit freiem Auge, der Lupe oder u. U. am Makroskop zu wichtigen Details bzw. Merkmalen hinsichtlich Fehlerart, Fehlerlage und möglichen Entstehungsursachen führen. Diese ersten (vorläufigen) Ergebnisse gestatten es, den weiteren Untersuchungsplan zur Absicherung der Erstbeurteilung sowie zur exakten Ursachenermittlung festzulegen.

Die weiteren Untersuchungen sind zerstörend, d. h., aus dem betreffenden Gußteil müssen Späne, Schliffproben, Proben für Festigkeitsuntersuchungen usw. herausgearbeitet werden. Eine wichtige Untersuchungsmethode ist dabei, nicht nur bei metallurgisch bedingten Fehlern, die chemische Analyse.

Durch die mittlerweile immer komplexer werdenden Gußkomponenten in Verbindung mit maximalen Werkstoffeigenschaften sowie neuen Form- und Gießverfahren werden aber zunehmend Fehlererscheinungen festgestellt, welche zu umfassenderen Untersuchungsmethoden wie licht- und rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen von metallographischen Schliffen und zur Anwendung der Elektronenstrahlmikroanalyse zwingen. Im übrigen können mit diesen Untersuchungsmethoden auch die Vielzahl der als bekannt (?) angenommenen 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 (z. B. Quarzsand, Bentonitstruktur, Binderbrücken usw.) 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 mit überprüft werden können.

2 Fragen zur Ursachenfindung von Fehlern bzw. Ausschuß

Laut Definition stellt Ausschuß fehlerhafte, für den bestimmten Verwendungszweck unbrauchbare Gußstücke dar, die des weiteren in ihren Eigenschaften nicht den Normen bzw. nicht den mit dem Kunden vereinbarten Lieferbedingungen entsprechen.

In der Gießerei können Gußstücke infolge Material-, Fertigungs- und Bearbeitungsfehlern zum Ausschuß werden. Dabei hat die jeweilige Höhe des Ausschusses wesentlichen Einfluß auf das Betriebsergebnis und kann in Abhängigkeit von Gußsortiment, Werkstoff und Verfahren beträchtlich schwanken.

Das häufige Zusammenwirken mehrerer Einflußfaktoren auf die Fehlerentstehung erschwert die sichere Erkennung und Bekämpfung von Ausschußursachen. Deshalb vereinfachen ausführliche, zuverlässige Informationen die Fehleruntersuchung erheblich und verhindern weitgehend Fehlbeurteilungen.

Auch wenn die nun folgenden Fragen zur Fehlersuche trivial erscheinen, zeigt sich doch immer wieder, wie wichtig eine genaue und umfassende Datenerfassung hinsichtlich Fertigungsablaufs, eingesetzter Materialien und Fertigungstechnologien für eine ordnungsgemäße Zuordnung der auftretenden Fehler ist.

Je nach Art des Fehlers sollten folgende Fragen immer am Anfang der Fehleruntersuchungen geklärt werden, die jedoch aufgrund der außerordentlichen Vielfalt der Fehlerursachen und -erscheinungsformen als beispielhaft zu verstehen sind und sinngemäß für jeden speziellen Einzelfall modifiziert werden sollten:

Generelle Fragen

- Wann ist der Fehler erstmalig aufgetreten?
- War er als Einzelfall aufgetreten, oder sind ganze Losgrößen epidemieartig betroffen?
- Kann eine Fehlereingrenzung nach werkstoff-, formstoff- oder verfahrensbedingten Fehlern vorgenommen werden?
- Ist der Fehler zu einer bestimmten Zeit (Arbeitsschicht) aufgetreten?
- Wieviel Teile sind pro Kasten, Form, Kokille, Pfanne betroffen?
- Sind es immer die ersten oder die letzten Teile aus einer Pfanne?
- Was wurde seit dem Zeitpunkt, bei dem der Fehler erstmalig aufgetreten ist, verändert?
- Wurden Lieferanten für Roh- und Hilfsmaterialien gewechselt?
- Ist der Fehler immer beim gleichen Sortiment (Werkstoff) aufgetreten?
- Wurden Fertigungstechnologien verändert? usw. usw.

