

# ***Bibliografische Beschreibung***

Eckert, Alexander

## **Thema:**

Prognose der Maßhaltigkeit punktförmig mechanisch gefügter Karosserieanbauteile  
Dissertation an der Fakultät Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz,  
Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse, Chemnitz, 22.02.2012.

195      Seiten  
112      Abbildungen  
192      Literaturzitate

## **Referat:**

Gegenstand der Arbeit ist die Entwicklung einer Methode zur Prognose der Maßhaltigkeit punktförmig mechanisch gefügter Karosserieanbauteile. Ausgangspunkt sind experimentelle Grundlagenuntersuchungen zur Charakterisierung und Messung von Verzügen standardisierter Einpunktproben durch unterschiedliche mechanische Fügeverfahren. Durch eine stufenweise Erhöhung der Probenkomplexität (Einpunktprobe bis Karosseriebaugruppe) und Variation der Randbedingungen werden Effekte und Wechselwirkungen aufgezeigt. Die experimentell gewonnenen Erkenntnisse dienen der Entwicklung und Verifizierung eines numerischen Ansatzes zur Zusammenbausimulation. In der Simulationsmethode können die durch mechanische Fügeverfahren eingebrachten Lasten berücksichtigt und deren Wirkung auf Baugruppen berechnet werden. Prognosen bezüglich der zu erwartenden Maßhaltigkeit sind, abhängig von der Phase der Produktentwicklung, sowohl auf Basis von experimentellen Untersuchungsmethoden als auch auf Basis numerischer Simulationsmethoden möglich.

**Schlüsselwörter:** Karosseriebauprozess, Mechanisches Fügen, Verzugssimulation, Zusammenbausimulation, Finite Element Methode

## **Abstract**

Mechanical joining of complex car body components is an essential part of light-weight construction concepts in the field of car body manufacturing. Besides the mechanical behaviour of the joints, the influence on the dimensional accuracy is of particular interest, as joining techniques like clinching or self-piercing riveting cause distortion comparable to spot welding. In recent years, a lot of simplified models using the FE-Method to predict the distortion of assemblies caused by welding (weld seams, spot welds) were presented and commercialised. In contrast to thermal joining technologies, there are no such simplified models with practical relevance in the mechanical joining technology sector.

In this thesis, new methods to predict distortion, caused by different mechanical joining technologies, including effects from previous forming processes and clamping conditions, are presented. Basic investigations on distortion effects of simple as well as complex specimens are carried out. The validation of the developed simplified model takes place due to an extensive design of experiments. It can be proved that the distortion of simple as well as complex specimens can be reliably predicted. Predictions about dimensional accuracy of mechanically joined car body assemblies can be made based on experiments as well as simulations. Furthermore a method to ensure prediction quality is presented.

## ***Inhalt***

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen und Stand der Technik</b>	<b>13</b>
	<b>2.1 Karosserieranbauteile aus Aluminium</b>	<b>13</b>
	2.1.1 Aufbau und Herstellungsprozesse	13
	2.1.2 Fügetechnik	16
	2.1.3 Qualitätsmerkmale von Karosserieranbauteilen	23
	2.1.4 Produktentstehungsprozess von Karosserieranbauteilen	24
	<b>2.2 Maßhaltigkeit von Karosserieranbauteilen</b>	<b>27</b>
	2.2.1 Ursachen für Abweichungen der Maßhaltigkeit	28
	2.2.2 Tolerierung von Baugruppen	32
	2.2.3 Sequenzielle Validierung	34
	2.2.4 Functional Build und Virtual Functional Build Ansatz	36
	<b>2.3 Analyse und Prognose der Maßhaltigkeit</b>	<b>39</b>
	2.3.1 Analyse mittels Koordinatenmesstechnik	40
	2.3.1.1 <i>Streifenprojektionsverfahren</i>	41
	2.3.1.2 <i>Photogrammetrie</i>	42
	2.3.1.3 <i>RPS-Systematik</i>	42
	2.3.2 Analyse und Prognose mittels FE-Simulation	43
	2.3.2.1 <i>Prozesskettensimulation zur Prognose der Maßhaltigkeit</i>	46
	2.3.2.2 <i>Spannen und Fügen von Baugruppen</i>	50
	2.3.2.3 <i>Schweißverzugssimulation</i>	53
	2.3.2.4 <i>Simulation mechanischer Fügetechniken</i>	57
	<b>2.4 Diskussion</b>	<b>59</b>
<b>3</b>	<b>Problem-, Zielstellung und eigener Ansatz</b>	<b>63</b>
	<b>3.1 Problemstellung</b>	<b>63</b>
	<b>3.2 Zielstellung</b>	<b>63</b>
	<b>3.3 Eigener Ansatz und Abgrenzung</b>	<b>64</b>
<b>4</b>	<b>Definitionen und Versuchsrandbedingungen</b>	<b>69</b>

