

Präparation von Eisenwerkstoffen für die EBSD-Analyse (Electron BackScatter Diffraction)

Diese Ausgabe der Application Note konzentriert sich auf die Präparation von Eisenwerkstoffen für die Rückstreuелектроненbeugung, einschließlich praktischer Empfehlungen zur Präparation der Proben und den Voraussetzungen für die EBSD-Analyse. Verschiedene Arten von Eisenwerkstoffen wurden ausgewählt und der komplette Präparationsablauf sowie eine Beurteilung des Mikrogefüges, der Mikrotextur und der Korngrenzen werden beschrieben.

Da EBSD ein Analyseverfahren ist bei dem das Beugungssignal aus den der Oberfläche am nächsten liegenden Nanometern (5-50 nm) des Kristallgitters kommen, ist es absolut notwendig, dass diese oberste Schicht frei von Schäden und Verunreinigung oder Oxidationsschichten ist – was die Probenpräparation zu einem kritischen Punkt bei dem Einsammeln von guten EBSD Daten macht. Die Tatsache, dass die Probe in einem steilen Winkel gekippt wird (typischerweise 70°) bedeutet, dass das Oberflächenrelief auf ein absolutes Minimum beschränkt werden muss, damit Probleme durch Schattenbildung vermieden werden.

Es gibt eine Reihe von Verfahren für die Präparation von Proben für die EBSD-Analyse und die Wahl des richtigen Verfahrens hängt von der Zusammensetzung und dem Gefüge der Probe ab. Leider gibt es keine bestimmte Methode die für alle Werkstoffe geeignet ist, weshalb oft eine experimentelle Annäherung erforderlich ist um ein geeignetes Ergebnis zu erzielen.

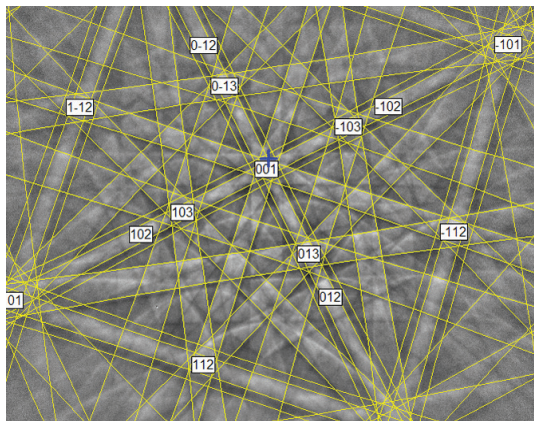
EBSD ist ein Verfahren bei dem das Rasterelektronenmikroskop (REM) verwendet wird um das Gefüge der Probe durch eine kristallografische Analyse zu beurteilen.

Das REM ist ein Elektronenmikroskop das die Probenoberfläche durch Abtasten mit einem gebündelten Elektronenstrahl in Form eines Rastermusters abbildet. Normalerweise haben Rasterelektronenmikroskope auch eine Einrichtung zur energiedispersiven Spektroskopie (EDS) was, in Kombination mit der EBSD-Analyse, den Vergleich von chemischer und kristallografischer Information in einem Bild ermöglicht.

Die EBSD-Analyse liefert eine vollständige Information über die Kristallorientierung und ermöglicht die Bestimmung und Unterscheidung von Phasen in Materialien, Messungen von Texturen, Charakterisierungen von Grenzen und Ausmessen von Verformungen. Daher wird die

EBSD-Analyse immer mehr zu einem gängigen Beurteilungs- und Messverfahren.

Die EBSD-Muster werden erzeugt wenn der Elektronenstrahl auf die Probenoberfläche trifft. Die Elektronenstreuung im Material verursacht, dass die Elektronen in alle Richtungen streuen. Elektronen die die Bragg² Bedingungen für eine Kristallebene erfüllen werden in eine bestimmte Richtung abgelenkt und zeigen die Kikuchi Bands³.

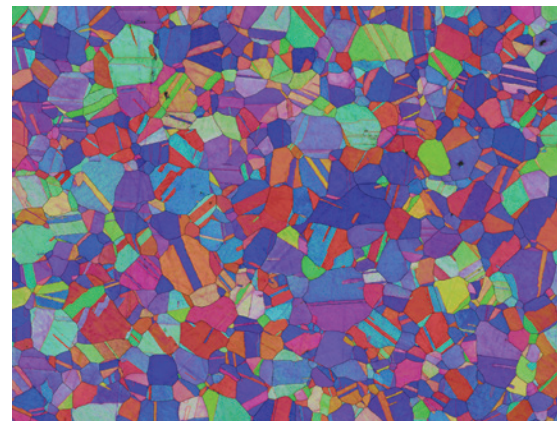


Kikuchi Bands einer kubisch flächenzentrierten (kfz) Kristallstruktur. Electron Backscatter Pattern (EBSP) eines Austenit, indexiert.

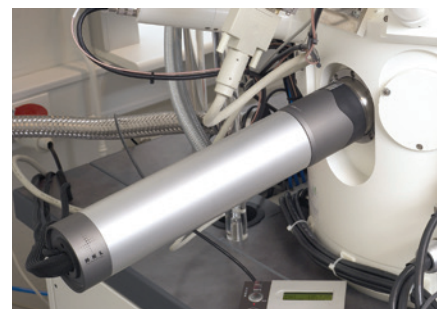
Den Electron BackScatter Pattern (EBSP) ähnliche Muster wurden als Erstes von Kikuchi (1928) beobachtet. Die EBSD-Analyse wie sie heute verwendet wird wurde in den 1980ern ursprünglich von Dingley entwickelt und dann in den frühen 1990ern von Wright. Gleichzeitig und unabhängig entwickelte Niels Schmidt in Dänemark eine generelle Lösung des computerunterstützten Index Problems, die als erstes die genaue Indexierung aller sieben Kristallsysteme ermöglichte.

Die Anwendung der Hough-Transformation⁴ ermöglichte die automatische Messung der Orientierung von EBS Pattern.

Heute wird die EBSD-Analyse in einer Reihe von verschiedenen Forschungsgebieten angewandt: in der metallverarbeitenden Industrie, der Raumfahrt-, Nuklear-, Automobil- und Mikroelektronikindustrie, Geowissenschaften usw. Ein EBSD System kann daher in dem einen Labor zur Charakterisierung der Textur einer Aluminiumlegierung verwendet werden und in einem anderen Labor zur Identifizierung unterschiedlicher Phasen in einem bleifreien Lot.



Electron Backscatter Diffraction (EBSD) Abbildung eines rostfreien Stahls, X5CrNi18-10, zur Bestimmung der Korngrößen und Kornorientierung. Originalvergrößerung 200x.



*Der Nordlys EBSD Detektor am REM.
Mit freundlicher Genehmigung von Oxford Instruments plc.*



*Der Nordlys EBSD Detektor in der REM Kammer.
Mit freundlicher Genehmigung von Oxford Instruments plc.*

Schwierigkeiten während der Präparation

Spezifisch für die Verwendung im REM:

Größe der Proben kann variieren und ist wegen der Größe der REM Kammer begrenzt. Generell sollte die Probengröße 2 x 1 x 0.5 - 1.2 cm (BxLxH) nicht überschreiten.

Der Elektrische Kontakt ist nicht optimal.

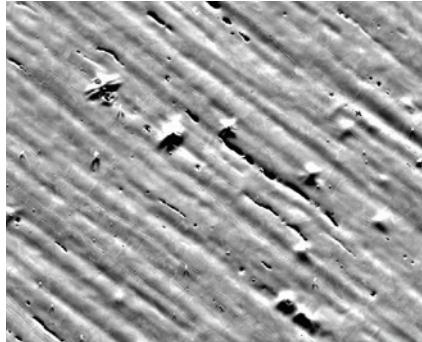
Die Probe wird aufgeladen.

Spezifisch für den Verlauf der metallografischen Probenpräparation:

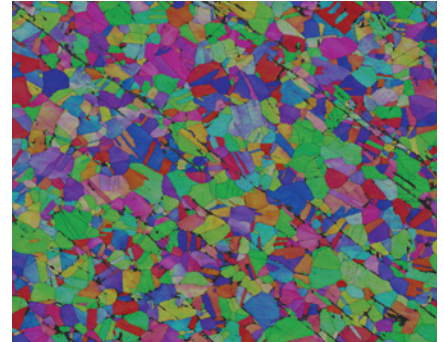
Verformung und ausgeprägtes Relief an der Probenoberfläche.

Reinigung vor der Untersuchung. Unzureichende Reinigung ergibt keine qualitativ gute EBSD Abbildung.

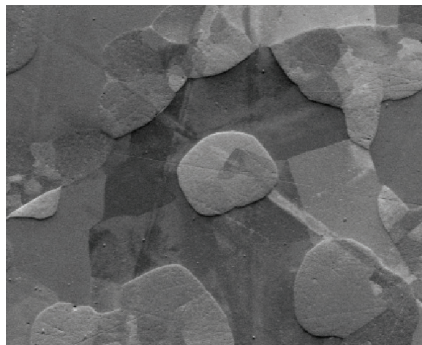
Schutz der präparierten Proben vor Kratzern und der Atmosphäre.