Spezielle Fragen (werkstoffbedingte Fehler)

- Lagern sämtliche Rohmaterialien trocken?
- Wurde die Gattierung geändert?
- Wurde die Schmelzebehandlungstechnologie verändert?
- Wurden Überhitzungs-, Warmhalte- und Gießtemperaturen sowie -zeiten geändert?
- Werden diese Temperaturen und Zeiten überhaupt kontinuierlich erfaßt?

- Sind Impfmittel gewechselt worden (Al-, Sb-, Ca-, Ba-, Zr- und Mn-Gehalte)?
- Wurden an der Entgasungsbehandlung Veränderungen vorgenommen?
- Wurde kaltes Masselmetall in den Warmhalteofen gegeben?
- Wird kontrolliert, ob die Gießpfannen, Zwischengefäße und Gießwerkzeuge gut getrocknet und vorgewärmt sind?
- Werden Reinigungsmaßnahmen zur Entfernung oxidischer Schmelzebestandteile durchgeführt und kontrolliert? usw. usw.

- Hat sich die Körnung des Umlaufformstoffes grundlegend geändert?
- Sind andere Bentonitsorten eingesetzt worden?
- Ist das Verhältnis Wasser zu Bentonit konstant geblieben, bzw. ist der Feuchtigkeitsgehalt im Formstoffsystem drastisch gestiegen oder gesunken?
- Ist die Formstoffaufbereitung optimal oder wurde sie seit Fehlereintritt verändert?
- Hat sich am Kernsandzulauf etwas geändert, wurden größere Mengen an thermisch wenig belasteten Kernresten dem Umlaufsand beigemischt?
- Hat sich die Gasdurchlässigkeit verschlechtert?
- Hat das Formstoffsystem eine höhere Temperatur als sonst üblich?
- Hat sich der Binderanteil oder die Binderart in der Kernmacherei geändert?
- War seit dem Fehlereintritt eine merkbar höhere Luftfeuchtigkeit zu verzeichnen?
- Wurde die Verarbeitungszeit der fertigen Kernsandmischung verlängert? usw. usw.

- Wurden Modell-, Kernkasten-, Kokillen-, Werkzeugänderungen vorgenommen?
- Wurden neue oder instandgesetzte Einrichtungen, Maschinen oder Anlagen seit Fehlereintritt in Betrieb genommen?
- Wurde das Anschnitt- und Speisesystem verändert?
- Wurde die Modellplattenbelegung erweitert oder geändert?
- Wann wurden Kokillen oder Druckgußwerkzeuge das letzte Mal gereinigt, und wird diese Arbeit regelmäßig kontrolliert?
- Wurden an den Einstellungen der Druckgußmaschine (Gießdruck, zeitlicher Ablauf der hydraulischen Phasenfolge, Kolbengeschwindigkeit usw.) Veränderungen vorgenommen?
- Welche Veränderungen sind seit dem Fehlereintritt in der Gattierungsanlage, im Schmelzbetrieb, in der Formstoffaufbereitung, an der Formanlage, in der Kernmacherei, an der Druckgußmaschine usw. aufgetreten?
- Wann wurde mit dem Kunden/Konstrukteur über eine (gießtechnische) Optimierung des Gußteil-Designs gesprochen und mit welchem Erfolg? usw. usw.

Spezielle Fragen (formstoffbedingte Fehler)

Spezielle Fragen (fertigungsbezogene Fehler)

3 Chemische Analysen

Es ist schon aus Gründen der Fertigungskontrolle sinnvoll, von ausgewählten fehlerbehafteten Teilen oder Ausschußteilen chemische Analysen zu erstellen. Unbedingt notwendig sind aber chemische Analysen bei speziellen Fehlern wie beispielsweise Dross (Mg-Gehalt), Graphitentartungen (Al-, Ti-, Pb-, Ce-Gehalte), Kommafehlern (N- und Ti-Gehalte), Carbiden (V-, Cr-, Ti-, Mn- und Mo-Gehalte), harten Einschlüssen (Ca-Gehalt), aber auch Ermittlung des Glanzkohlenstoffbildungsvermögens von Kohlenstoffzusätzen bei Glanzkohlenstoffhäutchen. Das gilt sowohl für die Ursachenerfassung als auch für deren Absicherung.

