
Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
Literatur	4
2 Karosserietechnik und Karosseriewerkstoffe	5
2.1 Bauweisen von Pkw-Karosserien	8
2.1.1 Karosserien in Rahmenstrukturbauweise	9
2.1.2 Selbsttragende Karosserien in Schalenbauweise	12
2.2 Strukturteile und Außenhautteile	15
2.3 Leichtbauaspekte im Karosseriebau	16
2.3.1 Strukturelle Leichtbauaspekte und Leichtbaukennwerte	17
2.3.2 Werkstoffliche Leichtbauaspekte	18
2.3.3 Belastungsgangepasste Karosserieblechteile (Tailored Components)	20
2.4 Blechwerkstoffe und Blechoberflächen im Karosseriebau	24
2.4.1 Stahlkarosseriebleche	25
2.4.2 Aluminiumkarosseriebleche	36
2.5 Blechteil- und Karosserieherstellprozess	42
2.5.1 Blechteilherstellprozess	43
2.5.2 Karosserieherstellprozess	45
2.6 Qualitätsaspekte und Bauteileigenschaften von Karosserieblechteilen und Baugruppen	53
2.6.1 Maß- und Formqualität von Karosserie-Blechteilen und Baugruppen	54
2.6.2 Oberflächenqualität von Karosserie-Blechteilen	87
2.6.3 Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von Karosserie-Blechteilen	107
Literatur	116
3 Plastizitätstheoretische und werkstofftechnische Grundlagen	119
3.1 Fließen und Stoffgesetz	122
3.2 Fließspannung, Fließkurve und Fließkurvenaufnahme	124
3.2.1 Zugversuch zur Fließkurvenaufnahme	124

3.2.2	Bulgetest zur Fließkurvenaufnahme	126
3.3	Mathematische Beschreibung der Fließkurve	130
3.3.1	Fließkurven-Potenzansätze nach Ludwik-Hollomon und nach Swift.	131
3.3.2	Fließkurven-Exponentialansatz nach Hockett-Sherby	134
3.3.3	Kombinierter Ansatz (Gewichtung zwischen Swift und Hockett-Sherby)	134
3.3.4	Kombinierte Fließkurve aus Zugversuch und Bulgetest	135
3.3.5	Auswirkung der Fließkurvenmodellierung auf die Simulationsergebnisse	137
3.3.6	Zusammenfassung zur Fließkurvenmodellierung	138
3.4	Materialmodellierung bei mehrachsigem Spannungszustand und isotropem Werkstoff	139
3.4.1	Beschreibung von Spannungszuständen	140
3.4.2	Schubspannungshypothese nach Tresca	143
3.4.3	Gestaltänderungsenergiehypothese nach von Mises	145
3.4.4	Fließgrenzfläche und Fließortkurve	146
3.5	Materialmodellierung bei mehrachsigem Spannungszustand und anisotropem Werkstoff	149
3.5.1	Anisotropiekennwerte für anisotropes Werkstoffverhalten	149
3.5.2	Materialmodell für senkrecht-anisotropen und eben-isotropen Werkstoff	152
3.5.3	Materialmodelle für senkrecht- und eben-anisotrope Werkstoffe	154
3.5.4	Auswirkung der Fließortkurvenmodellierung auf die Simulationsergebnisse	159
3.5.5	Zusammenfassung zur Fließortkurven-Modellierung	160
3.6	Formänderungen und Fließgesetz	161
3.6.1	Formänderungsverläufe und Formänderungsverteilungen	163
3.6.2	Fließgesetz/Fließregel	163
3.7	Formänderungsvermögen und Grenzformänderungen	166
3.7.1	Formänderungsvermögen	166
3.7.2	Grenzformänderungen	169
3.7.3	Grenzformänderungskurve und Grenzformänderungsdiagramm	169
