

# Bibliografische Beschreibung

Weigert, Philipp:

Berücksichtigung formänderungsbedingter Effekte (Rückfederung) im Entwicklungsprozeß der Methodenplanung von tiefgezogenen Karosseriebauteilen

Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz, Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse, Chemnitz, 2009.

112	Seiten
49	Abbildungen
13	Tabellen
7	Anlagen
102	Quellen

## Referat

Steigende Anforderungen an die Paßgenauigkeit von tiefgezogenen Karosseriebauteilen stellen in Zukunft neue Herausforderungen an die Automobilhersteller dar. Das Tiefziehen ist unter den blechverarbeitenden Herstellungsverfahren das Bedeutendste, da geometrisch komplexe Formen in hoher Stückzahl in anhaltend guter Qualität hergestellt werden. Rückfederungserscheinungen nach dem Entlasten der Werkzeuge sind prozessbedingt nicht vermeidbar. Die virtuelle Optimierung der Karosseriebauteile und der Herstellungsmethode ist notwendig, um der Forderung des Einsatzes von hoch- und höchstfesten Blechwerkstoffen gerecht zu werden. Bei steigender Werkstoffgüte erhöhen sich auch die Rückfederungserscheinungen, welche kostenintensive Einarbeitungsschleifen zur Folge haben, wenn die Rückfederungseffekte nicht direkt bei der Konzeption von Bauteil und Herstellungsmethode mit berücksichtigt werden. Es wird ein Konzept vorgestellt Rückfederungserscheinungen bei der Auslegung der Bauteilgeometrie zu optimieren, um danach in einem zweiten Schritt bei der Festlegung der Herstellungsmethode die voraus berechneten maßlichen Abweichungen durch eine Wirkflächenkompensation bestmöglich zu reduzieren.

## Schlagnworte

Rückfederung, tiefgezogene Karosseriebauteile, Tiefziehen, numerische Simulation, numerische Optimierung, Finite-Elemente-Simulation, Methodenplanung

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis . . . . .	8
Kurzzeichenverzeichnis . . . . .	10
Abkürzungsverzeichnis . . . . .	12
<b>1. Einleitung</b>	<b>13</b>
<b>2. Stand der Technik</b>	<b>15</b>
2.1. Tiefziehen und Rückfederung bei der Herstellung von Karosseriebauteilen	15
2.1.1. Maßliche Abweichungen beim Tiefziehen . . . . .	15
2.1.2. Ursachen der Rückfederung . . . . .	16
2.1.3. Stellgrößen zur Beeinflussung der Rückfederung . . . . .	17
2.1.4. Rückfederungsbetrachtung im derzeitigen Einsatz . . . . .	18
2.1.5. Rückfederungsberechnung im derzeitigen Einsatz . . . . .	18
2.1.6. Bedarf, maßliche Abweichungen einstellen zu können . . . . .	19
2.1.7. Notwendigkeit, maßliche Abweichungen im Vorweg zu berechnen	19
2.2. Beschreibung von Werkstoffeigenschaften . . . . .	20
2.2.1. Aufnahme von Werkstoffkennwerten . . . . .	20
2.2.2. Einfluß der Werkstoffgüte auf die Rückfederung . . . . .	21
2.2.3. E-Modul . . . . .	21
2.2.4. Stoffmodell . . . . .	22
2.2.5. Fließkriterium . . . . .	23
2.2.6. Werkstoffverfestigungsmodelle . . . . .	26
2.2.7. Fließkurvenextrapolation . . . . .	27
2.3. Simulation . . . . .	28
2.3.1. Die Solverwahl . . . . .	29
2.3.2. Integrationsmethode . . . . .	29
2.3.3. Rezoning oder adaptive Netzverfeinerung . . . . .	31
2.3.4. Kontakt . . . . .	32
2.3.5. Tribologie und Reibung . . . . .	32
2.3.6. Kompensation von Werkzeugwirkflächen . . . . .	35