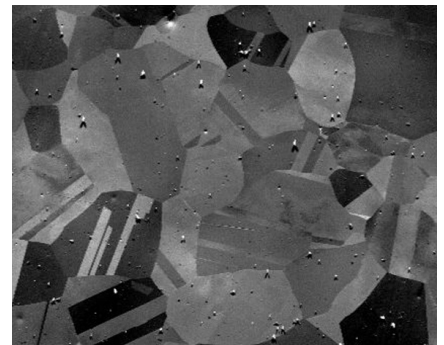
Tiefe Kratzer in einem X5CrNi18-10 rostfreien Stahl, REM, Originalvergrößerung 300x.



EBSD Abbildung einer vor dem elektrolytischen Polieren nicht ausreichend geschliffenen Probe. IPF⁵ Färbung. Die Verformung zeigt sich in den schwarzen Streifen an der Probenoberfläche, Originalvergrößerung 300x.



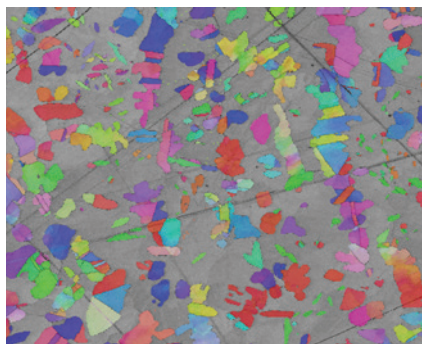
Kratzer und tiefe Verformung bei einem Duplex-Stahl, REM, Originalvergrößerung 1000x.



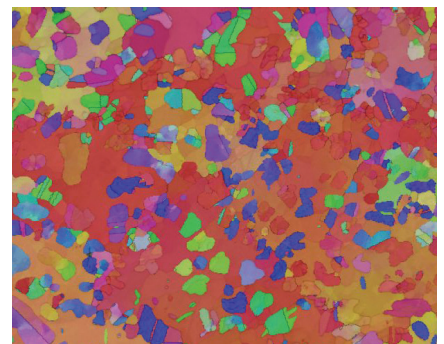
Die kleinen weißen Punkte sind Flecken auf der vorbereiteten Oberfläche. Von diesem Bereich ist keine ausreichend gute EBSD Abbildung möglich. REM, Originalvergrößerung 1000x.

Lösung

- Auswahl der richtigen Trennscheibe, um Gefügeschäden so gering wie möglich zu halten
- Geeignete Einbett- oder Einspannmethode.
- Wahl der richtigen mechanischen Präparationsmethode (unter Verwendung von harten Präparationsunterlagen und kurzen Polierzeiten).
- Elektrolytisches Polieren
- Gründliche Reinigung und Schutz der präparierten Oberflächen sicherstellen.

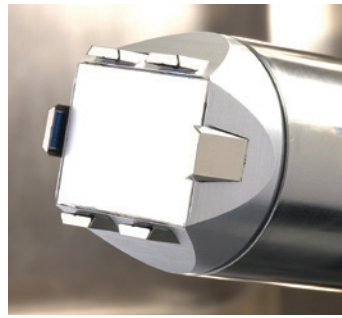


EBSD Abbildung eines nicht ausreichend polierten Duplex-Stahls, IPF Färbung. Originalvergrößerung 500x.



EBSD Abbildung einer gut vorbereiteten Oberfläche des gleichen Duplex-Stahls. Originalvergrößerung 500x.

Beschreibung des EBSD-Arbeitsprinzips



Phosphorschirm des Nordlys EBSD Detektors.
Mit freundlicher Genehmigung von Oxford Instruments plc.

Die EBSD-Analyse (Rückstreuелектроненбеуung) beruht auf einem REM Verfahren zur Messung von Kristallorientierungen und kann theoretisch für jeden kristallinen Werkstoff angewandt werden. EBSD ermittelt die absolute Kristallorientierung mit einer sub-mikronen Auflösung und ist auch ein zweckmäßiges Verfahren zur Unterscheidung von Phasen.

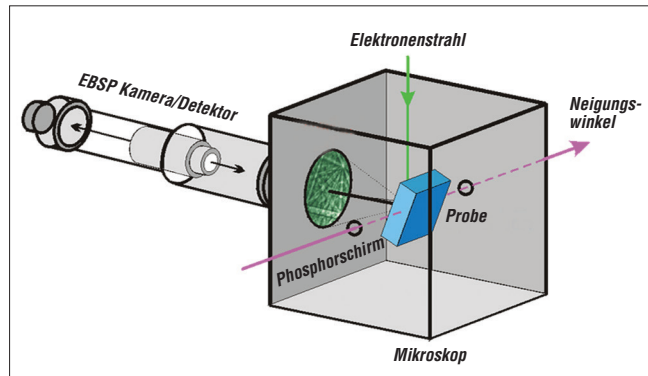
Für die EBSD-Analyse wird eine hochglanzpolierte Probe in einem steilen Winkel (normalerweise 70°) in den einfallenden Elektronenstrahl gerichtet. Mit mittlerer bis hoher Beschleunigungsspannung des Elektronenstrahls (10 to 30 kV), und einer Strahl-Stromstärke von 1 bis 15 nA, wird der Elektronenstrahl an dem Punkt an dem er auf die Probe trifft am Kristallgitter der Probe gebeugt und es entsteht ein kugelförmiges Rückstreuелектроненбеуungsmuster (Electron Backscatter Diffraction Pattern, EBSD) welches sich in allen Richtungen ausbreitet.

Der EBSD-Detektor kreuzt einen Teil dieses Beugungsmusters. Der Detektor ist eine Digitalkamera in einem Gehäuse das vakuumverträglich und einfahrbar ist. Der CCD-Chip der Kamera wird durch einen Phosphorschirm beleuchtet der das sphärische Beugungsmuster kreuzt. Der Phosphor wandelt die gebeugten Elektronen in ein geeignetes Licht zum Erfassen für den CCD-Sensor. Das EBSD wird analysiert und eindeutig durch die Gitterparameter des bestimmten Kristalls unter dem Elektronenstrahl und durch seine Orientierung im Raum definiert. Mögliche Gleichheiten und Orientierungen des Kristalls werden so lange mit dem EBSD verglichen bis die beste Anpassung gefunden ist. Das Muster wird dann als indexiert erachtet.

Durch die immer schneller werdende Analyse der Muster ist es praktisch mit dem Strahl vielfache Punkte an der Probenoberfläche abzurastern um eine Orientierungsabbildung zu erstellen. Das ist im Augenblick die gebräuchlichste Methode für eine Untersuchung des Mikrogefüges mit der EBSD-Analyse.

Praktische Empfehlungen für die Bedingungen zur EBSD-Analyse:

Viele Probleme die bei der Erstellung von EBSD Daten auftreten ergeben sich durch die Schwierigkeit der Erzeugung von EBSD Pattern. Manchmal sind diese Probleme unvermeidlich – zum Beispiel auf Grund des Zustands der Probe (schlechte Präparation, tiefe Verformung usw.). Manchmal können die Ergebnisse durch die sorgfältige Einrichtung des EBSD-Detektors und Bildverstärkung verbessert werden.



Schematisches Diagramm einer herkömmlichen Einrichtung für die EBSD-Analyse.
Mit freundlicher Genehmigung von Oxford Instruments plc.

Obwohl Größe und Form von REM Kammer und Tisch oft begrenzt sind, können geringe Änderungen in der Geometrie von Probe zu Detektor eine eindeutige Verbesserung des EBSD bringen:

- Den Phosphorschirm so nah wie möglich an die Probe heranbringen, aber noch im sicheren, komfortablen Abstand – das ergibt ein stärkeres Signal und einen größeren Erfassungswinkel.
- Den Arbeitsabstand so justieren, dass das stärkste Signal des EBSD Pattern im Rohzustand in der Mitte des Phosphorschirms liegt.

Die typischen EBSD Betriebsbedingungen sind 1-15 nA Sondenstromstärke mit 15-30 kV Beschleunigungsspannung. Die EBSD Pattern können jedoch verbessert werden indem man von diesen Bedingungen abweicht. Generell erzeugt ein erhöhter Sondenstrom ein stärkeres Signal und damit ein besseres EBSD Pattern.

- Bei sehr verformten oder sehr feinkörnigen Proben kann das Muster verbessert werden indem man die Größe des Elektronenstrahlpunkts auf der Probenoberfläche verringert – z.B. durch die Reduzierung des Sondenstroms.
- Bei beschichteten Proben hilft es manchmal die Beschleunigungsspannung auf 25-30 kV zu erhöhen, um die Schicht zu durchdringen.

Forescatter-System oder Orientierungs-kontrastabbildung:

Das Oxford Instrument Forescatter Detektor (FSD) System produziert Orientierungskontrastbilder einer Vielzahl von Materialien. Für die Erzeugung von Mikrogefügebildern werden mehrere Siliziumdioden verwendet die um den EBSD Phosphorschirm angeordnet sind. Für einige Materialien erzeugen die obersten Dioden ein Kontrastsignal der Atomnummern. Alle REM Bilder in dieser Application Note wurden mit dem Forescatter-System erzeugt.

Phosphorschirm

Die Form des Phosphorschirms des Nordlys Detektors stimmt genau mit der Form des CCD-Chips der Kamera überein. Das bedeutet, dass das ganze Beugungsmuster das auf dem Phosphorschirm abgebildet wird in der CHANNEL Indexierungs-Software verwendet wird: das erhöht sowohl die Zuverlässigkeit als auch die Genauigkeit der EBSD Daten.