3.7.4	Auswirkung der Grenzformänderungskurve auf die Simulationsergebnisse	186
3.7.5	Spannungsbasierte Grenzformänderungskurve (SFLC)	187
3.8	Zusammenfassung einiger wesentlicher Punkte zur Materialmodellierung	188
	Literatur	190

4 Verfahrenstechnische Grundlagen der Karosserieteilherstellung	195
4.1 Tiefziehen	195
4.1.1 Prozessablauf beim Tiefziehen im Erstzug	196
4.1.2 Prozessablauf beim Tiefziehen im Weiterzug	196
4.1.3 Spannungs- und Formänderungszustand beim Tiefziehen	199
4.1.4 Fehler- und Versagensmöglichkeiten beim Tiefziehen	205
4.1.5 Kräfte beim Tiefziehen	210
4.1.6 Prozessauslegung und Prozesssteuerung beim Tiefziehen	211
4.1.7 Umformbarkeit von Blechwerkstoffen beim Tiefziehen	216
4.2 Streckziehen	218
4.2.1 Prozessablauf beim Streckziehen mit starren Spannlementen	218
4.2.2 Prozessablauf beim Streckziehen mit (aktiv) beweglichen Spannlementen	220
4.2.3 Spannungs- und Formänderungszustand beim Streckziehen	221
4.2.4 Fehler- und Versagensmöglichkeiten beim Streckziehen	223
4.2.5 Prozessauslegung und Prozesssteuerung beim Streckziehen	225
4.2.6 Umformbarkeit von Blechwerkstoffen beim Streckziehen	229
4.3 Karosserieziehen	231
4.3.1 Begriffe für Flächen, Kanten und Radien am Ziehteil	231
4.3.2 Prozessablauf beim Karosserieziehen	236
4.3.3 Spannungs- und Formänderungszustand beim Karosserieziehen	236
4.3.4 Fehler- und Versagensmöglichkeiten beim Karosserieziehen	239
4.3.5 Prozessauslegung und Prozesssteuerung beim Karosserieziehen	253
4.3.6 Umformbarkeit von Blechwerkstoffen beim Karosserieziehen	269
4.4 Biegen, Nachformen und Falzen	269
4.4.1 Verfahrenseinteilung der Biegeverfahren	270
4.4.2 Prozessablauf beim Biegen	271
4.4.3 Spannungs- und Formänderungszustand beim Biegen	279
4.4.4 Fehler- und Versagensmöglichkeiten beim Biegen	283
4.4.5 Prozessauslegung und Prozesssteuerung beim Biegen	284
4.5 Nachschlagen/Kalibrieren	286
4.6 Presshärten	287
4.7 Scherschneiden	287
4.7.1 Prozessablauf beim Scherschneiden	288
4.7.2 Spannungen und Kräfte beim Scherschneiden	290
4.7.3 Varianten des Scherschneidens bei der Karosserieteilherstellung	291
4.7.4 Fehler- und Versagensmöglichkeiten beim Scherschneiden	293
4.7.5 Prozessauslegung beim Scherschneiden	296

4.8	Rückfederung	300
4.8.1	Klassifizierung der Rückfederungsarten und deren Einflussgrößen	300
4.8.2	Membranrückfederung	303
4.8.3	Biegerückfederung und Rückbiegerückfederung	304
4.8.4	Hohlzug beim ziehenden Biegen	307
4.8.5	Einfluss des Werkstoffs auf die Rückfederung	309
4.8.6	Einfluss der Bauteil- und Werkstückgeometrie auf die Rückfederung	311
4.8.7	Einfluss der Prozessführung und des Umformverfahrens auf die Rückfederung	312
4.8.8	Rückfederungskompensation	313
	Literatur	315
5	Werkzeugtechnik und Werkzeugherstellungsprozess	317
5.1	Grundsätzliche Werkzeugtypen	317
5.1.1	Folgeverbundwerkzeuge	319
5.1.2	Transferwerkzeuge	321
5.1.3	Stufenwerkzeuge	322
