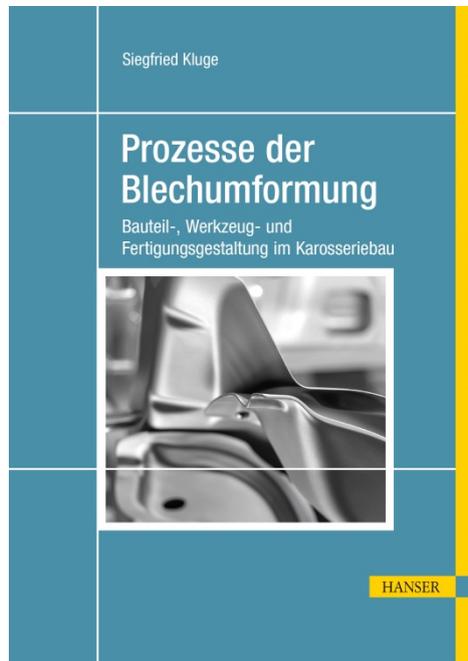


HANSER



Leseprobe

zu

„Prozesse der Blechumformung“

von Siegfried Kluge

Print-ISBN: 978-3-446-45576-4

E-Book-ISBN: 978-3-446-46071-3

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-45576-4>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Inhalt

Vorwort	XI
1 Einführung	1
1.1 Der Fertigungsprozess von Karosseriebauteilen	1
1.2 Abriss zur historischen Entwicklung der Blechbranche im Automobilbau	4
1.3 Ausbildung qualifizierter Fachkräfte	13
Literatur	18
2 Umformtechnische Grundlagen	21
2.1 Umformmechanismus	21
2.2 Umformfestigkeit und Fließkurve	25
2.3 Mehrachsigkeit der Beanspruchung, Fließbedingungen, Fließgesetz	31
2.4 Anisotropie der Blechwerkstoffe	35
2.5 Umformvermögen, Umformgrenze, Grenzformänderung	38
2.6 Reibung und Verschleiß	48
Literatur	63
3 Blechwerkstoffe	65
3.1 Leichtbau Karosserie	65
3.2 Stahlwerkstoffe	70
3.2.1 Verfestigungsmechanismen	70
3.2.2 Fertigung von Stahlblechen	73
3.2.3 Klassifizierung und Bezeichnung	74
3.2.4 Weiche Stähle	78
3.2.5 Höherfeste Stahlwerkstoffe	80

3.2.6	Mehrphasenstähle	82
3.2.7	Fließkurven und Grenzformänderungskurven im Vergleich	87
3.3	Leichtmetalle	89
3.3.1	Einsatzperspektiven	89
3.3.2	Aluminiumlegierungen im Karosseriebau	91
3.3.3	Magnesiumlegierungen	93
3.3.4	Titan, Titanlegierungen	96
3.4	Einsatz von Tailored Blanks	97
	Literatur	100
4	Beanspruchungsidentifikation	103
4.1	Problemstellung – Übersicht	103
4.2	Biegebeanspruchungen an Karosseriebauteilen	108
4.2.1	Verfahrensvarianten	108
4.2.2	Das freie Biegen	110
4.2.3	Biegen im Gesenk	117
4.2.4	Das Biegen von Hutprofilen	120
4.2.5	Ziehstäbe und Bremswülste	125
4.2.6	Biegen wenig gekrümmter Blechteile	134
4.3	Die Tiefziehbeanspruchung	137
4.3.1	Verfahrensvarianten	137
4.3.2	Grundlagen	140
4.3.3	Tiefziehen im Weiterschlag	145
4.3.4	Das Tiefziehen unrunder Bauteilkonturen	147
4.3.5	Die Niederhalterkraft für das Tiefziehen komplexer Bauteile	150
4.3.6	Tiefziehen mit großem Ziehspalt	156
4.3.7	Das Arbeitsdiagramm zum Nivellieren der Niederhalterkraft	157
4.3.8	Ermittlung der Zuschnittskonturen	165
4.4	Fertigungsverfahren der Zugumformung	168
4.4.1	Definitionen, Verfahrensanwendungen	168
4.4.2	Das Hohlprägen	170
4.4.3	Streckziehen mit Umformwerkzeugen	174
4.4.4	Rückfederung beim Streckziehen wenig gewölbter Karosserieteile	181
4.5	Kragenziehen – Weiten von Fließöffnungen, Fließöffnungen und Formkonturen	184
4.5.1	Verfahrensvarianten	184