Aufladen der Probe

Wenn sie nicht geerdet ist, lädt sich die Probe während der Untersuchung im REM auf. Das kann verhindert werden indem man ein leitendes Einbettmittel wie PolyFast verwendet, welches für die Arbeit im REM geeignet ist. Bei Proben die in anderen Harzen eingebettet sind, stellt man eine Leitung zwischen Probe und Halter her, indem man die Oberfläche mit Gold oder Kohlenstoff besputtert oder mit leitender Farbe oder Klebestreifen abdeckt.

Einspannen der Probe

Es sollte sichergestellt werden, dass die Probe fest im Halter sitzt, indem man z.B. Silberkleber benutzt, um Abdrift zu verhindern die durch die Bewegung der Probe verursacht werden.

Schwierigkeiten bei der Präparation



Abb. 1: Die vielseitige Secotom-10 Trennmaschine

Die großen Unterschiede in Größe, Form und physikalischen Eigenschaften von Eisenwerkstoffen von denen Proben mit EBSD-Analyse untersucht werden, können unterschiedliche Vorgehensweisen betreffs des Präparationsprozesses erfordern, z.B. mechanische und/oder mechanisch/elektrolytische Präparation. Deswegen ist es wichtig vor der Präparation zu entscheiden wie die Präparation durchgeführt werden soll.

Muss die Probe getrennt werden Die Probe muss an der für die Analyse interessanten Stelle getrennt werden, in der geeigneten Ausrichtung und mit einer geeigneten Trennscheibe. Muss die Probe eingebettet werden oder nicht? Die richtige Einbettung erleichtert die Handhabung während des mechanischen Präparationsvorgangs, aber andererseits ist es einfacher einen uneingebetteten Schliff elektrolytisch zu polieren.

Dann muss eine geeignete mechanische oder mechanisch/elektrolytische Präparationsmethode gewählt werden um so gut wie keine Verformung und ein minimales Relief zu verursachen. Eine mechanische Präparation ist normalerweise zufrieden stellend aber sehr zeitaufwendig. Elektrolytisches Polieren anschließend an eine kurze mechanische Präparation ergibt ein schnelleres Ergebnis und höheren Kontrast und eignet sich für homogene Materialien. Um eine EBSD-Abbildung mit optimaler Qualität zu erzielen ist es zusätzlich noch wichtig, dass die präparierten Oberflächen gründlich gereinigt und bis zum Beginn der eigentlichen Analyse gut geschützt werden.

Empfehlungen für die Präparation

Trennen

Die Größe der Probe muss häufig auf dem verfügbaren Raum in der Vakuumkammer des REM angepasst werden.

Die gebräuchlichste Probengröße ist 2 x 1 x 0,5 – 1,2 cm (BxLxH).

Das Mikrogefüge eines gesamten Stücks muss nicht überall gleich sein. Deswegen ist es wichtig im Vorhinein zu entscheiden wo der Schnitt am Besten gelegt werden soll, um sicher zu stellen, dass die Probenausrichtung erhalten bleibt, z. B. Walzrichtung, Querschnitt.

Um tiefe Verformung oder Verbrennungen zu vermeiden wird empfohlen eine metallografische Nasstrennmaschine zu verwenden, z. B. Secotom-10 (Abb.1). Die richtigen Trennpa-
rameter müssen gewählt werden, von denen der wichtigste die Trennscheibe ist. Eine Alu-

miniumoxidscheibe, die man je nach Härte des Materials auswählt, ist am Besten zum Trennen von Eisenwerkstoffe geeignet. Normalerweise ist das eine mittelharte bis weiche Trennscheibe. Für Eisenwerkstoffe die große Mengen von Karbiden enthalten empfiehlt sich eine CBN-Trennscheibe. Nach dem Trennen wird die Probe mit Wasser und Alkohol abgespült und gut getrocknet um ein Korrodieren zu verhindern.

Einbetten

Wenn Einbetten erforderlich ist, um die Handhabung während der mechanischen Präparation zu erleichtern, wählt man ein leitendes Einbettmittel welches für das REM geeignet ist, da damit das Aufladen verhindert wird. Zum Beispiel eignet sich das Warmeinbettmittel PolyFast mit Graphitpulver. Um eine gute Haftung der Probe an das Einbettmittel zu gewährleisten, muss die Probe mit Alkohol entfettet und gründlich und sorgfältig mit dem Fön getrocknet werden. Die eingebettete Probe sollte hoch genug sein, dass sie in ein automatisches Schleif- und Poliergerät eingesetzt werden kann, aber nicht zu hoch, damit sie noch in die REM Kammer passt. Es werden 25 oder 30 mm Durchmesser und 5-12 mm Höhe empfohlen.

Praktische Hinweise:

- Im Gegensatz zu der normalen Empfehlung, den Schliff nicht zu sehr an den Rand der Einbettung zu schieben, da diese sonst an der Kante reißen könnte, sollte die Probe nahe an den Rand geschoben werden um den Abstand zwischen Probe und Elektronenstrahl im REM zu verringern.



- Schlitze die höher sind als 5-12 mm können präpariert und anschließend abgetrennt werden. Die präparierte Fläche muss während des Trennens geschützt werden (Abb. 2).

- Falls die eingebettete Probe für die automatische Poliermaschine nicht hoch genug ist, kann man auf die Rückseite eine Blindprobe mit doppelseitigem Klebeband aufkleben, die dann später einfach wieder entfernt werden kann (Abb. 3).

- Wenn nicht-leitende Einbettungen präpariert und mit EBSD untersucht werden sollen, muss man sie entweder mit leitendem Klebeband, oder noch besser mit leitendem Kleber besputtern oder bedampfen. Dafür muss die präparierte Probenfläche dann abgedeckt werden, da an der unbeeinflussten Fläche die

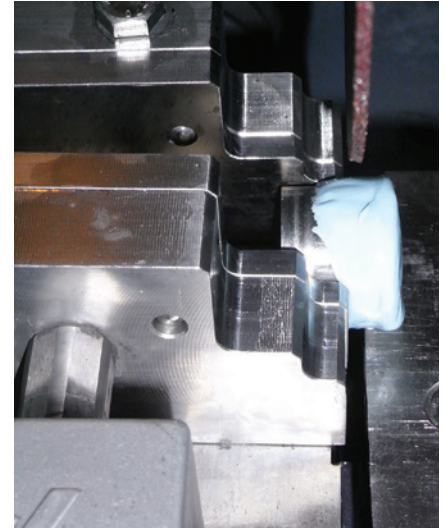


Abb. 2: Vorbereitete Probenoberfläche vor dem Trennen zum Schutz mit Replifix abgedeckt.

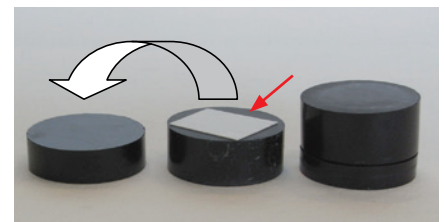
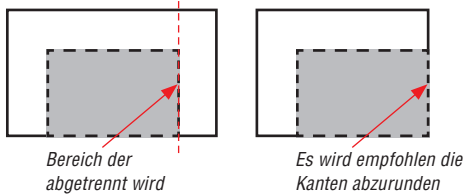


Abb. 3: Eine Blindprobe wird mit doppelseitigem Klebeband auf einen Schliff geklebt der nicht hoch genug ist für die Probenhalterscheibe zur automatischen Präparation von Einzelproben.

besten Ergebnisse erzielt werden. Da viele selbstklebende Metallbänder nicht-leitenden Kleber haben, muss man an den Stoßkanten leitenden Kleber verwenden.

- Wenn eine Probe die in PolyFast oder in einem nicht-leitenden Einbettmittel eingebettet ist elektrolytisch poliert werden soll, muss eine gute elektrische Verbindung zwischen präparierter Fläche und der Anode des Poliergeräts hergestellt werden.



Das kann auf verschiedenste Weise erreicht werden:

- Durch Zerstörung der Einbettung. Das ist keine optimale Lösung, da es die präparierte Fläche beschädigen kann.

- Verwendung von Silberkleber. Das ist auch keine geeignete Lösung, da der Silberkleber dort wo er aufgebracht wird Hitze erzeugt.

- Das Abtrennen der Einbettung, so dass die Probe an der Seite zugängliche ist. Silberkleber, leitendes Klebeband oder Folie kann verwendet werden um die elektrische Verbindung herzustellen.

Diese Proben können vor dem elektrolytischen Polieren mit automatischen Geräten mechanisch präpariert werden. Dazu empfiehlt es sich die getrennten Kanten abzurunden um einen übermäßigen Verschleiß der Poliertücher vorzubeugen.

Handhabung von uneingebetteten Proben

Runde, uneingebettete Schleife mit 25 oder 30 mm Durchmesser lassen sich einfach handhaben. Ist die Höhe nicht ausreichend, kann man, wie schon erwähnt, eine Blindprobe auf die Rückseite kleben.

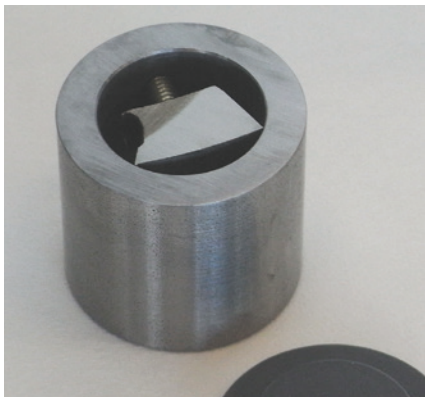


Fig. 4: Kleine, unregelmäßige Probe in einen Halter eingespannt.

