



Fachbereich Angewandte Ingenieurwissenschaften

Morlauterer Str. 31
67657 Kaiserslautern

Abschlussbericht FHprofUnd 2008

Mechanische Eigenschaften galvanisch hergestellter Mikroproben für die Auslegung von Mikrozahnrädern

„Forschung an Fachhochschulen mit Unternehmen“

FKZ: 1713X08

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. J.E. Hoffmann

Mitwirkende Dozenten: Prof. Dr. rer. nat. M. Saumer
Prof. Dr.-Ing. H. Clemens

Projektbearbeitung: Dipl.-Ing. (FH) Martin-Tobias Schmitt

Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2008 bis 31.06.2011

Projektpartner: **Micromotion GmbH**
Mainz-Gonsenheim
SincoTec Bauteil-Prüftechnik GmbH
Clausthal-Zellerfeld
Technische Universität Kaiserslautern
Institut für Oberflächen- und Schichtanalytik
(IFOS)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	5
2	Kenntnisstand.....	6
3	Probenherstellung und Werkstoff.....	10
3.1	Mikroprobengeometrie.....	10
3.1.1	Probengeometrie Mikrozugversuch.....	10
3.1.2	Probengeometrie Mikrobiegeschwingversuch.....	12
3.2	Werkstoff.....	17
3.3	Galvanische Verfahren.....	18
3.3.1	Abscheidung von Schichten.....	21
3.3.2	Mikroproben Herstellung nach dem Direkt-LIGA-Verfahren.....	21
3.4	Probenpräparation	25
3.4.1	Glühen	25
3.4.2	Probenentnahme zur Gefügeanalyse und instrumentierten Eindringprüfung....	25
3.4.3	Einbetten, Schleifen, Polieren und Ätzen	26
3.4.4	Mikroprobennachbearbeitung für Mikrozugversuch und Mikrobiegeschwingprüfung.....	27
3.5	Übersicht der gefertigten Proben.....	32
3.5.1	Probenbezeichnung.....	32
3.5.2	Übersichtsplan	33
4	Versuchstechnik	34
4.1	Mikrostrukturelle Untersuchungseinrichtungen.....	34
4.1.1	Lichtmikroskopie.....	34
4.1.2	Rasterkraftmikroskopie	34
4.1.3	Rasterelektronenmikroskopie.....	35
4.1.4	Transmissionselektronenmikroskopie.....	35
4.1.5	Röntgendiffraktometrie.....	35
4.2	Mechanisch-technologische Prüfeinrichtung.....	37
4.2.1	Instrumentierte Eindringprüfung.....	37
4.2.2	Mikrozugversuch	37
4.2.3	Mikrobiegeschwingversuch	38
5	Gefügecharakterisierungsmethoden	39
5.1	Bestimmung des Eisengehalts.....	39

5.2	Bestimmung der Korngröße mittels Linienschnittverfahren aus mikroskopischen Bildern.....	39
5.3	Röntgenografische Bestimmung von Korngröße und Gitterverzerrung.....	40
5.4	Röntgenografische Bestimmung der Textur.....	51
6	Mechanisch-technologische Charakterisierungsmethoden.....	56
6.1	Instrumentierte Eindringprüfung.....	56
6.1.1	Kenngößen.....	56
6.1.2	Definition der Messpunktpositionen.....	57
6.2	Mikrozugversuch.....	59
6.2.1	Optimierung Mikrozugprüfmaschine	59
6.2.2	Kenngößen Mikrozugversuch	65
6.3	Mikrobiegeschwingversuch.....	66
6.3.1	Modifikation Mikrobiegeschwingprüfmaschine	66
6.3.2	Kraft-Weg-Kalibrierung.....	69
6.3.3	Auswerteverfahren Mikrobiegeschwingversuch.....	70
7	Ergebnisse	72
7.1	Gefüge unterschiedlich gefertigter Mikroproben.....	72
7.1.1	Eisengehalt der Mikroproben	72
7.1.2	Korngröße der Mikroproben	72
7.1.3	Gitterverzerrung der Mikroproben.....	74
7.1.4	Textur der Mikroproben.....	74
7.1.5	Korngröße geglühter Mikroproben.....	75
7.1.6	Gitterverzerrung geglühter Mikroproben	78
7.1.7	Textur geglühter Mikroproben	79
7.2	Mikrohärtezustände und Endringmodul	82
7.2.1	Martenshärte und Eindringmodul der Mikroproben	82
7.2.2	Martenshärte geglühter Mikroproben	83
7.2.3	Untersuchungen an Mikrozahnradern.....	85
7.3	Mikrozugversuch.....	92
7.4	Mikrobiegeschwingversuch.....	95
8	Diskussion.....	97
8.1	Einfluss der Gefügeparameter auf die Martenshärte	97
8.2	Vergleich zwischen Mikrozugversuch und instrumentierter Eindringprüfung	102
8.3	Bruchflächen Mikrozugversuch.....	107

