

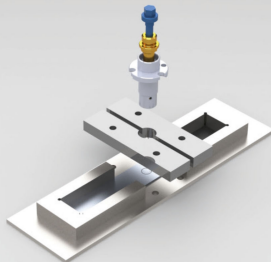


Wiebke Sophie Junior (Autor)

# **Reibpunktschweißen/ -fügen von thermoplastischem Polymer und Aluminium mit Nanokompositen basierend auf oberflächenfunktionalisierten Nanopartikeln für Leichtbauanwendungen**

Wiebke Sophie Junior

**Reibpunktschweißen/ -fügen von thermoplastischem Polymer und Aluminium mit Nanokompositen basierend auf oberflächenfunktionalisierten Nanopartikeln für Leichtbauanwendungen**



Cuvillier Verlag Göttingen  
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/7118>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Motivation.....	1
1.2	Aufgabenstellung und Zielsetzung.....	4
1.3	Aufbau der Arbeit .....	5
<b>2</b>	<b>Grundlagen und Stand der Technik</b> .....	<b>7</b>
2.1	Polymere Nanokomposite .....	7
2.2	Nanopartikel.....	9
2.2.1	Silica (SiO <sub>2</sub> ) Nanopartikel.....	11
2.2.1.1	Struktur .....	11
2.2.1.2	Herstellung.....	12
2.2.1.3	Eigenschaften .....	13
2.2.2	Kohlenstoff-Nanoröhrchen (Carbon Nanotubes, CNT) .....	13
2.2.2.1	Struktur .....	14
2.2.2.2	Herstellung.....	15
2.2.2.3	Eigenschaften .....	18
2.3	Funktionalisierung von Nanopartikeln.....	19
2.3.1	Kovalente Funktionalisierung von Nanopartikeln .....	20
2.3.1.1	“Grafting-to“-Funktionalisierung.....	20
2.3.1.2	“Grafting-from“-Funktionalisierung mittels ATRP .....	21
2.3.2	Nicht-kovalente Funktionalisierung von Nanopartikeln.....	24
2.4	Fügetechnologien von Kunststoffen .....	25
2.4.1	Reibpunktschweißen (Friction Spot Welding).....	27
2.4.1.1	Reibpunktschweißwerkzeug und Probenhalter .....	28
2.4.1.2	Reibpunktschweißen im Sleeve-Plunge-Verfahren.....	30
2.4.1.3	Querschnitt eines Reibschweißpunkts .....	32
2.4.1.4	Versagensarten während des Scherzugversuchs.....	34
2.4.2	Reibpunktfügen (Friction Spot Joining).....	35
2.4.2.1	Reibpunktfügewerkzeug und Probenhalter.....	36
2.4.2.2	Reibpunktfügen im „Sleeve-Plunge“-Verfahren .....	37
2.4.2.3	Querschnitt eines Reibfügepunkts.....	38
2.4.2.4	Versagensarten während des Scherzugversuchs.....	40
<b>3</b>	<b>Experimenteller Teil</b> .....	<b>43</b>
3.1	PMMA/SiO <sub>2</sub> -Nanokomposite .....	43



3.1.1	Materialien .....	43
3.1.2	Funktionalisierung der SiO <sub>2</sub> -Nanopartikel.....	45
3.1.2.1	Silanisierung der SiO <sub>2</sub> -Oberfläche .....	46
3.1.2.2	Anbringen des ATRP-Initiators.....	46
3.1.2.3	“Grafting from“ PMMA via ATRP .....	47
3.1.3	Herstellung und Verarbeitung der PMMA/ SiO <sub>2</sub> - Nanokomposite .....	47
3.1.3.1	Lösungsmischen .....	48
3.1.3.2	Extrudieren der Nanokomposite .....	49
3.1.3.3	Spritzgießen der Prüfkörper .....	50
3.1.3.4	Heißpressen der Prüfkörper .....	51
<b>3.2</b>	<b>PC/ MWCNT Nanokomposite .....</b>	<b>52</b>
3.2.1	Materialien .....	52
3.2.2	Funktionalisierung der MWCNT.....	54
3.2.2.1	Synthese von Pyren-POSS.....	55
3.2.2.2	Funktionalisierung der MWCNT mit Pyren-POSS .....	56
3.2.3	Herstellung und Verarbeitung der PC/ MWCNT Nanokomposite .....	56
3.2.3.1	Lösungsmischen .....	56
3.2.3.2	Extrudieren.....	57
3.2.3.3	Heißpressen von Prüfkörpern.....	57
<b>3.3</b>	<b>Fügemethoden.....</b>	<b>58</b>
3.3.1	Reibpunktschweißen der PMMA 6N/SiO <sub>2</sub> -Nanokomposite mit PMMA GS.....	58
3.3.2	Reibpunktfügen der PC/MWCNT Nanokomposite mit AA6082 .	59
3.3.2.1	Vorbehandlung der Oberfläche von AA6082.....	59
3.3.2.2	Reibpunktfügen .....	60
<b>3.4</b>	<b>Charakterisierungsmethoden .....</b>	<b>61</b>
3.4.1	Charakterisierung der funktionalisierten Nanopartikel .....	61
3.4.1.1	Gelpermeationschromatographie (GPC) .....	61
3.4.1.2	Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie (FT-IR).....	61
3.4.1.3	Thermogravimetrische Analyse (TGA).....	62
3.4.2	Charakterisierung der Nanokomposite .....	62
3.4.2.1	Transmissionselektronenmikroskopie (TEM).....	62
3.4.2.2	Rheologische Untersuchungen.....	63
3.4.2.3	Zugversuch.....	63
3.4.2.4	Wärmeleitfähigkeitsmessung .....	64
3.4.2.5	Ermittlung des elektrischen Widerstands mittels Vierpunktmethode .....	65
3.4.3	Charakterisierung der Schweiß- / Fügepunkte.....	66