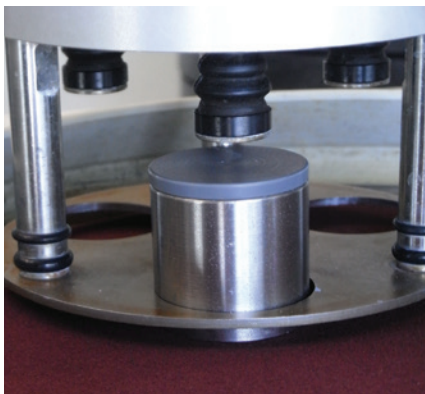
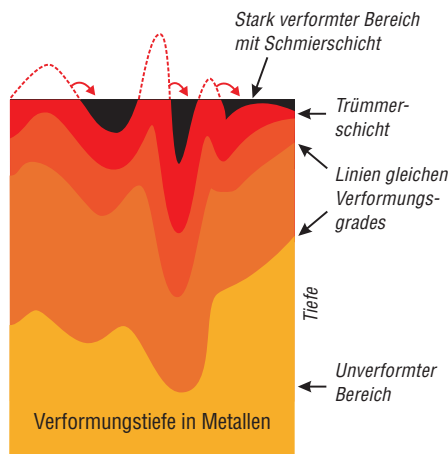


Fig. 5: Halter mit Probe fertig zum Polieren.



Für kleine und unregelmäßige Proben ist ein speziell angefertigter Halter sehr praktisch (Abb. 4). Die Probe kann eingespannt und mit dem Halter präpariert werden. Der Druckfuß der Schleif/Poliermaschine überträgt die notwendige Kraft von oben (Abb. 5).

Uneingebettete Proben, und solche die in diesen Halter eingespannt werden, sind leichter elektrolytisch zu polieren, da so die beste elektrische Verbindung mit dem Eisenwerkstoff hergestellt wird.

Schleifen und Polieren

Für die Vorbereitung von Eisenwerkstoffen für die EBSD-Analyse können verschiedene mechanische oder mechanisch/elektrolytische Präparationsmethoden gewählt werden. Zufriedenstellende Ergebnisse für Eisenwerkstoffe können durch konventionelle Präparation mit mechanischem oder elektrolytischem Polieren erzielt werden. Durch elektrolytisches Polieren wird jedoch ein besserer Kontrast bei der Stahlmatrix erzielt.

Die Verformungstiefe nach dem Trennen eines Eisenwerkstoffs liegt im Mikrometerbereich. Abhängig von der Härte des Materials sind das ca. 100 - 300 µm. Durch Schleifen und Polieren muss genügend Material abgetragen werden ohne neue Verformung einzuführen. Mechanische Präparation, gefolgt von einer elektrolytischen Politur, ist die effizienteste Präparation für homogene Materialien.

Mechanische Präparation

Für die EBSD-Analyse von Eisenwerkstoffen wird für das Planschleifen SiC-Papier empfohlen, ganz gleich wie hart die Probe ist. Außerdem sollten sehr grobe Körnungen und hohe Drücke vermieden werden damit keine tiefen Verformungen verursacht werden. In der Regel sollte die feinste Körnung, die im Verhältnis zur Schleiffläche möglich ist zum Planschleifen verwendet werden. Für eine maximale Planheit wird mit Diamant auf einer harten Scheibe fein

geschliffen, gefolgt von gründlichem Diamantpolieren mit niedrigem Druck auf einem mittelharten bis weichen Tuch.

Die Endpolitur wird mit Siliziumoxid (OP-S/OP-U) oder Tonerde (OP-AA) durchgeführt. Es sollte so lange poliert werden bis ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht ist. Es wird darauf hingewiesen, dass Reste von Verformung vom Planschleifen, die nicht durch Feinschleifen entfernt wurden, nicht durch das Endpolieren beseitigt werden können.

Die verschiedenen Eisenwerkstoffe die in diesem Beitrag behandelt werden, wurden direkt nach dem mechanischen oder elektrolytischen Polieren mit der EBSD Methode untersucht

Stahl C45

Rostfreier Stahl (X5CrNi18-10)

Werkzeugstahl (9CrWMn)

Gusseisen mit Kugelgraphit (GGG60)

Duplex-Stahl

Normalerweise erfordern Eisenwerkstoffe die für metallografische Zwecke präpariert werden für die Beurteilung im optischen Mikroskop eine Kontrastierung des Gefüges. Dieser Kontrast wird durch die Erzeugung eines Reliefs zwischen den Gefügebestandteilen mit Hilfe chemischer Ätzmittel bewirkt, oder durch Erzeugung von Schichten mit unterschiedlichen Dicken auf der Schleifoberfläche. Manchmal wird auch für die EBSD-Analyse geätzt, aber meistens ist der Kontrast dann zu hoch und verursacht Probleme durch Schattenbildung, auch können Oxidschichten die Beugung vollkommen unterdrücken.

Fig. 6: Mittegroßes, automatisches Schleif/Polier-System TegraPol-25/TegraForce-5 und Tegradoser-5.



Stufe	PG	FG	DP 1		DP 2	OP
Unterlage	Foil/Paper 320	MD-Largo	MD-Dur		MD-Nap	MD-Chem
Abra-siv	Typ	SiC	Diamond		Diamond	Colloidal Silica
	Große	#320	9 µm		1 µm	0.04 µm
Suspension / Lubrikant	Wasser	DiaPro Allegro/Largo 9	DiaPro Dur 3		DiaPro Nap B 1	OP-S NonDry
U/min	300	150	150		150	150
Kraft (N)	30	30	30	15	10	10
Zeit (min)	1	5-10	5	5	5	1-5

Diese Kontrastiermethoden sind für die EBSD-Analyse von Eisenwerkstoffen nicht geeignet und normalerweise wird die polierte Fläche unkontrastiert abgerastert.

Für die EBSD-Analyse stehen normalerweise nur wenige, kleine Proben zur Verfügung. Deswegen ist ein mittleres bis kleines Präparationsgerät, wie in Abb. 6 gezeigt, ausreichend. Die in dieser Application Note angegebenen

mechanischen Präparationsmethoden beziehen sich auf Einzelproben mit 30 mm Durchmesser und ein automatisches Präparationssystem mit einer Schleif/Polierscheibe mit 200 mm Durchmesser. Eine noch sanftere Politur kann mit einem LaboPol-4 (12-120 U/min)/ LaboForce-1 (8 U/min) mit niedrigen Umdrehungszahlen durchgeführt werden. Das bedeutet, dass die Zeiten der einzelnen Präparationsstufen verlängert werden müssen.

Grundmethode für die Präparation von Eisenwerkstoffen

Diese Präparationsmethode ist die Basis der mechanischen Präparation für Eisenwerkstoffe für die EBSD-Analyse.

Hinweis:

- Alternativ zu DiaPro können polykristalline Diamant-suspensionen P, 9 µm, 3 µm und 1 µm mit blauem Schmiermittel verwendet werden.
- DP 1 wird zwei Mal für 5 Minuten mit unterschiedlicher Kraft durchgeführt.

Stähle mit Ferrit und Zementit

Der gesamte Vorgang ist für Stähle mit Ferrit und verschiedenen Zementitanteilen geeignet. Das Ergebnis bei einem Kohlenstoffstahl (C45) ist in den Abb. 7-10 zu sehen.



Abb. 7: C45 Stahl, geätzt mit 3 % Nital. Weißer Ferrit und dunkler Perlit. Hellfeld, Originalvergrößerung 200x.

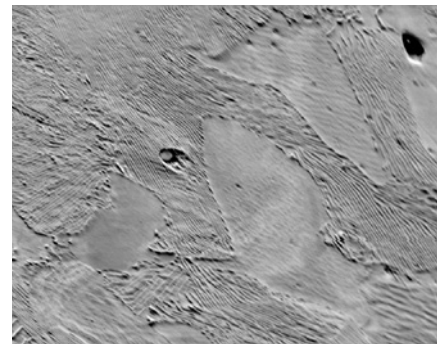


Abb. 8: Forescatter Diffraction Abbildung des C45 Stahls, REM, Originalvergrößerung 2000x.

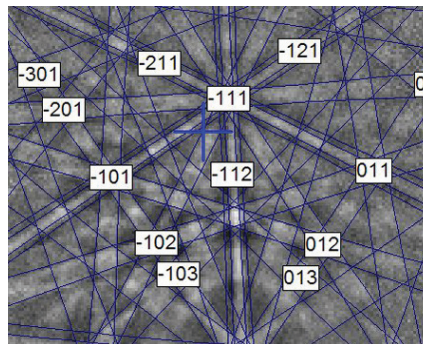


Abb. 9: EBSD Pattern von Ferrit, kubisch raumzentriert (krz) in C45 Stahl, indexiert.