9	Verwertbarkeit der Ergebnisse und Erfahrungen	108
10	Erfolgte oder geplante Publikationen der Ergebnisse	110
11	Anhang.....	111
11.1	Formelzeichen und Abkürzungen	111
11.1.1	Lateinische Symbole.....	111
11.1.2	Griechische Symbole	112
11.1.3	Abkürzungen	112
11.2	Literaturverzeichnis	113

I Einleitung

Kernpunkt der Aufgabenstellung ist, mechanisch-technologische Daten für die optimale Auslegung von Mikrobauteilen aus galvanisch erzeugten nanokristallinen Nickel-Eisen-Legierungen zu erarbeiten. Wesentlich ist dabei die Fragestellung: Mit welchen Werkstoff- oder Prozessparametern lassen sich in der Fertigung geeignete Mikrobauteilzustände für optimales mechanisches Bauteilverhalten erzeugen? Dies erfordert die Kenntnis der Zusammenhänge zwischen den Herstellungsparametern, dem erzeugten Mikrobauteilzustand (Geometrie, Gefüge, Mikrohärtigkeit, Textur) und den daraus resultierenden mechanischen Eigenschaften. Für die Ermittlung mechanischer Eigenschaften an Mikroproben ist dazu die Entwicklung und Erprobung geeigneter Mikroprüfeinrichtungen (Mikrozugversuch, Mikrobiegeschwingversuch) erforderlich. Betrachtet werden Mikrozahnräder als Beispiel für Mikrobauteile.

Die Voraussetzungen ein Vorhaben dieser Art durchzuführen ergeben sich durch die Kompetenzen der beteiligten Vorhabenspartner und der dort vorhandenen Einrichtungen.

Zur Fertigung der zu untersuchenden Mikroproben stehen die Galvanik des Vorhabenspartners Micromotion und der Fachhochschule Kaiserslautern, Standort Zweibrücken, zur Verfügung. Die Charakterisierung der Gefüge erfolgt mit den Einrichtungen (XRD, Lichtmikroskop, AFM) der Fachhochschule Kaiserslautern und den Einrichtungen (REM mit EBSD, TEM) des Instituts für Oberflächen- und Schichtanalytik. Geräte zur mechanisch-technologischen Prüfung stehen an der Fachhochschule Kaiserslautern bereit (instrumentierte Eindringprüfung, Mikrozugversuch) oder werden im Projektverlauf vom Vorhabenspartner SincoTec so modifiziert, dass eine Prüfung von Mikroproben möglich ist (Mikrobiegeschwingversuch).

Die Planung des Vorhabens ist im Projektantrag ausführlich beschrieben. Soweit möglich ist der Ablauf des Projektes nach dieser Planung durchgeführt. Einige Änderungen ergeben sich dadurch, dass die gekerbten Mikroproben nach der Fertigung unbrauchbar sind. Somit können keine Ergebnisse an gekerbten Mikroproben ermittelt werden.

Der wissenschaftlich-technische Stand, von dem ausgegangen wird, ist im Wesentlichen durch die Verwendung des Direkt-LIGA-Verfahrens bestimmt [1], welches eine Variante des am Forschungszentrum Karlsruhe entwickelten LIGA-Verfahrens darstellt [2, 3].

Eine eingehende Darstellung des Kenntnisstandes ist in Abschnitt 2 aufgezeigt. Zur Findung der verwendeten Literatur wurden die Recherchemöglichkeiten der Fachhochschule Kaiserslautern und der Technischen Universität Kaiserslautern (z.B. DOMA) genutzt.