

**Verfahrenstechnische Voraussetzungen  
zur Integration von Aluminium-Stahl-Mischbauweisen  
in den Kraftfahrzeugbau**

Vom Fachbereich Produktionstechnik  
der  
**UNIVERSITÄT BREMEN**

zur Erlangung des Grades  
Doktor-Ingenieur  
*genehmigte*

Dissertation  
von  
M. Sc. Michael Kreimeyer

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Frank Vollertsen
2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Friedrich-Wilhelm Bach

Tag der mündlichen Prüfung: 30.03.2007

## Inhaltsverzeichnis

<b>Verzeichnis verwendeter Symbole und Abkürzungen</b>		<b>VII</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stand der Technik</b>	<b>2</b>
2.1	Anforderungen der Verkehrsmittelindustrie an Werkstoffe, Fügeverbindungen, Fügeverfahren	2
2.2	Kombination von Aluminium mit Stahl	4
2.3	Fügeverfahren	7
2.3.1	Athermische Fügeverfahren	8
2.3.2	Thermische Fügeverfahren	9
2.4	Hybridtechnik	19
2.5	Modellansätze zur Benetzung	20
2.6	Zusammenfassende Bewertung	21
<b>3</b>	<b>Ziel und Lösungsansatz</b>	<b>22</b>
3.1	Ziel	22
3.2	Lösungsansatz	22
<b>4</b>	<b>Werkstoffe</b>	<b>24</b>
4.1	Grundwerkstoffe	24
4.2	Zusatzwerkstoff	25
4.3	Hilfsstoff	26
<b>5</b>	<b>Experimentelle Methoden</b>	<b>27</b>
5.1	Laserfügeprozess mit überlagerter Formänderung	27
5.1.1	Verfahrensprinzip	27
5.1.2	Aufbau	28
5.1.3	Bearbeitungsparameter	30
5.2	Laserfügeprozess mit zusätzlicher Wärmequelle	31
5.2.1	Verfahrensprinzip	31
5.2.2	Aufbau	32
5.2.3	Bearbeitungsparameter	33
5.3	Energiequellen	35
5.3.1	Laserstrahlquelle	35
5.3.2	MIG-Brennereinheit	36
5.4	Messmethoden	37
5.4.1	Auflichtmikroskopie	37
5.4.2	Rasterelektronenmikroskopie	37

5.4.3	EDX-Scans	37
5.4.4	Phasenbestimmung mittels EBSD	37
5.4.5	Probenvermessung	38
5.5	Mechanische Eigenschaften	39
5.5.1	Statische Festigkeit	39
5.5.2	Wechselfestigkeit	40
5.5.3	Statistische Behandlung der Wechselfestigkeit	41
5.6	Korrosions- und Beschichtungstests	41
<b>6</b>	<b>Analytische Modellbildung</b>	<b>42</b>
<b>7</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>48</b>
7.1	Mikrostruktur der Fügeverbindungen	48
7.2	Ermittlung der Prozessarbeitsbereiche	53
7.2.1	Laserstrahlfügen mit überlagerter Formänderung	53
7.2.2	Laserstrahlfügen mit zusätzlicher Wärmequelle	55
7.3	Statisches Festigkeitsverhalten	58
7.4	Zyklisches Festigkeitsverhalten	60
7.5	Korrosion	65
7.6	Potenzielle Anwendungen	67
7.6.1	Hybrid Tailored Tubes	67
7.6.2	Hybrid Tailored Blanks	68
<b>8</b>	<b>Verfahrensvergleich</b>	<b>70</b>
<b>9</b>	<b>Korrelation der experimentellen und analytischen Ergebnisse</b>	<b>74</b>
<b>10</b>	<b>Beurteilung der Eigenschaften der Verbindungen</b>	<b>79</b>
<b>11</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>86</b>
<b>12</b>	<b>Literatur</b>	<b>88</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>98</b>