Da bei Fehler- und Ausschußuntersuchungen immer reale Gußstücke untersucht werden und demzufolge auch aus diesen Teilen die Proben genommen werden, ist zumindest bei Gußeisenlegierungen ein Funkenspektrometer zur Analyse ungeeignet. Das Abfunken verlangt hier weißerstarzte Proben, so daß der Kohlenstoffgehalt nach der Verbrennungsmethode ermittelt werden muß. Hierbei ist wiederum zu beachten, daß beim Bohren von Probenspänen ein Graphitverlust auftreten kann und eine Verwendung von Probenplättchen empfohlen wird.

Für chemische Schnellanalysen an Magnesium- und Aluminiumlegierungen in Produktionsbetrieben werden die Metallproben in der Regel nach der Probennahme mit teil- oder vollautomatischen Systemen, z. B. mit Funkenspektrometern, mit optischer Emissionsspektralanalyse (OES) oder mit Röntgenfluoreszenzspektrometrie (RFA) analysiert. Es ist jedoch zu beachten, daß die Genauigkeit des gewählten Analyseverfahrens nicht die Genauigkeit der gesamten Analyse angibt. Dabei sind vor allem die Schritte der Probennahme und Probenvorbereitung zu berücksichtigen. Außerdem beruht die Genauigkeit der Messung auch auf der Kalibrierung und periodischen Kontrolle der Referenzproben, die den Analysenproben bzw. dem Gußgefüge in der chemischen Zusammensetzung ähnlich sind.

Sollten genaueste Analysen notwendig sein, ist es in seltenen Fällen sinnvoll, das Gußteil unter entsprechendem Abdeckmittel wieder einzuschmelzen und mit einem Probenlöffel wieder eine Analysenprobe zu entnehmen. Dabei ist aber darauf zu achten, daß sich unter Umständen durch den Schmelzprozeß die Gehalte einiger Elemente verändern können.

Werden Proben von Magnesiumlegierungen aus der Schmelze entnommen und untersucht, müssen sie auf Grund der Dichteunterschiede von Magnesium und seinen Legierungselementen gut umgerührt werden.

Bei allen chemischen Untersuchungen soll man sich darüber im klaren sein, daß im Vergleich zu den zu analysierenden Mengen die Analysen an verhältnismäßig geringen Probenmengen durchgeführt werden, d. h., es sind immer Mehrfachanalysen empfehlenswert.

4 Die metallographische Untersuchung

Je nach zu untersuchende Fehler wird nun hier zwischen Makro- und Mikrountersuchung unter- bzw. entschieden. Bei komplexen Fehlern werden in der Regel beide Untersuchungsmethoden angewandt.

4.1 Makrountersuchungen

Die makroskopische Untersuchung erfolgt mit bloßem Auge oder dem Stereomikroskop an Proben im Anlieferungszustand, d. h. an nicht präparierten Flächen.

Dadurch können Fehler im Material erkannt und Hinweise zu Werkstoffeigenschaften gewonnen werden.

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

Bruchflächenzustand

- Dauerbruch
- Poren, Lunker, Fremdeinschlüsse
- interkristalline Brüche
- transkristalline Brüche

Oberflächenbeschaffenheit

- Sandanhaftungen
- Porositäten
- Schlieren
- Schlacken
- Gasblasen
- Vererzungen usw.

4.2 Mikrountersuchungen

Metallische Werkstoffe sind lichtundurchlässig (opak), so daß ihre mikroskopisch zu betrachtende Struktur im Auflicht untersucht werden muß. Die gewünschten Strukturinformationen (Fehler, Einschlüsse, Gefüge usw.) werden dabei den Lichtstrahlen entnommen, die von einer präparierten Fläche des Werkstoffes, der Schlifffläche, reflektiert werden. Deshalb muß diese für die Gefügebeurteilung so wichtige Schlifffläche 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. Folgende notwendige Präparationsstufen sollten eingehalten werden:

- Probenahme
- Kennzeichnung
- Einbetten
- Schleifen
- Polieren
- Reinigung
- Kontrolle
- Kontrastierung (Ätzen)
- Dokumentation

4.3 Probenahme – Probenvorbereitung

Die Probenahme beginnt mit der Auswahl des Probenmaterials und der Festlegung der künftigen Schliffebene. Da Gußfehler fast ausschließlich dreidimensional sind, sollten mehrere parallel und/oder sich kreuzende Schliffebenen untersucht werden.