2.3.7. Ziehleistenersatzmodell . . . . .	37
2.4. Zusammenfassung Stand der Technik . . . . .	39
<b>3. Zielsetzung und Vorgehensweise</b>	<b>40</b>
3.1. Zielsetzung . . . . .	40
3.2. Abgrenzung . . . . .	40
3.3. Vorgehensweise . . . . .	41
<b>4. Neue Methoden zur Verringerung der maßlichen Abweichungen</b>	<b>42</b>
4.1. Vorstellung des Gesamtkonzeptes/ Regelkreis der Rückfederung . . . . .	42
4.2. Bauteilgeometriebezogene Bewertung ohne Betrachtung des Fertigungsprozesses . . . . .	43
4.2.1. Energie-Verschiebungs-Steifigkeitszusammenhang . . . . .	43
4.2.2. Vergleich des Rückfederungsverhaltens gezogener U-Profilvarianten	49
4.3. Ziehanlagenbezogene Rückfederungsoptimierung auf Basis einer Ziehanlage	50
4.3.1. Ablauf der Prozeßkette zur Optimierung einer Ziehanlage . . . . .	50
4.3.2. Bewertung von Rückfederung . . . . .	51
4.3.3. Flächennormierte Auswertung maßlicher Abweichungen . . . . .	55
4.3.4. Proportionalität zwischen maßlichen Abweichungen und Rückfederungsenergie . . . . .	55
4.3.5. Vorteil der Energiemethode . . . . .	57
4.3.6. Unschärfe bei der Beurteilung von Rückfederungssimulationen .	57
4.3.7. Ablauf der Prozeßkette zur Kompensation einer Ziehanlage . . .	60
4.3.8. Übertragung in methodenplanerische Herstellungskonzepte . . .	60
4.4. Zusammenfassung . . . . .	61
<b>5. Umsetzung der Maßnahmen</b>	<b>62</b>
5.1. Optimierung einer Bauteilgeometrie . . . . .	62
5.1.1. Vorstellung des Bauteils . . . . .	63
5.1.2. Eingebrachte Versteifungssicken . . . . .	63
5.1.3. Rückfederungsverhalten des Referenzbauteils . . . . .	63
5.1.4. Bewertung des Rückfederungsverhaltens auf Basis der Bauteilgeometrie . . . . .	64
5.1.5. Rückfederungsverhalten aus dem Tiefziehprozeß . . . . .	67
5.1.6. Fazit der Bauteilgeometriebewertung . . . . .	69
5.2. Optimierung der Ziehanlage . . . . .	69
5.2.1. Vorstellung des Bauteils . . . . .	71

5.2.2.	Optimierungsberechnung des Versuchswerkzeugs Längsträger PQ-Mix . . . . .	73
5.2.3.	Versuchswerkzeug Längsträger PQ-Mix . . . . .	77
5.3.	Zusammenfassung . . . . .	82
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>84</b>
<b>A.</b>	<b>Anlagen</b>	<b>86</b>
A.1.	Ergebnisse im Vergleich der maßlichen Abweichungen zwischen Versuch und Serie . . . . .	86
A.2.	Lüdersband . . . . .	88
A.3.	Verwendete Software . . . . .	88
A.4.	Differentialgleichungsentwicklung von Optimus . . . . .	89
A.4.1.	Algorithm Introduction . . . . .	89
A.4.2.	Algorithm of Differential Evolution . . . . .	89
A.4.3.	Parameter Choosing . . . . .	90
A.5.	Verwendete Werkstoffe . . . . .	91
A.5.1.	Tiefziehstahl DX54D . . . . .	91
A.5.2.	Tiefziehstahl H260LAD . . . . .	92
A.6.	Programmierarbeit . . . . .	93
A.6.1.	Geradengleichung . . . . .	93
A.6.2.	Winkel zwischen zwei Geraden . . . . .	93
A.6.3.	Ebenengleichung . . . . .	93
A.6.4.	Elementflächenberechnung . . . . .	94
A.6.5.	Normalenberechnung . . . . .	94
A.6.6.	Abstandsberechnung . . . . .	94
A.6.7.	Autopositionierung . . . . .	95
A.7.	Optimierungskette . . . . .	95
A.7.1.	Datensatzinhalt . . . . .	95
A.7.2.	Ablauf Simulationskette . . . . .	96
A.7.3.	Auswertung der Rückfederung . . . . .	97
A.7.4.	Eingangsdatenerstellung zur Berechnung der Rückfederungsenergie	97