

Inhaltsverzeichnis	<u>Seite</u>
Symbolverzeichnis	VIII
1. Einleitung	1
2. Grundlagen und Stand der Kenntnis über die Herstellung, Mikrostruktur und Eigenschaften von Nickel-Phosphor-Schichten und anderen nanokristallinen Werkstoffen	3
2.1 Zur außenstromlosen Abscheidung von Nickel-Phosphor-Legierungen	3
2.1.1 Der Prozeß der außenstromlosen Abscheidung im Vergleich zur elektrolytischen Abscheidung	3
2.1.2 Der Mechanismus der Abscheidung und die Zusammensetzung der Elektrolyte	4
2.1.3 Verfahrenstechnische Aspekte bei der Abscheidung	6
2.1.4 Mikrostruktur der Schichten	8
2.1.5 Eigenschaften und Anwendungen der Schichten	11
2.1.6 Einfluß von Wärmebehandlungen auf die Mikrostruktur und Eigenschaften	13
2.1.7 Herstellung und Eigenschaften von Nickel-Phosphor-Dispersionsschichten	15
2.2 Nanokristalline Werkstoffe	16
2.2.1 Herstellungsmethoden, Mikrostruktur und Eigenschaften verschiedener nanokristalliner Werkstoffe	16
2.2.2 Mikrostruktur und Eigenschaften von durch Kristallisation hergestellter nanokristalliner Nickel-Phosphor-Schichten	18
3. Ziel der Arbeit und experimentelle Vorgehensweise	21
4. Experimentelle Methoden	23
4.1 Herstellung der Schichten	23
4.1.1 Auswahl und Zusammensetzung der Elektrolyte, Einstellung der Abscheidebedingungen	23
4.1.2 Auswahl und Vorbehandlung der Substrate	25
4.1.3 Messung der Abscheiderate und der Eigenspannungen	25
4.1.4 Bestimmung des Phosphor- und des PTFE-Gehaltes	27
4.1.5 Wärmebehandlungen der Schichten	28
4.2 Untersuchungen zum Schichtaufbau	28
4.2.1 Röntgenografische Untersuchungen zur Identifizierung von kristallinen Phasen und zur Bestimmung von Korngrößen	29

4.2.2	Charakterisierung der Mikrostruktur im Durchstrahlungs-Elektronenmikroskop	31
4.2.3	Analytische Feldionenmikroskopie zur Untersuchung des atomaren Aufbaus	33
4.2.4	Licht- und rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen zum Nachweis von Inhomogenitäten	34
4.3	Untersuchungen physikalischer Eigenschaften	35
4.3.1	Dilatometrische Messungen	36
4.3.2	Messungen des elektrischen Widerstandes	37
4.3.3	Kalorimetrische Messungen	38
4.3.4	Messungen zur Magnetisierung	39
4.4	Untersuchungen der mechanischen und tribologischen Eigenschaften	40
4.4.1	Messung der Mikrohärte, Bruchdehnung und Untersuchung des Verformungsverhaltens beim Auswalzen	41
4.4.2	Untersuchung der Verschleißbeständigkeit bei abrasiver Beanspruchung	41
4.4.3	Untersuchung der Verschleißbeständigkeit und des Reibungsverhaltens bei adhäsiver Beanspruchung	42
4.5	Untersuchungen zur Korrosionsbeständigkeit	43
4.5.1	Prüfung der Korrosionsbeständigkeit im Salzsprühtest und Kesternichtest	43
4.5.2	Korrosionsuntersuchungen mit Hilfe von Stromdichte-Potential-Messungen	44
4.5.3	Prüfung der Korrosionsbeständigkeit in verschiedenen Lösungen und Untersuchungen zum Korrosionsmechanismus	45
5.	Versuchsergebnisse	47
5.1	Die Schichten im Abscheidezustand	47
5.1.1	Einfluß der Abscheidebedingungen auf den Phosphorgehalt, die Abscheiderate und Eigenspannungen	47
5.1.2	Einfluß des Phosphorgehaltes auf die Mikrostruktur	48
5.1.3	Inhomogenitäten im Schichtaufbau	50
5.1.4	Zusammensetzung und Mikrostruktur der Dispersionsschichten mit PTFE-Teilchen	51
5.2	Einfluß von Wärmebehandlungen auf die Mikrostruktur	52
5.2.1	Thermische Stabilität des Abscheidezustands	52
5.2.2	Änderung der Mikrostruktur durch Aufheizen und Glühen	54
5.2.3	Änderung der Grenzfläche zum Substrat	56

5.3	Physikalische, mechanische und tribologische Eigenschaften	57
5.3.1	Thermischer Ausdehnungskoeffizient, elektrischer Widerstand und Magnetisierung	57
5.3.2	Härte, Bruchdehnung und Verformbarkeit	59
5.3.3	Verschleißbeständigkeit bei abrasiver und adhäsiver Beanspruchung sowie Trockenreibungsverhalten	60
5.3.4	Mechanische und tribologische Eigenschaften der Dispersionsschichten mit PTFE-Teilchen	61
5.4	Zur Korrosionsbeständigkeit der Schichten	62
5.4.1	Korrosionsbeständigkeit in natriumchlorid- und schwefeldioxidhaltiger Atmosphäre	62
5.4.2	Korrosionsbeständigkeit in verschiedenen Lösungen	63
5.4.3	Einfluß der Mikrostruktur auf das Korrosionsverhalten	64
5.4.4	Einfluß von Glühungen und Verformungen auf das Korrosionsverhalten	65
6.	Diskussion	66
6.1	Herstellung von nanokristallinen Nickel-Phosphor-Schichten durch außenstromlose Abscheidung	66
6.2	Modell der Mikrostruktur von außenstromlos abgeschiedenen nanokristallinen Nickel-Phosphor-Schichten	67
6.3	Thermische Stabilität des nanokristallinen Zustands	69
6.4	Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit der nanokristallinen Nickel-Phosphor-Schichten	71
6.5	Durch die nanokristalline Mikrostruktur hervorgerufene Eigenschaften der Schichten	72
6.6	Ausblick für Weiterentwicklungen und neue Anwendungen	74
7.	Zusammenfassung	77
8.	Tabellen	80
9.	Bilder	91
10.	Schrifttum	126