3.4.3.1	Herstellung der plastographischen Schliffe für mikroskopische Untersuchungen .....	66
3.4.3.2	Lichtmikroskopie.....	67
3.4.3.3	Lasermikroskopie .....	68
3.4.3.4	Raman Spektroskopie .....	68
3.4.3.5	Scherzugversuch.....	69
<b>4</b>	<b>Ergebnisse der PMMA 6N/SiO<sub>2</sub>-Nanokomposite .....</b>	<b>71</b>
<b>4.1</b>	<b>Polymermodifikation der SiO<sub>2</sub>-Nanopartikel mit PMMA via ATRP .....</b>	<b>71</b>
4.1.1	Untersuchung der gepfropften PMMA-Ketten .....	71
4.1.2	Untersuchung der Masse und Zersetzungstemperatur der gepfropften PMMA-Ketten.....	73
4.1.3	Untersuchung der Molmasse der gepfropften PMMA-Ketten.....	75
<b>4.2</b>	<b>Charakterisierung der hergestellten PMMA/ SiO<sub>2</sub>-Nanokomposite .....</b>	<b>76</b>
4.2.1	Morphologische Untersuchung der Nanokomposite mittels TEM .....	76
4.2.2	Rheologische Untersuchung der PMMA 6N/SiO <sub>2</sub> -Nanokomposite .....	78
4.2.3	Untersuchung der mechanischen Eigenschaften der PMMA 6N/SiO <sub>2</sub> - Nanokomposite mittels Zugversuch .....	81
<b>4.3</b>	<b>Reibpunktschweißen der PMMA 6N/SiO<sub>2</sub>-Nanokomposite mit PMMA GS.....</b>	<b>84</b>
4.3.1	Untersuchung des Einflusses der Rotationsgeschwindigkeit auf einen Schweißpunkt aus PMMA GS mit PMMA 6N/SiO <sub>2</sub> -Nanokomposit .....	84
4.3.2	Untersuchung des Einflusses von SiO <sub>2</sub> -Nanopartikeln und deren Funktionalisierung auf die Mikrostruktur und den Materialfluss innerhalb des Schweißpunkts .....	91
4.3.2.1	Untersuchung der Mikrostruktur mittels Lichtmikroskopie.....	91
4.3.2.2	Untersuchung von Materialfluss und -vermischung mittels Raman-Spektroskopie.....	96
4.3.3	Untersuchung des Einflusses von SiO <sub>2</sub> -Nanopartikeln und deren Funktionalisierung auf die mechanischen Eigenschaften des Schweißpunkts.....	102
<b>4.4</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>105</b>
<b>4.5</b>	<b>Anwendungspotential.....</b>	<b>108</b>
<b>5</b>	<b>Ergebnisse der PC/MWCNT-Nanokomposite.....</b>	<b>109</b>
<b>5.1</b>	<b>Charakterisierung der funktionalisierten MWCNT .....</b>	<b>109</b>



5.1.1	Untersuchung der erfolgreichen Synthese von Pyren-POSS mittels ATR-FT-IR .....	109
5.1.2	Untersuchung der erfolgreichen Funktionalisierung der MWCNT mit Pyren-POSS mittels FT-IR.....	111
5.1.3	Untersuchung der Masse und der Zersetzungstemperatur der Pyren-POSS-Funktionalisierung mittels TGA .....	112
<b>5.2</b>	<b>Charakterisierung der hergestellten PC/MWCNT Nanokomposite .....</b>	<b>113</b>
5.2.1	Morphologische Untersuchung der PC/MWCNT- Nanokomposite mittels TEM.....	113
5.2.2	Rheologische Untersuchung der PC/MWCNT Nanokomposite.	115
5.2.3	Untersuchung der Wärmeleitfähigkeit der PC/MWCNT Nanokomposite .....	117
5.2.4	Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit der PC/MWCNT Nanokomposite .....	118
5.2.5	Untersuchung der mechanischen Eigenschaften der PC/MWCNT- Nanokomposite mittels Zugversuch.....	120
<b>5.3</b>	<b>Reibpunktfügen der PC/MWCNT Nanokomposite mit AA6082 .....</b>	<b>122</b>
5.3.1	Einfluss verschiedener Fügeparameter und der MWCNT auf die Mikrostruktur des Fügepunkts.....	123
5.3.2	Einfluss des Füllstoffgehalts und der Funktionalisierung von MWCNT auf die Mikrostruktur des Fügepunkts .....	130
5.3.3	Einfluss des Füllstoffgehalts und der Funktionalisierung von MWCNT auf die mechanischen Eigenschaften des Fügepunkts	134
5.3.4	Untersuchung des elektrischen Widerstands durch den Fügepunkt .....	139
<b>5.4</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>142</b>
<b>5.5</b>	<b>Anwendungspotential.....</b>	<b>146</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>149</b>
6.1	Zusammenfassung .....	149
6.2	Ausblick .....	152
<b>7</b>	<b>Summary .....</b>	<b>153</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>157</b>
<b>9</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>165</b>
9.1	Sicherheitshinweise der verwendeten chemischen Substanzen .....	165