Eine entsprechende Größe der Probe ist also zu gewährleisten.

Anschliffe direkt auf die Fehleroberfläche sind in der Regel ungeeignet und nicht interpretierbar, die Schliffebene sollte daher senkrecht zur Oberfläche gelegt werden.

Grundsätzlich sind Proben sorgfältig zu behandeln, vor Verschmutzungen und Feuchtigkeit zu schützen und geeignet zu verpacken. Macht sich eine Reinigung von Proben trotzdem notwendig, so sind weiche Bürsten, Alkohol oder Aceton und trockene Druckluft günstig. Am besten reinigt man Proben im Alkohol/Acetonbad mit Ultraschall. Bei allen Reinigungsarbeiten ist darauf zu achten, daß keine lose anhaftenden Fehlermerkmale (Schlacke, Formstoff, Glanzkohlenstoff) verlorengehen können.

Bei der Probenahme wird die Schliiffprobe mit Hilfe eines Trennverfahrens dem Material entnommen. Hierbei besteht die Gefahr einer Beeinflussung der Materialstruktur in der Nähe der späteren Schliifffläche. Die Beeinflussungen können hervorgerufen werden durch Wärmeeinwirkungen, Verformungen, Verstärkung oder Neubildung von Rissen sowie Kantenschädigungen. Deshalb ist es empfehlenswert, das Naßtrennverfahren anzuwenden, bei dem die Trennscheibe aus einem Schneidmittel (Al_2O_3 , SiC, Diamant) und einem Bindemittel (Kunststoff, Gummi, Metall) besteht, welches durch Schleifen in einem Kühlmittel (Wasser) die Probe herausarbeitet. Bei weichen Werkstoffen (z. B. Aluminiumlegierungen) ist darauf zu achten, daß der Anpreßdruck durch die Wahl eines geeigneten Trenngerätes gering gehalten wird. Die spätere Schliifffläche hat dann eine ausgezeichnete Ebenheit und erfährt keine Veränderungen. Die so hergestellte Probe ist eindeutig zu kennzeichnen, ebenso die Stellen der Probenahme aus dem Gußteil und die späteren Schliiffebenen (Handskizze, Foto).

4.4 Schliiffherstellung

Die Kenntnis der Gefügeausbildung aller Gusswerkstoffe, insbesondere bei zu untersuchenden Fehlern, ist für die Materialbeurteilung unerlässlich. Makroskopische, vor allem aber mikroskopische Gefügeuntersuchungen sind für die Fehler- bzw. Schadensfallanalyse absolut notwendig. Neuerdings werden auch rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen in Verbindung mit Mikrosondenuntersuchungen immer häufiger angewendet, weil dadurch die Ursachen deutlich und mit hoher Genauigkeit interpretiert werden können.

Eine exakte Schliiffinterpretation setzt eine maximale Kantenschärfe des zu analysierenden Fehlers voraus. Dies ist aber nur mit eingebetteten Schliiffen, insbesondere mit Warmeinbettung mit mineralisch härteten Massen, möglich. Deshalb ist der erste Schritt der Schliiffherstellung das Einbetten. Vorher muß die Probe aber vorsichtig entgratet und von den bei der Vorbereitung verursachten Verunreinigungen befreit werden, denn diese können beim Schleifen und Polieren Spuren hinterlassen, die dann eine sichere Interpretation erschweren.

Um den Anforderungen an einen metallographischen Schliiff nachzukommen, muß nun die Schliifffläche einer schrittweisen Feinbearbeitung durch Schleifen unterworfen werden. Das Schleifen beseitigt Beschädigungen und verformtes Oberflächenmaterial unter geringster Hinzufügung neuer Verformungen. Es soll eine plane Oberfläche erreicht werden, deren Restverformung durch Polieren in kurzer Zeit entfernt werden kann.