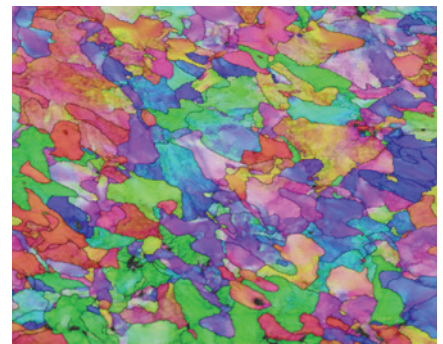


Abb. 10: EBSD-Abbildung von C45 Stahl mit IPF Färbung. Zur Korngrößenbestimmung und Kornorientierung, Originalvergrößerung 500x.

Abb.16: Aufbewahrung der vorbereiteten Schlitte im Exsikkator

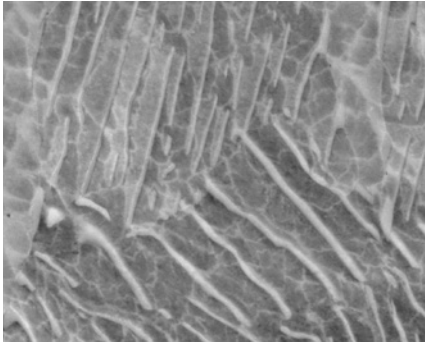


Abb.11: Perlit (Ferrit und Zementit) in C45 Stahl, REM, Originalvergrößerung 20.000x.

Die Bestandteile von Perlit (Ferrit und Zementit) können auch mit der EBSD-Analyse mit einer sehr viel höheren Vergrößerung, z.B. 20.000x, sichtbar gemacht werden (Siehe Abb.11 und 12).

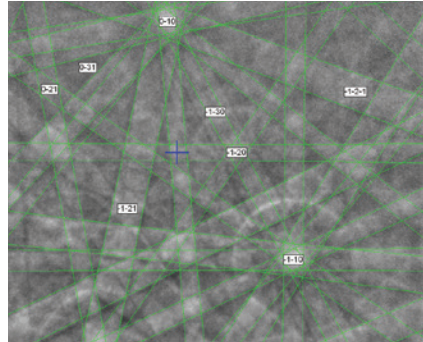


Abb.12: EBS Pattern des Zementits (Fe₃C) in C45 Stahl, indexiert.

Reinigung

Eine gute Reinigungsroutine ist unerlässlich für ein optimales Präparationsergebnis. Reinigen zwischen den einzelnen Präparationsstufen verhindert die Verschmutzung der Präparationsoberflächen mit verschleppten, größeren Schleif/Polierpartikeln der vorangegangenen Präparationsstufen.

Nach dem Planschleifen mit SiC-Papier werden die einzelnen Schlitte und die Probenhalterplatte mit Wasser gereinigt und mit sauberer Druckluft getrocknet.

Während des Feinschleifens und Polierens werden Diamanten auf die Präparationsoberfläche zugegeben, was einen schwarzen Abrieb an den Proben und der Probenhalterplatte hinterlässt

Zum Reinigen besprüht man die Schlitte mit einem neutralen Spülmittel, wäscht und spült sie mit viel Wasser, spült mit Äthanol nach und trocknet sie dann mit sauberer Druckluft.

Nach der Endpolitur mit Siliziumoxid oder Tonerde wird das Poliertuch 10-20 Sekunden mit Wasser gespült und reinigt damit gleichzeitig die Proben und den Probenhalter. Danach werden die einzelnen Proben sofort mit Spülmittel besprüht und gereinigt indem man vorsichtig mit der Innenseite des Daumens über die Oberfläche reibt. Danach wird wieder mit Wasser und Äthanol abgespült und unter kräftiger Warmluft getrocknet. Nach jeder Präparationsstufe wird auch der Probenhalter aus der Maschine genommen und gereinigt.

Die Proben dürfen unter keine Umständen ungetrocknet mit Wasser auf der Oberfläche herumliegen, besonders nicht nach der Endpolitur. Es führt zu Flecken, Korrosion und Verfärbungen die die Qualität der nachfolgenden Analyse beeinträchtigen können.

Falls die EBSD Untersuchung nicht direkt nach der Präparation der Probe erfolgen kann, muss die präparierte Fläche geschützt werden, um Veränderungen zu vermeiden (Staub oder Schmutz auf der Oberfläche, Bildung von Oxidschichten, Feuchtigkeit) Das kann entweder mit einem Schutzlack erreicht werden (Struers Protecting Lacquer) der mit Aceton entfernt werden kann, oder indem man die Probe in einem Exsikkator aufbewahrt (Abb.16).

Hochlegierte Stähle

Die Grundmethode für die mechanische Präparation, mit Ausnahme der 1µm Stufe, ist auch für hochlegierte, rein austenitische Stähle geeignet

Das Ergebnis für rostfreien Stahl X5CrNi18-10 ist in den Abb.13-15 zu sehen, und Abb. 25-30 zeigen eine Kombination von ferritischem und austenitischem Gefüge eines Duplex-Stahls.

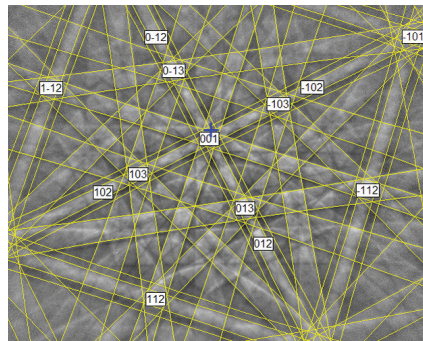


Abb.14: EBS Pattern von Austenit, kfz, des X5CrNi18-10 rostfreien Stahls

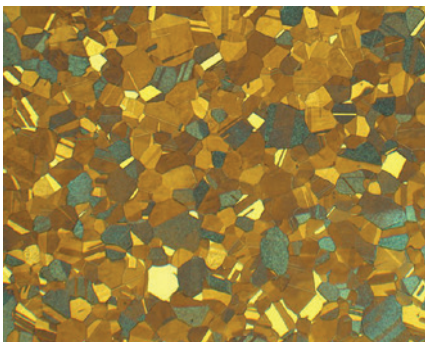


Abb.13: Austenit in einem X5CrNi18-10 rostfreien Stahl, farbgeätzt mit Beraha II, Hellfeld, Originalvergrößerung 200x.

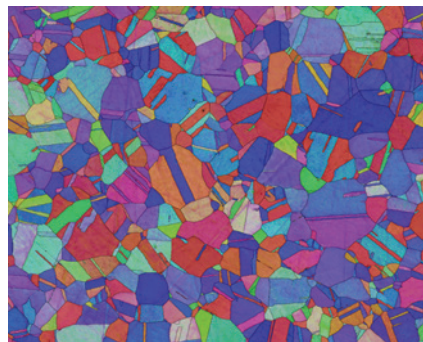


Abb.15: Electron Backscattered Diffraction (EBSD) Abbildung eines X5CrNi18-10 rostfreien Stahls. Zur Bestimmung von Korngröße und Kornorientierung. Originalvergrößerung 200x.

Andere Eisenwerkstoffe

Die ersten drei Präparationsstufen der schon beschriebenen Grundmethode sind für alle Eisenwerkstoffe gleich. Kleine Änderungen in den Feinpolierstufen verbessern die Qualität der EBSD Abbildungen bei einigen speziellen Anwendungen.

Gehärtete Stähle

Das verzerrte Gitter des Martensits erschwert eine gute EBSD Abbildung. Für Kohlenstoffstähle und niedrig legierte Stähle mit verschiedenen Anteilen von Martensit lassen sich durch eine lange Feinpolitur mit Diamant

gute Ergebnisse erzielen. Um danach eine gute Oberfläche mit wenig Relief zu erzielen wird die Endpolitur mit Tonerde (OP-AA) ausgeführt. Die Ergebnisse für einen Werkstoffstahl (9Cr-WMn) sind in den Abb. 17-10 zu sehen.

Hinweis:

Abhängig von ihrer Größe und Beschaffenheit können auch zweite Phasen und Einschlüsse in Stählen mit der EBSD-Analyse identifiziert werden. Einige Beispiele von Gefügebestandteilen die in Stählen mit der EBSD-Analyse gefunden werden, sind Eisen-, Bor-, Silizium- und Chromkarbide, Titankarbonitride, Magnesiumsulphide und Eisenoxide.

Gehärteter Stahl							
Stufe	PG	FG	DP 1		DP 2	DP 3	OP
Unterlage	Foil/Paper	MD-Largo	MD-Dur		MD-Nap	MD-Nap	MD-Chem
Abra-sive	Typ	SiC	Diamond		Diamond	Diamond	Alumina
	Große	#320	9 µm		3 µm	1 µm	¼ µm
Suspension / Lubrikant	Wasser	DiaPro Allegro/Largo 9	DiaPro Dur 3		DiaPro Nap B 1	DiaPro Nap ¼	OP-A
U/min	300	150	150		150	150	150
Kraft (N)	30	30	30	15	10	10	10
Zeit (min)	1	5-10	5	5	5	5	5

Hinweis: - Alternativ zu DiaPro können polykristalline Diamantsuspensionen P, 9 µm, 3 µm und 1 µm mit blauem Schmiermittel verwendet werden.

- DP 1 wird zwei Mal für 5 Minuten mit unterschiedlicher Kraft durchgeführt.