5.1.4	Linienwerkzeuge/Stufensätze	323
5.1.5	Einfach- und Mehrfachwerkzeuge	325
5.2	Konstruktiver Werkzeugaufbau	327
5.2.1	Konstruktiver Grundaufbau von Platinenschneidwerkzeugen	327
5.2.2	Konstruktiver Grundaufbau von Ziehwerkzeugen	329
5.2.3	Konstruktiver Grundaufbau von Schneidwerkzeugen	346
5.2.4	Konstruktiver Grundaufbau von Nachformwerkzeugen	352
5.3	Werkzeugwerkstoffe	360
5.4	Zeitlicher Ablauf der Werkzeugherstellung	363
5.5	Datenkette bei der Werkzeugherstellung	365
5.6	SE-Phase und Methodenplanung	366
5.7	Werkzeugkonstruktion	367
5.8	Arbeitsvorbereitung	367
5.9	Physische Werkzeugherstellung	368
5.9.1	Gießmodellerstellung und Guss	368
5.9.2	Herstellung von Ziehwerkzeugen	369
5.9.3	Herstellung von Schneid- und Nachformwerkzeugen	387
5.9.4	Werkzeugkorrektur zur Verbesserung der Maß- und Formqualität	391
5.9.5	Werkzeugkorrektur zur Verbesserung der Oberflächenqualität von Außenhautteilen	420
5.10	Kostenstruktur von Karosseriewerkzeugen	426
	Literatur	429

6	Grundlagen der Maschinen- und Anlagentechnik	431
6.1	Anlagen zur Platinenherstellung und -bereitstellung	431
6.2	Maschinen und Anlagen zur Bauteilherstellung	435
6.2.1	Maschinenwirkprinzipien	435
6.2.2	Zieheinrichtungen	457
6.3	Pressenarten und Mechanisierungssysteme	464
6.3.1	Pressen für kleine und mittelgroße Bauteile	464
6.3.2	Pressenlinien und Großteil-Transferpressen (Mehrstößel-Transferpressen)	472
6.3.3	Platinenlader und Fertigteil-Stapelanlagen	480
6.4	Ausbringung und Wirtschaftlichkeit von Pressensystemen	482
6.4.1	Ausbringung von kleinen und mittelgroßen Pressen	482
6.4.2	Ausbringung von Großpressen und Pressenlinien	482
6.4.3	Kosten- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Pressensystemen	485
6.5	Aktueller Trend bei der Ausrüstung neuer Presswerke	490
	Literatur	491
7	Fertigungsplanung und Fertigungsstrategien	493
7.1	Produktionspresse bzw. Produktionspressenlinie	495
7.2	Fertigungsverfahren	496
7.3	Folgeverbund- oder Stufen- bzw. Transferfertigung	496
7.4	Einfach- oder Mehrfachfertigung	498
7.5	Platinengeometrien und Platinenherstellung	503
7.5.1	Materialnutzungsgrad	503
7.5.2	Festlegung der Platinengeometrie	508
7.5.3	Randbedingungen der Platinenherstellung	508
7.5.4	Fallbeispiel Kotflügel	517
7.6	Pressen-Durchlaufplanung und Pressensimulation	518
7.6.1	Klassische Durchlaufuntersuchung bei mechanisch gekoppelten Transfersystemen	519
7.6.2	Pressendurchlauf-Simulation bei frei programmierbaren Transfersystemen	524
	Literatur	526
8	Methodenplanung	527
8.1	Allgemeine Einführung in die Methodenplanung	527
8.1.1	Gegenstand der Methodenplanung	527
8.1.2	Eingangsgrößen und Randparameter der Methodenplanung	528
8.1.3	Einordnung der Methodenplanung in den Fahrzeug- und Betriebsmittel-Entwicklungsprozess	530
8.1.4	Ablauf der Methodenplanung und Methodenplanungsinhalte	531
8.1.5	Simulationstools zur Unterstützung der Methodenplanung	538