Nichteisenmetalle und deren Legierungen dürfen keinesfalls trocken geschliiffen werden. Das Schleifen erfolgt naß und wird der Reihe nach auf Schleifpapieren mit den Körnungen 240, 320, 400 und 600 durchgeführt (Mg und Mg-Legierungen 400, 600, 1200 und 2400). Nach dem Schleifvorgang muß der Schliiff gründlich mit Wasser gereinigt und mit Alkohol nachgespült werden. Die Trocknung erfolgt mittels Fön.

Poröse Schlitze sollten einige Minuten im Ultraschallbad gereinigt werden, um zu vermeiden, daß eventuell in den Poren haftende Verunreinigungen und Schleifreste auf das Poliertuch gelangen. Schlitze, bei denen Einschlüsse im Gefüge untersucht werden sollen, dürfen so nicht gereinigt werden (Gefahr, daß die Einschlüsse herausgelöst werden).

Bei Gußeisenlegierungen ist das Schleifen ebenfalls sorgsam durchzuführen, da sonst zu viel Graphit aus der metallischen Grundmasse herausgerissen wird und eine unsachgerechte Beurteilung des Gefüges die Folge ist. Die Graphiteinlagerungen müssen hellgrau und scharf begrenzt gegen die Grundmasse sein. Auch hierbei wird naß geschliffen.

Das anschließende Polieren des Schliffes beseitigt Verformungen früherer Arbeitsgänge und führt zu einer fehlerfreien Schliffoberfläche. In der Regel wird in drei Stufen (drei unterschiedliche Poliertücher, Polierdauer je Stufe ca. 5 Minuten) poliert und zwischen jeder Stufe mit dem für das jeweilige Material typischen Ätzmittel zwischengeätzt. Fertig präparierte Schlitze sollten im Exsikkator aufbewahrt werden.

4.5 Ätzmittelzusammenstellung

Die Schlifffläche muß, um nach ihrer Präparation für eine metallographische Untersuchung geeignet zu sein, neben den allgemeinen auch noch speziellen Anforderungen genügen. Diese Anforderungen beziehen sich auf die Oberflächenbildung und auf die Fähigkeit der Schlifffläche, eine gewünschte Wechselwirkung mit dem auftreffenden Licht einzugehen. Um die Reflexions- und Absorptionseigenschaften der Strukturelemente im zu untersuchenden Werkstoff zu verbessern, muß dieser in der Regel geätzt werden, damit die erforderlichen Grau- und Farbkontraste zustande kommen.

Im Folgenden werden die für die Gießerpraxis wichtigsten Ätzverfahren genannt:

Grundgefüge in Gußeisen und Stahl

3%ige alkoholische Salpetersäure

Lösung: 97 ml Äthylalkohol
3 ml konz. Salpetersäure

Ätzung: 5 – 7 s bei Raumtemperatur

Wirkung: Graphit unverändert
Perlit graubraun gestreift oder körnig
Ferrit nicht angegriffen, bei stärkerer Ätzung Korngrenzen
Phosphideutektikum weiß mit dunklen Punkten
Zementit nicht angegriffen, umrandet
primär eutektische Zellen bei mehr als 0,1 % P mit
freiem Auge sichtbar

Phosphidnetz

10%ige Ammoniumpersulfatlösung

Lösung: 10 g Ammoniumpersulfat
100 ml dest. Wasser (Alle drei Wochen frisch bereiten)

Ätzung: 45 s bei Raumtemperatur

Wirkung: Phosphideutektikum hell, Grundmasse schwarz

Eisen

Zementit

Alkalische Natriumpikratlösung

- Lösung: 25 g Natriumhydroxid
75 ml dest. Wasser
zu 100 ml dieser Lösung werden 2 g Pikrinsäure zugefügt und 30 min am Wasserbad warm gelöst (Lösung immer frisch ansetzen)
- Ätzung: 10 min bei etwa 50 °C
- Wirkung: Zementit je nach Ätzdauer braun bis schwarz gefärbt
Phosphideutektikum, Ferrit und Chromkarbid nicht angegriffen

