



**Berichte aus dem  
Institut für Eisenhüttenkunde**

**Alexander Tenié**

---

**Nanopartikelbasierte Schutzschichten  
für die Warmblechumformung**

---

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. W. Bleck  
Prof. Dr.rer.nat. Dr.-Ing.e.h. W. Dahl  
Prof. Dr.-Ing. H.W. Gudenau  
Prof. Dr.-Ing. D. Senk

---

Band 1/2019

Shaker Verlag

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stand der Technik</b>	<b>2</b>
2.1	Leichtbau in der Automobilindustrie . . . . .	2
2.2	Das Presshärteverfahren . . . . .	4
2.2.1	Direktes Presshärten . . . . .	5
2.2.2	Indirektes Presshärten . . . . .	6
2.3	Grundlagen der Korrosion . . . . .	7
2.3.1	Hochtemperaturkorrosion . . . . .	7
2.3.2	Wässrige Korrosion . . . . .	10
2.4	Oxidationsschutz während des Presshärtens . . . . .	12
2.4.1	Aluminium-basierte Schutzsysteme . . . . .	13
2.4.2	Zink-basierte Schutzsysteme . . . . .	15
2.4.3	Organisch/Anorganische Schutzsysteme . . . . .	17
2.5	Technische Emails als Korrosionsschutzschicht . . . . .	18
2.5.1	Emailrohstoffe . . . . .	19
2.5.2	Aufbau technischer Emails . . . . .	19
2.5.3	Der Einbrand . . . . .	20
2.5.4	Haftmechanismen . . . . .	22
2.6	Der Sol-Gel-Prozess . . . . .	24
2.6.1	Solution-Combustion-Synthesis . . . . .	25
2.7	Dünnschichten als Korrosionsschutzschichten . . . . .	25
<b>3</b>	<b>Arbeitshypothesen</b>	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>Experimentelle Durchführung</b>	<b>29</b>
4.1	Das „Multilayer-Ceramic-Coating“-Konzept . . . . .	29
4.2	Dispersionsherstellung . . . . .	33
4.3	Charakterisierungsmethoden . . . . .	36
4.3.1	Substrat und Substratvorbehandlung . . . . .	36
4.3.2	Schichtapplikation . . . . .	36
4.3.3	Dispersionsstabilität . . . . .	38
4.3.4	Schichtqualität . . . . .	39
4.3.5	Thermoschockbeständigkeit . . . . .	39
4.3.6	Haftung . . . . .	39
4.3.7	Oberflächenmorphologie . . . . .	40

4.3.8	Schichtdicke und Beschichtungshomogenität . . . . .	41
4.3.9	Oxidationsbeständigkeit . . . . .	42
4.3.10	Umformbarkeit . . . . .	43
4.3.11	Schweißbarkeit . . . . .	44
4.3.12	Lackierbarkeit . . . . .	45
4.3.13	Korrosionsbeständigkeit in wässrigen Medien . . . . .	46
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>49</b>
5.1	Substrat und Substratvorbehandlung . . . . .	49
5.2	Dispersionsstabilität und Schichtapplikation . . . . .	50
5.2.1	Dispersionseigenschaften . . . . .	50
5.2.2	Beschichtungsstruktur . . . . .	52
5.3	Oxidationsbeständigkeit . . . . .	56
5.3.1	Diffusionskinetik während der Wärmebehandlung . . . . .	58
5.3.2	Phasengeneese . . . . .	60
5.4	Haftmechanismen und Haftverbesserung . . . . .	61
5.4.1	Tesa-Tests . . . . .	63
5.4.2	Wirkmechanismen der Haftvermittler-Dispersion . . . . .	65
5.5	Umformbarkeit . . . . .	71
5.5.1	Metallografische Untersuchungen umgeformter Proben . . . . .	73
5.6	Schweißbarkeit . . . . .	75
5.6.1	Widerstandspunktschweißen . . . . .	76
5.6.2	Laserstrahlschweißen . . . . .	78
5.7	Lackierbarkeit . . . . .	81
5.8	Korrosionsbeständigkeit . . . . .	84
5.8.1	Auslagerung in der Klimakammer . . . . .	84
5.8.2	Elektrochemische Messungen . . . . .	89
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>92</b>
6.1	Oxidationsbeständigkeit . . . . .	92
6.2	Haftmechanismen und Haftverbesserung . . . . .	94
6.3	Umformbarkeit . . . . .	96
6.4	Schweißbarkeit . . . . .	98
6.5	Lackierbarkeit . . . . .	99
6.6	Korrosionsbeständigkeit . . . . .	100
6.7	Industrielle Einsatzmöglichkeiten . . . . .	101
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>104</b>

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>106</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>107</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>108</b>