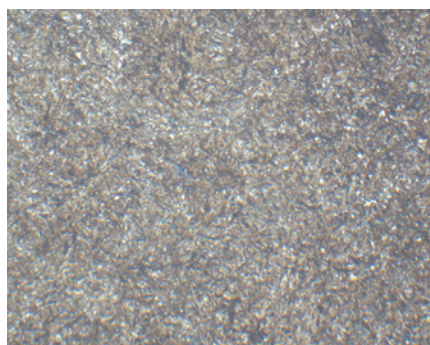


Abb. 17: Martensit in einem 9CrWMn Werkzeugstahl, geätzt mit 3% Nital, Hellfeld, Originalvergrößerung 500x.

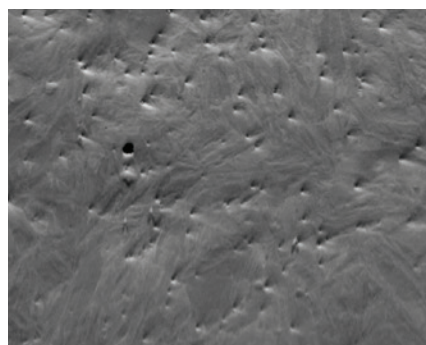


Abb. 18: Forescatter Diffraction Abbildung des Martensits im 9CrWMn Werkzeugstahl REM, Originalvergrößerung 1500x.

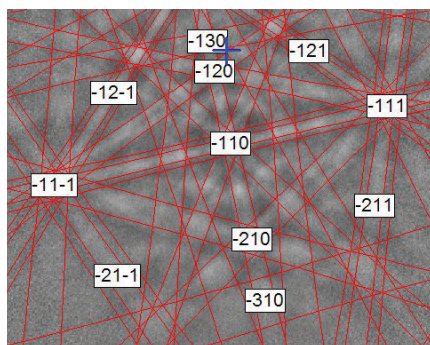


Abb. 19: EBSD des krz Martensit 9CrWMn Werkzeugstahl, indexiert.

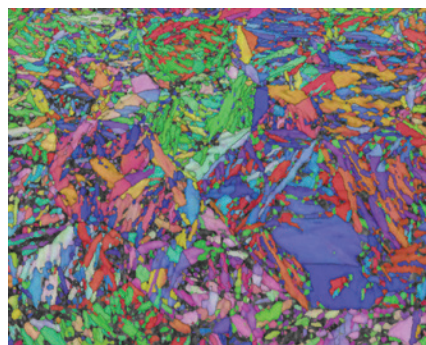


Abb. 20: EBSD Abbildung zur Beurteilung der kristallinen Struktur des 9CrWMn Werkzeugstahls, (IPF Färbung), Originalvergrößerung 1500x.

Lamellarer Grauguss und Gusseisen mit Kugelgraphit

Die größte Schwierigkeit bei Gusseisen mit Lamellen und Kugelgraphit ist die Erhaltung des weichen Graphits in seiner wahren Form und Größe. Das Feinpolieren mit Diamant erfolgt daher auf einem

Tuch mit sehr niedriger Elastizität, MD-Dur. Für die Endpolitur verwendet man OP-U um eine optimale Planheit beim Graphit zu gewährleisten (diese Methode hat sich auch bei Stählen mit Einschlüssen und Karbiden bewährt). Das Ergebnis bei Gusseisen mit Kugelgraphit GGG60 ist in den Abb. 21-24 zu sehen.

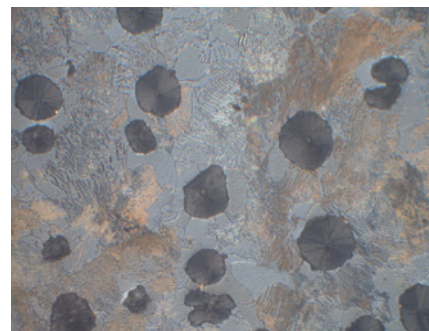


Abb. 21: Gusseisen mit Kugelgraphit, GGG60, geätzt mit 3% Nital. Geringe Mengen von Ferrit, weiß, dunkelgraue Graphitkugeln in einer bräunlichen, perlitischen Matrix. Optisches Mikroskop, DIC, Originalvergrößerung 500x.

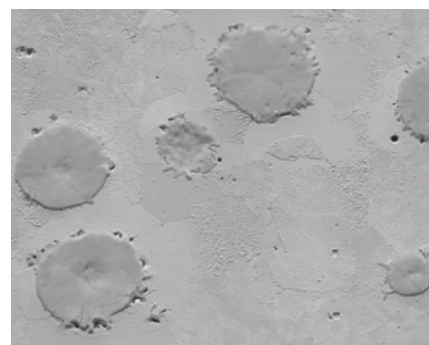


Abb. 22: Forescatter Diffraction Abbildung von Gusseisen mit Kugelgraphit, GGG60. Graphitkugeln sind gut erhalten. REM, Originalvergrößerung 750x.

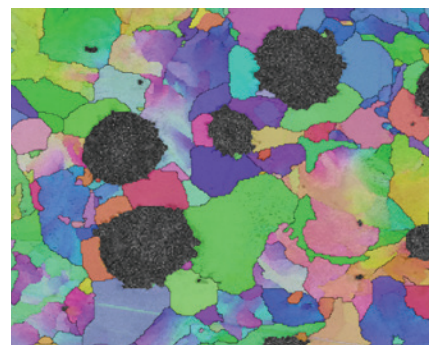


Abb. 23: EBSD Abbildung von Gusseisen mit Kugelgraphit, GGG60 (IPF Färbung). Zur Bestimmung der Korngröße und Kornorientierung, Originalvergrößerung 750x.

Lamellarer Grauguss						
Stufe	PG	FG	DP 1		DP 2	OP
Unterlage	Foil/Paper	MD-Largo	MD-Dur		MD-Nap	MD-Chem
Abrasive	Typ	SiC	Diamond		Diamond	Colloidal Silica
	Große	#320	9 µm		3 µm	0.04 µm
Suspension / Lubrikant	Wasser	DiaPro Allegro/Largo 9	DiaPro Dur 3		DiaPro Nap B 1	OP-U NonDry
U/min	300	150	150		150	150
Kraft (N)	30	30	30	15	10	10
Zeit (min)	1	5-10	5	5	5	1-2

Dieser Präparationsprozess erlaubt die anschließende EBSD Untersuchung der Probenmatrix und zeigt den Graphit sehr deutlich und ohne Relief. Sogar nach langer Endpolitur erlaubt jedoch die Beschaffenheit des Graphits kein automatisches EBSD Abrastern der Graphitkugeln und es ergibt sich ein schlechtes EBS Pattern des Graphit. Abb. 24 zeigt aber, dass es trotzdem möglich ist den Graphit zu indexieren.

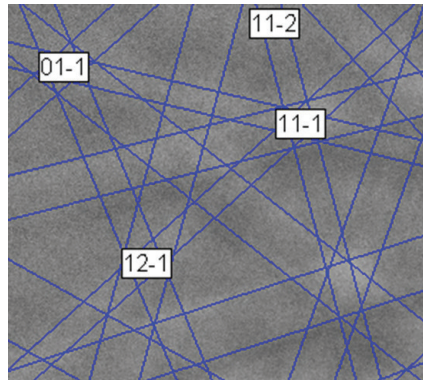


Abb. 24: EBS Pattern von Graphit, hexagonal dichtest Packung, in Gusseisen mit Kugelgraphit GGG60, indexiert.

Elektrolytisches Polieren

Statt der mechanischen Präparation bietet sich das elektrolytische Polieren als gute Alternative zur Präparation von Eisenwerkstoffen an, da es schnell geht (einige Sekunden) und keine mechanische Verformung hinterlässt.

Elektrolytisches Polieren beruht auf dem Materialabtrag durch anodische Auflösung der Schliffoberfläche in einer elektrolytischen Zelle, wobei der Schliff die Anode bildet.

Elektrolytisches Polieren setzt ein relativ homogenes Gefüge der Probe voraus. In Eisenwerkstoffen mit mehreren verschiedenen Phasen werden auf Grund verschiedener elektrochemischer Potentiale bestimmte Phasen bevorzugt poliert. Dadurch wird ein starkes Relief oder sogar das Herauslösen von Phasen verursacht.

Das automatische Poliergerät LectroPol-5 kontrolliert die meisten Parameter des elektrolytischen Poliervorgangs für ein bestimmtes Material. Die Software hält die Parameter fest: Spannung, Größe der Polierfläche, Elektrolyt, Elektrolyttemperatur, Fließrate und Polierzeit. Vor dem elektrolytischen Polieren muss die Schliffoberfläche noch vorbereitet werden. Die Probe wird zuerst auf SiC-Papier geschliffen, z. B. je eine Minute auf Körnung 320, 500 und

1000. Weniger Relief und gute Planheit können durch ein mechanisches Vorpolieren mit 3µm erzielt werden, wie in der Grundmethode angegeben

Elektrolytische Präparation für die meisten Stähle

Qualitativ sehr gute EBSD-Abbildungen für Kohlenstoffstähle und niedrig legierte Stähle können mit elektrolytischem Polieren unter der Verwendung der in Tabelle 1 angegebenen Daten erreicht werden.

Diese Methode kann auch verwendet werden um die Matrix von Gusseisen und Stählen mit Einschlüssen und Karbiden zu zeigen. Wegen der verschiedenen elektrochemischen Potentiale werden diese Gefügebestandteile herausgerissen, und diese Stellen erscheinen dann vergrößert.

