
Knuth Schmidt, Helmut Hoven,
Karl Koizlik, Jochen Linke,
Hubertus Nickel

Gefügeanalyse metallischer Werkstoffe

Interferenzschichtenmetallografie
und automatische Bildanalyse

mit 116 Abbildungen,
6 Tabellen und 2 Farbtafeln



Fachbereich Materialwissenschaft
der Techn. Hochschule Darmstadt

Inv.-Nr.: 243

Carl Hanser Verlag München Wien

Inhalt

1.	Einleitung.....	1
2.	Gefügeentwicklung mittels Interferenzschichten-Metallografie.....	3
2.1	Gasionenätzen.....	3
2.2	Aufdampfen.....	4
3.	Wirkungsweise interferierender Schichten.....	7
3.1	Physikalische Grundlagen.....	7
3.2	Theorie der interferierenden Schichten.....	11
4.	Optische Gefügekonstanten.....	27
4.1	Bestimmung der optischen Gefügekonstanten.....	27
4.1.1	Bestimmung der optischen Gefügekonstanten durch Reflexionsmessungen an der unbeschichteten Probe in Luft und Öl.....	27
4.1.2	Bestimmung der optischen Gefügekonstanten durch Reflexionsmessungen an der unbeschichteten und an der beschichteten Probe.....	30
4.2	Das optische Verhalten der Gefügebestandteile.....	36
4.2.1	Probenpräparation.....	36
4.2.2	Chemische Inhomogenitäten.....	37
4.2.3	Fehler der optischen Gefügekonstanten.....	42
5.	Bestimmung optischer Konstanten von Schichtwerkstoffen.....	43
5.1	Bestimmung optischer Konstanten absorptionsfreier Schichtwerkstoffe.....	43
5.2	Bestimmung optischer Konstanten absorbierender Schichtwerkstoffe.....	45
5.2.1	Bestimmung optischer Konstanten an extrem dicken Schichten.....	47
5.2.2	Bestimmung optischer Kenngrößen mit Hilfe von Transmissions- und Reflexionsmessungen.....	47
5.2.3	Bestimmung der optischen Konstanten aus dem Verlauf der Reflexion als Funktion der Schichtdicke.....	50
5.3	Optische Konstanten von Schichtwerkstoffen.....	59

6.	Auswahl von Schichtwerkstoffen.....	61
6.1	Optische Schichtkonstanten.....	61
6.2	Resthelligkeit der kontrastierten Probe.....	74
7.	Grenzen und Fehler der Farbkontrastierung.....	76
7.1	Beeinflussung des Reflexionsvermögens einer Phase durch Schwankungen der Meßparameter.....	76
7.2	Beeinflussung des Kontrastes durch Monochromatoren und Immersion.....	83
7.2.1	Einfluß der Immersion.....	85
7.2.2	Einfluß von Monochromatoren und Filtern.....	87
7.2.2.1	Intensitätsverteilung nach Lorentz.....	90
7.2.2.2	Intensitätsverteilung nach Gauß.....	91
7.2.2.3	Vergleich einer gemessenen Intensitätsverteilung mit den Ansätzen nach Lorentz und Gauß.....	93
7.2.2.4	Kontrastminderung durch Verwendung von Filtern und Monochromatoren endlicher Bandbreite.....	94
7.3	Beeinflussung der optischen Konstanten einer Interferenzschicht.....	101
7.3.1	Einfluß des Trägermaterials.....	101
7.3.1.1	Struktur des Trägermaterials.....	102
7.3.1.2	Temperatur des Trägermaterials.....	108
7.3.2	Einfluß des Arbeitsgases.....	111
7.3.3	Einfluß von Alterung und Feuchtigkeit.....	112
7.3.4	Einfluß der Schichtdicke.....	114
8.	Grenzen und Fehler der quantitativen Bildanalyse farbkontrastierter Schiffe.....	116
8.1	Mindestkontrast.....	116
8.1.1	Bestimmung des Mindestkontrastes aus der Standardabweichung der Helligkeitsverteilung.....	118
8.1.2	Bestimmung des Mindestkontrastes aus Flächenmessungen an einer homogenen Probe.....	122
8.1.3	Messung des Mindestkontrastes an einer beschichteten Probe.....	125
8.1.4	Der Mindestkontrast für die Praxis der Interferenzschichtenmetallografie.....	128
8.2	Möglichkeiten der Bildübertragung.....	129

8.3	Möglichkeiten der Bildverbesserung.....	132
8.3.1	Mehrfach-Bildeinzug.....	133
8.3.2	"Shading"-Korrektur.....	136
8.3.3	"Kontur"-Verbesserung.....	140
8.4	Fehlerquellen.....	142
8.4.1	"Shading" durch Inhomogenitäten der Ausleuchtung.....	142
8.4.2	"Shading" durch Inhomogenitäten der Schichtdicke.....	148
8.4.3	Einfluß der Größe der Ausscheidungsteilchen.....	153
8.4.4	Einfluß der Teilchenmorphologie.....	158
9.	Quantitative Gefügeanalyse farbkontrastierter Proben am Beispiel hochwarmfester metallischer Legierungen.....	161
9.1	Werkstoffe.....	161
9.1.1	Mischkristallhärtung.....	162
9.1.2	Ausscheidungshärtung.....	163
9.1.3	Dispersionshärtung.....	164
9.1.4	Hochwarmfeste Legierungen.....	164
9.1.4.1	Eisenbasislegierungen.....	166
9.1.4.2	Nickelbasislegierungen.....	170
9.1.5	Probleme der Gefügestabilität.....	173
9.2	Stereologische Größen und Meßparameter.....	175
9.3	Praktische Beispiele quantitativer Gefügeanalyse.....	177
9.3.1	HASTELLOY X.....	178
9.3.2	INCELOY 800 H.....	183
9.3.3	Legierung M 21.....	188
10.	Zusammenfassung.....	195
	Bildtafeln.....	198
	Literatur.....	201
	Sachwortverzeichnis.....	208