

Elektropolieren

Elektrolytisches Glänzen, Glätten und Entgraten von
Edelstahl, Stahl, Messing, Kupfer, Aluminium, Magnesium und Titan

Dr.-Ing. Dr. rer. nat. Magnus Buhler

2. Auflage mit 113 Abbildungen
und 4 Tabellen



Fachverlag für ■ Oberflächentechnik –
Galvanotechnik

Produktion von Leiter-
platten und Systemen

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	11
2	Zum Fertigungsverfahren	13
2.1	Einordnung des Fertigungsverfahrens.....	13
2.2	Elektrochemische Reaktionen.....	15
2.2.1	Anodenreaktionen.....	15
2.2.1.1	Klassische Vorstellung zur Metallauflösung	15
2.2.1.2	Edelstahl und Stahl	16
2.2.1.3	Messing und Kupfer.....	16
2.2.1.4	Aluminium	17
2.2.1.5	Magnesium.....	17
2.2.1.6	Titan	17
2.2.1.7	Sauerstoffbildung bei transpassiver Reaktionsführung.....	17
2.2.2	Kathodenreaktionen.....	20
2.2.2.1	Wasserstoffbildung.....	20
2.2.2.2	Metallabscheidung	20
2.2.3	Ladungstransport im Elektrolytbad	20
2.3	Zum Abtragsmechanismus	21
2.3.1	Hinweis auf weiterführende Arbeiten	21
2.3.2	Stromdichteunterschiede auf makroskopischer Ebene	21
2.3.3	Transportlimitierung auf mikro- und nanoskopischer Ebene	21
2.3.4	Dynamisches Abtragverhalten	22
2.3.5	Sauerstoffbildung.....	24
2.3.5.1	In situ Aufnahmen einer Hullzellenanode.....	26
2.3.5.2	Beobachtung des Elektropolierens in einer rotierenden, zylindrischen Hullzelle	30
2.4	Zum Abtragverfahren Elektropolieren	33
2.5	Zusammenhang zwischen Abtrag und Ladungsmenge	36

2.6	Zur Strukturbildung beim Elektropolieren.....	37
2.7	Vor- und Nachteile des Fertigungsverfahrens	40
2.8	Einsatzbeispiele.....	42
3	Einfluss verschiedener Parameter beim Elektropolieren	49
3.1	Darstellung des Fertigungsablaufs	49
3.2	Übersicht über Einflussparameter beim Elektropolieren	52
3.2.1	Einteilung der verschiedenen Einflussparameter.....	52
3.2.2	Werkstückvorbereitung.....	53
3.2.2.1	Reinigung der Oberflächen	53
3.2.2.2	Mechanische und elektrochemische Vorbehandlung	54
3.2.2.3	Vorbehandlung von Schweißnähten für das Elektropolieren....	57
3.2.3	Einfluss der Elektrolytzusammensetzung	59
3.2.4	Elektrolytalterung	61
3.2.5	Dauer des Elektropolierens.....	63
3.2.5.1	Einfluss der Polierdauer auf den Abtrag.....	63
3.2.5.2	Mikrorauheit bei unterschiedlicher Abtragdauer	65
3.2.6	Elektrolyttemperatur.....	67
3.2.7	Strom und Ladungsdichte	69
3.2.8	Vorteile des Einsatzes gepulsten Stroms.....	71
3.2.9	Lage des Werkstücks.....	75
3.2.9.1	Visueller Eindruck	77
3.2.9.2	Einfluss der Werkstücklage auf den Glanzgrad.....	78
3.2.9.3	Einfluss der Werkstücklage auf die Oberflächenrauheit.....	80
3.2.10	Aufgeprägte Konvektion	82
3.2.11	Werkstoffeinfluss	84
3.2.11.1	Einfluss verschiedener Legierungszusammensetzungen und Gefüge.....	84
3.2.11.2	Einfluss des Kohlenstoffgehalts im Edelstahl	84
3.2.11.3	Auswirkung des Nickelgehalts beim Edelstahl- elektropolieren	86
3.2.11.4	Einfluss des Molybdänanteils auf das Elektropolieren	87
3.2.12	Auswirkung der Gefügestruktur beim Elektropolieren von Edelstahl	88
3.2.12.1	Einfluss auf die Abtraggeschwindigkeit.....	89
3.2.12.2	Einfluss auf Glanz und Rauheit.....	91

4 Methoden zur Optimierung der Fertigungsergebnisse	92
4.1 Optimierung der Abtragparameter – in der Regel unerlässlich	92
4.2 Variation der Parameter	92
4.3 Einsatz von Hullzellen	93
5 Elektrolyte	99
5.1 Elektrolyt je nach Legierung aussuchen und optimieren	99
5.2 Elektrolyte für Edelstahl und Stahl	99
5.3 Messing und Kupfer in Phosphorsäure-Alkoholgemischen	100
5.4 Aluminium und Schwefel-Phosphorsäuregemische	100
5.5 Elektrolyte zum Elektropolieren von Magnesium	101
5.6 Titanelektrolyte	101
6 Ausgewählte Fertigungsergebnisse	104
6.1 Ergebnisse von Laborversuchen an Edelstahl	104
6.1.1 Einfluss der Elektrolytzusammensetzung beim Elektropolieren von Edelstahl	104
6.1.2 Abtragtiefe und Geschwindigkeit beim Elektropolieren von Edelstahl	105
6.1.3 Mikrorauheit beim Elektropolieren von Edelstahl	108
6.1.4 Glanz elektropolierten Edelstahls	109
6.2 Besondere Variationen des Fertigungsverfahrens	110
6.2.1 Elektropolieren von Edelstahl Schweißnähten	110
6.2.2 Elektropolieren von Edelstahl mit gepulstem Gleichstrom	110
6.2.3 Mikroelektropolieren von Edelstahl	110
6.3 Zum Elektropolieren von Stahl	113
6.3.1 Erzielbarer Abtrag beim Elektropolieren von Stahl	114
6.3.2 Korrosionsschutz für elektropolierten Stahl	116
6.4 Messing und Kupfer beim Elektropolieren	116
6.4.1 Abtragergebnisse lassen sich von Messing auf Kupfer übertragen	116
6.4.2 Einfluss der Alkoholzusätze beim Elektropolieren von Messing auf die Rauheit der Oberflächen	116
6.4.3 Abtrag von Messing	117
6.4.4 Glanz und Nanorauheit elektropolierter Messingoberflächen	118
6.5 Ergebnisse von Laborversuchen zum Elektropolieren von Aluminium	119
6.5.1 Bedeutung der Überbezeit beim elektrolytischen Glänzen von Aluminium	119
6.5.2 Rauheit von elektropolierten Aluminiumoberflächen	122
6.5.3 Glanz elektropolierten Aluminiums	122

6.6	Zum Elektropolieren von Magnesium.....	124
6.7	Verhalten von Titan beim Elektropolieren.....	126
6.7.1	Verwendete Wirkpaarung zum Titanelektropolieren	126
6.7.2	Abtrag beim Titanelektropolieren.....	126
6.7.3	Rauheit von Titan nach dem Elektropolieren.....	128
7	Anmerkungen zum Elektropolieren aus Sicht der Arbeitssicherheit und des Umweltschutzes.....	129
8	Anhang.....	130
8.1	Definition der verwendeten Rauheitsparameter	130
8.2	Messung des Glanzgrads.....	131
8.3	Zeichenerklärung	133
	Literatur.....	134
	Danksagung	141
	Stichwortverzeichnis	143
	Inserentenverzeichnis.....	153