<b>4.1 Definition von lokalem und globalem Verzug</b>	<b>69</b>
<b>4.2 Beschreibung einer Fügeoperation</b>	<b>70</b>
<b>4.3 Standard- und Mehrpunktproben</b>	<b>72</b>
<b>4.4 Benchmarkbaugruppe Karosserieranbauteile</b>	<b>73</b>
<b>4.5 Standard- und Mehrpunktproben mit Randbedingungen</b>	<b>79</b>
4.5.1 Randbedingung Vorverformung	79
4.5.2 Randbedingung Spanntechnik	81
<b>5 Experimentelle Untersuchungen</b>	<b>83</b>
<b>5.1 Verzug von Standardproben</b>	<b>84</b>
5.1.1 Bemusterung	84
5.1.2 Verzugsentstehung	85
5.1.3 Meßmethode und Vergleich von Fügeverzügen	89
<b>5.2 Wirkungen von Randbedingungen auf Fügepunkteigenschaften</b>	<b>94</b>
5.2.1 Bewertung der Verbindungsqualität	95
5.2.2 Vorverformung	96
5.2.3 Spannerrandbedingungen	99
<b>5.3 Einflüsse auf die Maßhaltigkeit der Benchmarkbaugruppe</b>	<b>103</b>
5.3.1 Maßhaltigkeit der Einzelteile	104
5.3.2 Änderung der Maßhaltigkeit entlang einer Fügeoperation	105
5.3.3 Einfluss der Innengruppe auf die Gesamtbaugruppe	107
5.3.4 Änderung der Maßhaltigkeit durch Überdrückung	108
5.3.5 Einfluss der Einzelteilsteifigkeit	111
5.3.6 Einfluss unterschiedlicher Fügetechniken	113
5.3.7 Einfluss von Fügereihenfolgen	115
5.3.8 Zusammenfassung und Diskussion	117
<b>6 Numerische Zusammenbausimulation</b>	<b>120</b>
<b>6.1 Anforderungen und Übertragbarkeit bestehender Lösungen</b>	<b>121</b>
6.1.1 Anforderungen an eine praxisnahe Modellierung	121
6.1.2 Bestehende Lösungen und Herausforderungen	122
6.1.3 Übertragbarkeit bestehender Lösungen	125

<b>6.2 Ansatz zur Zusammenbausimulation</b>	<b>128</b>
6.2.1 Ansatz zur Kopplung von Simulationsmethoden	129
6.2.2 Wirkflächenbasierte Modellierung von Zusammenbauprozessen	129
6.2.3 Berücksichtigung der Lasten durch mechanische Füge-techniken	130
6.2.4 Ermittlung der Lasten durch mechanische Füge-techniken	132
6.2.4.1 Kalibrierung mittels Verzugsmessungen	133
6.2.4.2 Verwendung von Prozesssimulationen	135
6.2.5 Vereinfachungen des Ansatzes	137
<b>6.3 Übertrag auf Standard- und Mehrpunktproben</b>	<b>138</b>
6.3.1 Mehrpunktproben ohne Randbedingungen	138
6.3.2 Standard- und Mehrpunktproben mit Randbedingungen	140
<b>6.4 Übertrag des Ansatzes auf Baugruppen</b>	<b>144</b>
6.4.1 Bauteileingangsgrößen	145
6.4.2 Modellierung des Zusammenbauprozesses von Baugruppen	147
6.4.3 Berechnungsergebnisse einer geclinchten Innengruppe	148
6.4.4 Einflüsse vorgelagerter Prozesse	151
6.4.5 Überdrückung von Baugruppen	153
6.4.6 Anlageneinflüsse und Einflüsse unterschiedlicher Füge-techniken	155
6.4.7 Zusammenfassung und Diskussion	158
<b>7 Abgesicherte Prognose der Maßhaltigkeit</b>	<b>161</b>
<b>8 Zusammenfassung</b>	<b>166</b>
<b>9 Fazit und Ausblick</b>	<b>170</b>
<b>10 Literaturverzeichnis</b>	<b>172</b>
<b>11 Anlagen</b>	<b>190</b>