Eutektische Zellen (Klemm)

- Lösung: 50 ml kalt gesättigte Natriumsulfatlösung
2 g Kaliummetabisulfid
- Ätzung: 20 s bis 1 min, abhängig von Phosphor- und S-Gehalt
- Wirkung: Phosphideutektikum hell, Grundmasse dunkel, auch Ätzung auf Ferrit, Zwischenstufe, Martensit (dunkel), Zementit und Austenit (hell)

Nachweis von Steatit (Fe-Fe₃C-Fe₃P) im Gußeisen (Murakami)

- Lösung: 100 cm³ H₂O
10 g NaOH oder KOH
10 g Kaliumferrizyanid
- Ätzung: bei 20 – 50 °C, 2 bis 20 Minuten (frisch verwenden)
Fe₃C mit mehr als 10 % Cr wird rascher dunkel gefärbt als Fe₃C mit geringeren C-Gehalten, Fe₃P wird dunkel gefärbt.

Austenitische Stähle, Sigma Phase (V2A-Beize)

- Lösung: 100 cm³ H₂O
100 cm³ HCl
10 cm³ HNO₃
0,3 cm³ Vogels Sparbeize
- Ätzung: bei 50 °C einige Sekunden bis Minuten

Chromlegierte Stähle (WII)

- Lösung: 60 ml konz. HCl
16 g FeCl₃ + 50 ml H₂O
9 g (NH₄)₂ SO₄ + 50 ml H₂O
- Ätzung: 3 – 7 s bei RT

Primärgefüge (Jurich)

- Lösung: konz. Schwefelsäure mit kristallisierter Borsäure als Bodenkörper (etwa 1 g/10 ml)
- Ätzung: 20 s bei Raumtemperatur, polieren, wieder ätzen und diesen Vorgang so oft wiederholen, bis die Dendriten gut sichtbar sind.
- Wirkung: Die Primärdendriten erscheinen heller in der dunkleren Grundmasse.

Schwefel

Baumannabdruck

Lösung: 100 ml dest. Wasser
5 ml konz. Schwefelsäure

Arbeitsweise: Bromsilber-Photopapier wird 5 min lang in der Dunkelkammer in die Lösung eingelegt. Dann wird das Papier herausgenommen, man läßt es kurz abtropfen und drückt es so mit der Schichtseite rasch von einer Kante aus auf den fein geschliffenen und polierten, ungeätzten Schliff, daß keine Luftblasen eingeschlossen werden. Nach 5 min wird das Papier vom Schliff abgehoben, in Wasser gespült, normal ausfixiert, eine Stunde gewässert und getrocknet. Um den Rand des Papiers rein weiß zu halten ist es gut, den Abdruck in einem halbdunklen Raum anzufertigen. Wenn ein Abdruck mißlingt, genügt es nicht, den betreffenden Schliff nachzupolieren. Er muß, vom größten Schmirgelband beginnend, nachgeschliffen werden.

Wirkung: An Stellen von Sulfid-Einschlüssen wird das Papier dunkelbraun gefärbt.

Phosphorseigerungen (Czikel und Klemm)

Thiosulfatätzung

Lösung: 50 ml kalt gesättigte Natriumsulfatlösung
2 g Kaliummetabisulfid

Ätzung: 10 – 20 s bei Raumtemperatur

Wirkung: Es bildet sich auf dem Eisen eine Haut von braunem Eisensulfid, die um so dünner ist, je höher der Phosphorgehalt ist.

Kornflächenätzung besonders für Reinkupfer

Salpetersäure

Lösung: 30 ml dest. Wasser
70 ml konz. Salpetersäure
einige Tropfen Silbernitratlösung

Ätzung: 10 – 60 s, Raumtemperatur

Wirkung: Das Makrogefüge wird sichtbar, für mikroskopische Betrachtung nicht geeignet.