8.2	Methodenplanung der Ziehoperation.....	540
8.2.1	Festlegung der Ziehlage	541
8.2.2	Bauteilaufbereitung zur (vorläufigen) Ziehschale	573
8.2.3	Festlegung von Werkzeuggrundaufbau und Anzahl Ziehstufen.....	575
8.2.4	Modellierung der Blechhalterwirkflächen.....	579
8.2.5	Modellierung der Stempelformflächen	610
8.2.6	Modellierung von Ziehsicken.....	627
8.3	Methodenplanung der Beschneide- und Lochoperationen.....	629
8.3.1	Festlegung Komplettbeschnitt oder segmentierter Beschnitt.....	630
8.3.2	Prüfung der Notwendigkeit eines Vorbeschnitts.....	632
8.3.3	Festlegung der Arbeitsrichtungen	634
8.3.4	Festlegung der Beschnittsegmente und der Abfallabführung	635
8.3.5	Detailgestaltung der Beschnittübergänge	638
8.3.6	Sicherstellung der werkzeugtechnischen Umsetzbarkeit	640
8.3.7	Sicherstellung der Mechanisierbarkeit.....	642
8.3.8	Sicherstellung der Positionierbarkeit in FolgeOP	643
8.3.9	Ergänzungen zur Lochmethode	644
8.4	Methodenplanung der Nachformoperationen	648
8.4.1	Festlegung der Nachformbereiche	649
8.4.2	Festlegung der Nachformlage und der Nachformrichtungen	653
8.4.3	Festlegung der Überformung	658
8.4.4	Festlegung der Werkstückabstützung beim Nachformen	659
8.4.5	Festlegung der Nachformreihenfolge	660
8.4.6	Festlegung der Nachformübergänge	663
8.4.7	Sicherstellung der werkzeugtechnischen Umsetzbarkeit	664
8.4.8	Sicherstellung der Mechanisierbarkeit.....	666
8.4.9	Sicherstellung der Positionierbarkeit des Werkstücks	667
8.5	Falzmethode	668
8.5.1	Festlegung der werkzeugfallenden Flanschstellungen.....	670
8.5.2	Ermittlung des Falzverlustes und Festlegung des Blechteilbeschnitts einschließlich Rückschnitten	671
8.6	Werkzeugmethode.....	672
8.6.1	Festlegung von Maßkorrekturen und Berücksichtigung von Toleranzfeldern	673
8.6.2	Festlegung von optisch bedingten Formkorrekturen	677
8.6.3	Festlegung von funktional bedingten Formkorrekturen	678
8.6.4	Festlegung von Kantenabzügen	679
8.6.5	Festlegung von Kontaktbereichen mit erhöhter Flächenpressung	680
8.6.6	Festlegung von Freimachungen	682
8.6.7	Festlegung von Hilfsflächen zur Teilepositionierung	684

8.6.8	Festlegung von Formtrennungen	684
8.6.9	Festlegung von Spaltmaßen (Umrissgeometrie)	686
8.6.10	Festlegung von Fräsvorgaben	687
8.7	Methodenrelevante Besonderheiten bei Tailored Blanks	688
8.7.1	Sicherstellung der Stapelbarkeit im Platinenstapel	688
8.7.2	Festlegung des Schweißnahtverlaufs bezüglich Umformung	689
8.7.3	Festlegung des Schweißnahtverlaufs bezüglich Beschneiden	689
8.7.4	Festlegung der Freimachung im Werkzeug für die Schweißnaht	690
8.8	Anwendungsbeispiel einer simulationsgestützten Methodenplanung	691
8.8.1	Vorgaben aus der Fertigungsplanung	691
8.8.2	Vorabmethode	691
8.8.3	Konzeptmethode	694
8.8.4	Feinmethode	697
8.9	Methodenrelevante Besonderheiten bei Außenhautteilen	703
	Literatur	709
	Sachverzeichnis	711