Das elektrolytische Polieren von Martensit eignet sich nicht für die EBSD-Analyse. Während des Polierens kann eine Anätzung des Gefüges durch den Elektrolyt nicht verhindert werden. Der sich daraus ergebende Kontrast ist zu ausgeprägt und wegen der Schattenbildung können keine guten EBSD-Abbildungen erzielt werden.

Elektrolytische Präparation von hochlegierten Stählen

Qualitativ sehr gute EBSD-Abbildungen von hochlegierten Stählen können mit elektrolytischem Polieren unter der Verwendung der in Tabelle 2 angegebenen Daten erzielt werden.

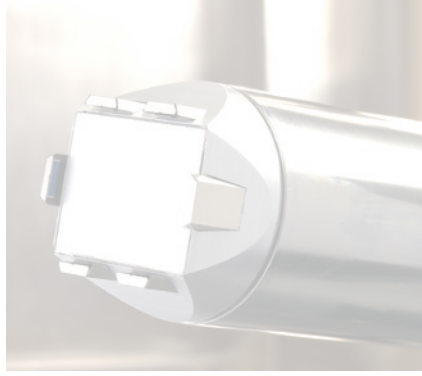
Lectropol-5, automatisches, elektrolytisches Polier/Ätzgerät.



Tabelle 1 Kohlenstoffstähle, niedrig legierte Stähle	
Elektrolyt:	A2*
Fläche:	1 cm ²
Spannung:	40 V
Fließrate:	14
Zeit:	12 s

Tabelle 2 Hochlegierte Stähle	
Elektrolyt:	A3*
Fläche:	1 cm ²
Spannung:	35 V
Fließrate:	13
Zeit:	25 s

*Für die Zusammensetzung des Elektrolyten wenden Sie sich bitte an Ihre Struers Vertretung.



Vergleich der mechanischen mit der elektrolytischen Präparation

Obwohl die Probenoberfläche des gleichen Materials nach der mechanischen Präparation im REM anders erscheint als nach der elektrolytischen werden mit beiden Polituren EBSD Abbildungen von hoher Qualität erzielt.

Abb. 26 und 27 zeigen den Unterschied an einem Duplex-Stahl. Ein Ergebnis mit einer so gut wie verformungs-freien Oberfläche und einem minimalen Relief kann für alle Eisenwerkstoffe mit einer geeigneten mechanischen Präparation erzielt werden. Gefügebestandteil wie Graphit, Einschlüsse und

Karbide können dann mit EBSD Verfahren analysiert werden. Das ist jedoch ein zeitraubender Prozess von 25-35 Minuten. Dagegen ist das elektrolytische Polieren schnell und erzeugt einen höheren Kontrast und zeigt die Matrix der Probe nach einer Gesamtpräparationszeit von 5 Minuten.

Rostfreier Duplex-Stahl

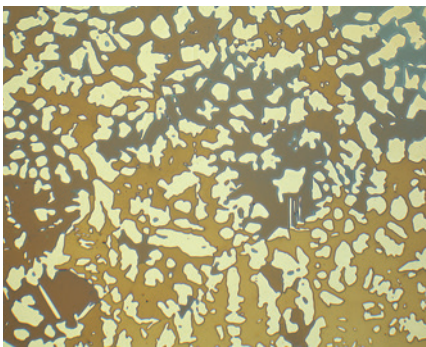


Abb. 25: Duplex-Stahl, elektrolytisch geätzt mit 40%iger Natronlauge, zeigt weißen Austenite (kfz), und gelblich/bläulichen Ferrit (krz), Hellfeld, Originalvergrößerung 200x.

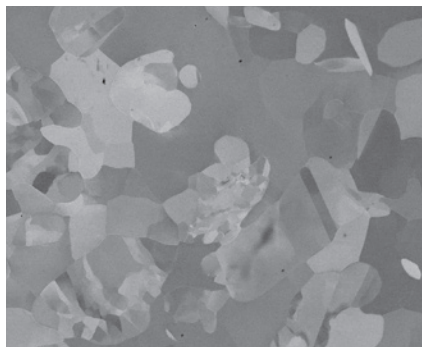


Abb. 26: Duplex-Stahl mit SiC-Papier bis zur Körnung 1000 geschliffen und anschließend elektrolytisch poliert, REM, Originalvergrößerung 800x.

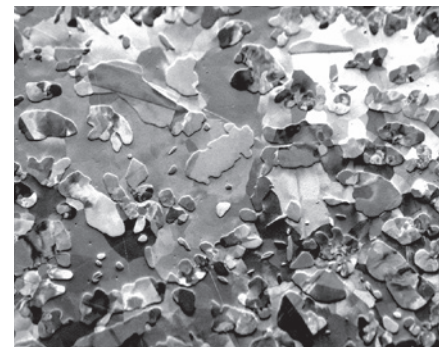


Abb. 27: Duplex-Stahl nach dem mechanischen Polieren einschließlich OP-S, REM, Originalvergrößerung 800x.

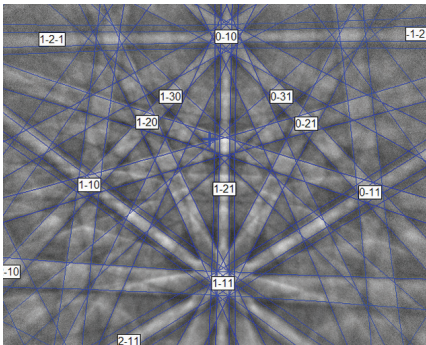


Abb. 28: Indexiertes EBSP, krz Kristallstruktur, Ferrit in Duplex-Stahl.

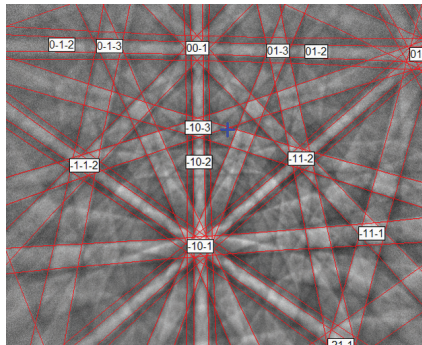


Abb. 29: Indexiertes EBSP, kfz Kristallstruktur, Austenit in Duplex-Stahl.

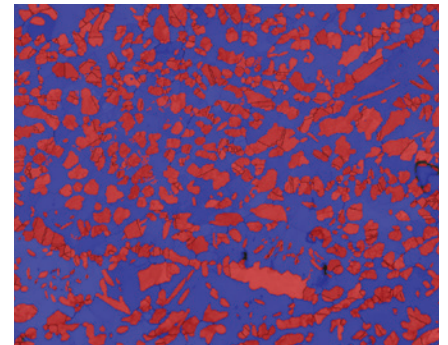


Abb. 30: Abbildung der Phasen in Duplex-Stahl zeigt die kfz Phase in Rot und die krz Phase in Blau, Originalvergrößerung 800x.



Zusammenfassung

Die Vielfalt der Informationen die mit der EBSD-Analyse möglich sind ist groß: Korngrößenbestimmung; die Identifizierung von Phasen, Einschlüssen, Karbiden und Ausscheidungen, und die Bestimmung ihrer Größe, Form, Verteilung, Verformung und Orientierung.

Die Beispiele die in dieser Application Note beschrieben werden zeigen einige Anwendungen der EBSD-Analyse für Eisenwerkstoffe. Das EBSD-Verfahren wird noch für eine Reihe von anderen spezifischen Analysen dieser Werkstoffgruppe angewandt, z.B.: Beurteilung der Sigma-Phase in hochlegierten Stählen, Bestimmung von nicht-metallischen Einschlüssen und Resten von Ferrit und Austenit in Stählen.

Ganz gleich zu welchem Zweck die EBSD-Analyse angewandt wird, ist dafür eine spezifische und sorgfältige Probenpräparation erforderlich. Besondere Lösungen durch Einbetten oder Einspannen um die Handhabung zu erleichtern sind notwendig, da die Probengröße durch die Größe der REM Kammer begrenzt ist.

Für eine erfolgreiche mechanische Politur wird Folgendes empfohlen:

- grobe Körnungen zum Planschleifen sollten vermieden werden.
- gründliches Feinschleifen und Polieren mit Diamant ist erforderlich, um die Verformung vom Planschleifen zu entfernen.
- die Endpolitur mit Siliziumoxid wird durchgeführt, um eine fast verformungsfreie Oberfläche zu erzielen.

Elektrolytisches Polieren ist ein schnelles und gutes Präparationsverfahren für homogene Eisenwerkstoffe und ergibt eine verformungsfreie Oberfläche.

Geeignete mechanische und elektrolytische, metallografische Präparationsverfahren für Eisenwerkstoffe für die EBSD-Analyse werden beschrieben.

Für optimale Ergebnisse wird eine Kombination beider Präparationsverfahren empfohlen, zusammen mit guter Laborpraxis, einer sorgfältigen Reinigung und geeignetem Schutz für die präparierten Schliffoberflächen.

Wortliste

¹ **EDS:** (Energy dispersive X-ray spectroscopy) Energiedispersive Röntgenspektroskopie ist ein analytisches Verfahren zur Untersuchung und Charakterisierung der chemischen Elemente der Probe. Es ist ein röntgenspektroskopisches Verfahren und nutzt die von der Probe emittierte Röntgenstrahlung, die durch den Beschuss der Probenoberfläche mit Elektronen (z.B. im REM) entsteht. Jedes Element hat eine charakteristische Atomstruktur die durch die entstehende Röntgenstrahlung identifiziert wird.