Korngrenzen oder Kornflächen an Kupfer und Bronzen

Ammoniak-Wasserstoffperoxid

Lösung: 50 ml Wasser
50 ml gesättigte Ammoniaklösung
20 – 50 ml 3%ige Wasserstoffperoxidlösung

Ätzung: 10 – 30 s, Raumtemperatur

Wirkung: Das Makrogefüge wird sichtbar, bei schwacher Ätzung auch für die mikroskopische Betrachtung geeignet.

Kupfer

Aluminium

Mikrogefüge aller Kupferlegierungen

Eisenchlorid

Lösung: 120 ml Äthylalkohol
30 ml konz. Salzsäure
10 g Eisenchlorid (FeCl₃)

Ätzung: 5 – 10 s bei Raumtemperatur

Wirkung: Die Gefügebestandteile, namentlich bei Messing und Bronze, werden sichtbar gemacht.

Kornflächenätzung

Mischsäure

Lösung: 30 ml konz. Salzsäure
10 ml konz. Salpetersäure
60 ml Wasser
Zusatz von so viel festem Natriumfluorid oder Kryolith, bis ein Bodensatz verbleibt (ca. 5 g)

Ätzung: 1 – 2 min bei Raumtemperatur. Dazwischen mehrmals unterbrechen und in Wasser spülen, damit die Temperatur nicht zu sehr steigt.

Wirkung: Das Makrogefüge wird sichtbar. Für mikroskopische Betrachtung nicht geeignet.

Mikrogefüge bei Legierungen (Keller und Wilcox)

Mischlösung

Lösung: 100 ml dest. Wasser
0,5 ml Flußsäure
2 ml konz. Salzsäure
1 ml konz. Salpetersäure

Ätzung: 10 – 20 s, Raumtemperatur

Wirkung: Silicium wird nicht angegriffen (violett)
Mg₂Si erst blau, dann schwarz
Übrige Gefügebestandteile meist nur umrandet

Mikrogefüge bei Legierungen

Natronlauge

Lösung: 100 ml dest. Wasser
1 g Natriumhydroxid

Ätzung: 10 – 20 s, etwa 50 °C

Wirkung: Auch Silicium wird etwas angegriffen, sonst wie oben

Gefüge von Reinaluminium und Aluminiumlegierungen unter 1 % Si

Elektrolytisches Polieren

Lösung: 100 ml Methylalkohol
6 ml konz. Perchlorsäure

Arbeitsweise: 5 – 15 s bei maximal 25 °C und gutem Rühren anodisch bei 48 Volt elektrolysieren

Wirkung: Silicium und Mg_2Si werden herausgelöst. Alle anderen Gefügebestandteil erscheinen umrandet gut sichtbar.

Kornorientierung (Lacombe)

Lösung: 25 ml konz. Salzsäure
25 ml konz. Salpetersäure
1 ml Flußsäure (in paraffinierter Schale)

Ätzung: 5 – 30 s, Raumtemperatur

Wirkung: Es entstehen Ätzfiguren, die Schnitte des Würfels darstellen.

Bisher hat sich ausnahmslos 3%ige alkoholische Salpetersäure bewährt.

Ätzung: ca. 10 s, Raumtemperatur

Wirkung: Entwicklung des Mikrogefüges

Ätzung mit Königswasser

Verhältnis Salzsäure zu Salpetersäure = 3 : 1

Ätzung: 10 – 30 s, Raumtemperatur

Wirkung: Entwicklung des Mikrogefüges

Lösung: 16 ml konz. Salpetersäure
16 ml Eisessig
68 ml Glycerin

Ätzung: einige Minuten bei Raumtemperatur

Wirkung: Antimon und antimonhaltige Phasen sind hell.

Mikroätzung von reinem Magnesium

Nitalätzmittel

Lösung: 100 ml Ethanol (96 %)
1 bis 8 ml Salpetersäure (65 %)

Ätzung: Sekunden bis Minuten, Raumtemperatur

Wirkung: Korngrenzen

Essigsäurelösung

Lösung: 100 ml Ethanol
5,2 g Zitronensäure

Ätzung: bis zu 5 min

Wirkung: Korngrenzen

Zink- und Bleilegierungen

Kobalt-Chrom-Molybdän-Legierungen (Visil)

Weißmetalle (Vilella)

Magnesium und Magnesium-Legierungen