

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungen und Formelzeichen</b>	<b>XIII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Stand der Technik</b>	<b>2</b>
2.1 Grundlagen des Halbhohlstanznietens . . . . .	2
2.1.1 Verfahrensbeschreibung . . . . .	2
2.1.2 Verfahrensablauf . . . . .	3
2.1.3 Nitelemente . . . . .	4
2.1.4 Matrizen . . . . .	5
2.2 Halbhohlstanznieten in der Karosseriefertigung . . . . .	5
2.2.1 Anlagentechnik für das Halbhohlstanznieten . . . . .	6
2.2.2 Herausforderungen des Halbhohlstanznietens in der Karosseriefertigung . . . . .	6
2.2.3 Aluminium-Druckgussfügeteile in der Karosseriefertigung . . . . .	7
2.2.4 Halbhohlstanznieten von Druckgussfügeteilen . . . . .	8
2.3 Qualitätssicherung des Halbhohlstanznietprozesses . . . . .	9
2.3.1 Qualitätskenngrößen beim Halbhohlstanznieten . . . . .	9
2.3.2 Zerstörende Prüfung . . . . .	10
2.3.3 Zerstörungsfreie Prüfung . . . . .	11
2.3.4 Prozessüberwachung des Halbhohlstanznietens . . . . .	12
2.4 Grundlagen der Datenanalyse . . . . .	13
2.4.1 Eigenschaften von Daten . . . . .	14
2.4.2 Data Mining . . . . .	15
2.4.3 Maschinelles Lernen . . . . .	16
2.4.4 Anwendung von Data Mining in der Fügetechnik . . . . .	20
<b>3 Aufgabenstellung</b>	<b>22</b>
<b>4 Versuchswerkstoffe und -einrichtungen</b>	<b>24</b>
4.1 Versuchswerkstoffe . . . . .	24
4.1.1 Mikrolegierter Stahl CR340LA . . . . .	24
4.1.2 Aluminium-Druckguss-Legierung EN-AC 43000 . . . . .	25
4.1.3 Klebstoff BETAMATE <sup>TM</sup> 1630 . . . . .	26
4.1.4 Verwendete Nitelemente und Matrizen . . . . .	26
4.1.5 Probengeometrie . . . . .	27
4.2 Versuchseinrichtungen . . . . .	27
4.2.1 Fügeeinrichtung Tox-Stanznietzange im Laboraufbau . . . . .	28
4.2.2 Tox-Stanznietzange im Produktionsumfeld . . . . .	29
4.2.3 Universalprüfmaschine Zwick 1484 . . . . .	31

4.3	Numerisches Simulationsmodell . . . . .	31
4.4	Sensorik zur Messung der Nietkopfdnlage . . . . .	32
4.4.1	Sensorauswahl . . . . .	32
4.4.2	Messmethode . . . . .	32
4.4.3	Validierung der Messung . . . . .	33
4.5	Maschinen- und Prozessdaten . . . . .	34
<b>5</b>	<b>Untersuchung der Prozesscharakteristik des Halbhohlstanziens</b>	<b>35</b>
5.1	Systemanalyse . . . . .	35
5.1.1	Mögliche Einflussgrößen . . . . .	35
5.1.2	Qualitätsrelevante Zielgrößen . . . . .	37
5.1.3	Versuchsplan . . . . .	39
5.2	Ableitung der wesentlichen Faktoren . . . . .	40
5.3	Bewertung der Hüllkurve . . . . .	43
5.3.1	Überempfindlichkeit der Hüllkurven-Bewertungsmethodik . . . . .	43
5.3.2	Unterempfindlichkeit der Hüllkurven-Bewertungsmethodik . . . . .	45
5.3.3	Zusammenfassung der Hüllkurven-Bewertungsmethodik . . . . .	48
<b>6</b>	<b>Neues Bewertungskonzept für die Fügequalität</b>	<b>49</b>
6.1	Ableitung der wesentlichen Zielgrößen . . . . .	49
6.2	Entwicklung der Kriterien zur Fehlererkennung . . . . .	49
6.2.1	Auswahl der Kriterien . . . . .	50
6.2.2	Bestimmung der Vorgabewerte . . . . .	51
6.2.3	Ermittlung der Bewertungsbereiche . . . . .	51
6.3	Ermittlung der wesentlichen Fehler . . . . .	53
6.3.1	Variation der Zielkraft . . . . .	53
6.3.2	Variation der matrizenseitigen Fügeteildicke . . . . .	56
6.3.3	Variation der Niethärte . . . . .	59
6.3.4	Einfluss der Wärmebehandlung des matrizenseitigen Aluminium-Druckgussfügeteiles . . . . .	61
6.3.5	Variation der Nietgeometrie . . . . .	65
6.3.6	Matrizentiefe . . . . .	68
6.3.7	Variation des Randabstandes . . . . .	71
6.3.8	Matrizendefekt . . . . .	73
6.3.9	Zusammenfassung der wesentlichen Fehlercharakteristik . . . . .	75
6.4	Erprobung der Fehlererkennung in der Versuchsanlage der seriellen Karosseriefertigung . . . . .	77
<b>7</b>	<b>Erweiterung der Fehlererkennung durch maschinelles Lernen</b>	<b>79</b>
7.1	Erweiterung der Fehlererkennung . . . . .	79

---

7.2	Prozessdatenbasierte Prognose der Verbindungsqualität . . . . .	81
7.2.1	Datenvorverarbeitung . . . . .	81
7.2.2	Modellierung des HHSN-Prozesses zur Prognose der NKE . . . . .	85
7.2.3	Optimierung der Modellparameter des Klassifikationsmodells . . . . .	90
7.3	Auftrittshäufigkeit der Merkmale . . . . .	93
7.4	Validierung des entwickelten Klassifikationsmodells . . . . .	95
<b>8</b>	<b>Entwicklung der Prozessüberwachung</b>	<b>97</b>
8.1	Struktur der Prozessüberwachung . . . . .	97
8.2	Bewertung der Verbindungsqualität . . . . .	98
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>100</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>102</b>