² **Bragg:** Bragg-Gleichung oder Bedingung: Die Bragg-Bedingung definiert die Bedingungen für die Beugung die auftritt. Sie wird in einer Formel ausgedrückt:

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin\Theta_B$$

- Θ_B ist der Bragg Winkel (zwischen Röntgenstrahl und Gitterebene)
- n ist eine natürliche Zahl und definiert die Beugungsordnung, z. B. erster.
- d_{hkl} ist der Abstand zwischen parallelen Gitterebenen
- λ ist die Wellenlänge der auftretenden Strahlung

Die Wellenlänge ($\text{\AA}$) der Elektronen des REM ist

$$\lambda = \frac{0.387}{\sqrt{kV}}$$

Wobei kV die Beschleunigungsspannung ist.

³ **Kikuchi Bands:** Kikuchi Linien oder Bänder sind linienartige Muster die in einem EBSP Muster auftreten (Kikuchi pattern). Sie entsprechen einem Unterschied in der Elektronenintensität gegenüber dem Hintergrund. Die Breite der Kikuchi Linie ist der doppelte Winkel für die betreffende Ebene.

⁴ **Hough-Transformation:** Die automatische Erkennung der Kikuchi Bands in der CHANNEL acquisition Software beruht auf der Hough-Transformation.

Die Hough-Transformation maps the EBSP image (X,Y) into Hough space ("theta", "distance") by calculating the average intensity along lines inclined at an angle "theta" and displaced from the centre of the image by "distance". A point in the EBSP transforms into a sinusoid in Hough space, a thin line transforms into a point. A Kikuchi band of width d transforms into a pair of local maxima (or minima) that are separated by a distance d . A butterfly filter is used to identify these maxima.

⁵ **IPF:** (Inverse Pole Figure) Reziproke Polfigur Aufzeichnung erlaubt die schnelle Interpretation der kristallografischen Orientierungen bezogen auf die Koordinatensystem der Probe (z.B. Walzrichtung).



The Business of Science®



Struers ApS

Pederstrupvej 84
DK-2750 Ballerup, Denmark
Phone +45 44 600 800
Fax +45 44 600 801
struers@struers.dk
www.struers.com

Application Note

Preparation of ferrous metals for Electron Backscatter
Diffraction (EBSD) analysis

Rikke Ellemann-Biltoft,

Oxford Instruments NanoAnalysis

Halifax Road, High Wycombe,
Bucks HP12 3SE, UK
Tel UK: +44 (0) 1494 442255
Email: nanoanalysis@oxinst.com
www.oxford-instruments.com

Anne Guesnier,
Struers A/S
Copenhagen, Denmark

Bibliographie

Microtexture Determination by Electron
Backscatter Diffraction, Dingley,
D.J. & Randle, V. 1992, J. Mat. Sci. 27,
Vol. 17, 4545-4566.

Electron Diffraction Based Techniques in Scanning Electron
Microscopy of Bulk Materials,

A.J. Wilkinson and P.B. Hirsch, Micron.,
Vol. 28, 279-308, (1997).

Review: Grain and subgrain characterisation by electron
backscatter diffraction, F. J. Humphreys, J. Mat. Sci. 36
(2001), 3833 - 3854

Structure 38 Preparation for Electron Backscatter Diffraction
with LaboPol-4/Labo-Force-1, Danko Katrakova, Morten
J. Damgaard and Frank Mücklich

Journal of Microscopy, 205, 3 (March 2002) 10 papers on the
EBSD technique

Journal of Microscopy, 213, 3 (March 2004) 13 papers on the
EBSD technique

Quantitative metallography by electron backscattered
diffraction, F.J. Humphreys, Journal of Microscopy, V195, Pt
3 Sept 1999, P170-185.

Verweise auf die benutzten Geräte:

EBSD: NORDLYS S Detektor und
CHANNEL5 Software

SEM: Zeiss LEO Supra55 VP - field emission type

AUSTRALIA & NEW ZEALAND

Struers Australia
27 Mayneview Street
Milton QLD 4064
Australia
Tel.: +61 7 3512 9600
Fax: +61 7 3369 8200
info.au@struers.dk

BELGIUM (Wallonie)
Struers S.A.S.
370, rue du Marché Rollay
F- 94507 Champigny
sur Marne Cedex
Tel.: +33 1 5509 1430
Fax: +33 1 5509 1449
struers@struers.fr

BELGIUM (Flanders)
Struers GmbH Nederland
Zomerdijk 34 A
3143 CT Maassluis
Tel.: +31 (10) 599 7209
Fax: +31 (10) 5997201
netherlands@struers.de

CANADA
Struers Ltd.
7275 West Credit Avenue
Mississauga, Ontario L5N 5M9
Tel.: +1 905-814-8855
Fax: +1 905-814-1440
info@struers.com

CHINA
Struers Ltd.
No. 1696 Zhang Heng Road
Zhang Jiang Hi-Tech Park
Shanghai 201203, P.R. China
Tel.: +86 (21) 6035 3900
Fax: +86 (21) 6035 3999
struers@struers.cn

CZECH REPUBLIC & SLOVAKIA
Struers GmbH Organizační složka
vědeckotechnický park
Přílepská 1920,
CZ-252 63 Roztoky u Prahy
Tel.: +420 233 312 625
Fax: +420 233 312 640
czechrepublic@struers.de
slovakia@struers.de

GERMANY
Struers GmbH
Carl-Friedrich-Benz-Straße 5
D- 47877 Willich
Tel.: +49 (0) 2154 486-0
Fax: +49 (0) 2154 486-222
infoservice@struers.de

FRANCE
Struers S.A.S.
370, rue du Marché Rollay
F-94507 Champigny
sur Marne Cedex
Tel.: +33 1 5509 1430
Fax: +33 1 5509 1449
struers@struers.fr

HUNGARY
Struers GmbH
Magyarországi Fióktelep
2040 Budaörs
Szabadság utca 117
Phone +36 (23) 80 60 90
Fax +36 (23) 80 90 91
hungary@struers.de

IRELAND
Struers Ltd.
Unit 11 Evolution @ AMP
Whittle Way, Catcliffe
Rotherham S60 5BL
Tel.: +44 0845 604 6664
Fax: +44 0845 604 6651
info@struers.co.uk

ITALY
Struers Italia
Via Monte Grappa 80/4
20020 Arese (MI)
Tel.: +39-02/38236281
Fax: +39-02/38236274
struers.it@struers.it

JAPAN
Struers K.K.
Takanawa Muse Bldg. 1F
3-14-13 Higashi-Gotanda,
Shinagawa
Tokyo
141-0022 Japan
Tel.: +81 3 5488 6207
Fax: +81 3 5488 6237
struers@struers.co.jp

NETHERLANDS

Struers GmbH Nederland
Zomerdijk 34 A
3143 CT Maassluis
Tel.: +31 (10) 599 7209
Fax: +31 (10) 5997201
netherlands@struers.de

NORWAY

Struers ApS, Norge
Sjøskegenvæien 44C
1407 Vinterbro
Tel.: +47 970 94 285
info@struers.no

AUSTRIA

Struers GmbH
Zweigniederlassung Österreich
Betriebsgebiet Puch Nord 7
5412 Puch
Tel.: +43 6245 70567
austria@struers.de

POLAND

Struers Sp. z o.o.
Oddział w Polsce
ul. Jasnogórska 44
31-358 Kraków
Tel.: +48 12 661 20 60
Fax: +48 12 626 01 46
poland@struers.de

ROMANIA

Struers GmbH, Sucursala Bucuresti
Str. Preciziei nr. 6R
062203 sector 6, Bucuresti
Tel.: +40 (31) 101 9548
Fax: +40 (31) 101 9549
romania@struers.de

SWITZERLAND

Struers GmbH
Zweigniederlassung Schweiz
Weissenbrunnstraße 41
CH-8903 Birmensdorf
Tel.: +41 44 777 63 07
Fax: +41 44 777 63 09
switzerland@struers.de

SINGAPORE

Struers Singapore
627A Aljunied Road,
#07-08 BizTech Centre
Singapore 389842
Tel.: +65 6299 2268
Fax: +65 6299 2661
struers.sg@struers.dk

SPAIN

Struers España
Camino Cerro de los Gamos 1
Building 1 - Pozuelo de Alarcón
CP 28224 Madrid
Tel.: +34 917 901 204
Fax: +34 917 901 112
struers.es@struers.es

FINLAND

Struers ApS Suomi
Sahaajankatu 20-22 A6
00880 Helsinki
Tel.: +358 (0)207 919 430
finland@struers.fi

SWEDEN

Struers Sverige
Box 20038
161 02 Bromma
Tel.: +46 (0)8 447 53 90
Fax: +46 (0)8 447 53 99
info@struers.se

UNITED KINGDOM

Struers Ltd.
Unit 11 Evolution @ AMP
Whittle Way, Catcliffe
Rotherham S60 5BL
Tel.: +44 0845 604 6664
Fax: +44 0845 604 6651
info@struers.co.uk

USA

Struers Inc.
24766 Detroit Road
Westlake, OH 44145-1598
Tel.: +1 440 871 0071
Fax: +1 440 871 8188
info@struers.com