4.5.2	Grundlagen des Aufweitens und Kragenziehens	186
4.5.3	Fließöffnungen, Fließschnitte, Entlastungsschnitte	190
4.6	Das Nachformen von Radien	197
4.6.1	Verfahren – Verfahrensanwendungen	197
4.6.2	Verfahrensgrundlagen	198
4.7	Das Falzen von Karosseriebauteilen	202
4.7.1	Verfahrenserläuterung	202
4.7.2	Verfahrensgrenzen	205
4.8	Das Schneiden von Blechen mit Werkzeugen	207
4.8.1	Verfahrensübersicht	207
4.8.2	Analyse des Schneidvorgangs	209
4.8.3	Kenngößen der Schnittfläche	210
4.8.4	Ermittlung energetischer Kenngößen	211
4.8.5	Schnittqualität	214
4.9	Presshärten	216
4.9.1	Das Verfahren	216
4.9.2	Blechwerkstoffe und ihr Verhalten	218
4.9.3	Anlagen und Werkzeuge	219
	Literatur	222
5	Finite-Elemente-Simulation in der Blechbearbeitung	225
5.1	Das Entwicklungskonzept	225
5.2	Die Grundlagen	226
5.3	Anwendungen	230
5.4	Stand und Weiterentwicklung	234
	Literatur	235
6	Qualitätsmanagement im Produktentstehungsprozess	237
6.1	Anforderungen des Marktes	237
6.2	Qualitätsstrategie für die Prozesskette Karosserie	239
6.3	Qualitätsanforderungen an Karosseriebauteile	241
6.4	Qualitätsmängel – Qualitätsrisiken	243
6.5	Toleranzmanagement	251
6.6	Prüfmethoden	254
6.7	Parallelentwicklungen – Basis der Produktentstehung	258
6.8	Prozessrobustheit	263
	Literatur	269

7	Maschinentechnik für das Umformen und Schneiden	271
7.1	Wandel der Anforderungen	271
7.2	Einteilung und Übersicht	274
7.3	Einzelpressen und Pressensysteme	283
7.4	Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit	293
	Literatur	296
8	Fertigungsplanung	299
8.1	Inhalte und Zielstellung	299
8.2	Produktzuordnung – Logistik	300
8.3	Die Grundtechnologie – dominierende Verfahrenskombination	304
8.4	Arbeitsweisen	306
8.5	Erste Durchlaufplanung	312
8.6	Wirtschaftliche Vergleiche von Fertigungsvarianten	317
	Literatur	320
9	Entwicklung und Bau der Werkzeuge	321
9.1	Konzeptionelle Grundlagen	321
9.2	Die Entwicklung der Prozessfolge großer komplexer Blechwerkstücke – der Methodenplan	324
9.2.1	Einführende Betrachtungen – Probleme der Prozessgestaltung	324
9.2.2	Anforderungen an die Methodenplanung	329
9.2.3	Die fertigungsgerechte Konstruktion von Karosserieteilen	338
9.2.4	Die Ziehanlagengestaltung	346
9.2.4.1	Vergegenständlichte Vorstellungen	346
9.2.4.2	Die Fertigungsrichtungen	349
9.2.4.3	Niederhalterfläche, Ankonstruktion und Stempelumriss	356
9.2.4.4	Praxisbeispiele zum Vertiefen der Ziehanlagenentwicklung	362
9.2.5	Die Ziehanlagenoptimierung	384
9.2.5.1	Notwendigkeit und Ziele	384
9.2.5.2	Beispiele der Ziehanlagenoptimierung	387
9.2.6	Spezielle Anforderungen an die Arbeitsfolgegestaltung	404
9.2.6.1	Übersicht, Problemstellung	404
9.2.6.2	Schneid- und Nachformoperationen	406

9.2.6.3	Durchlaufuntersuchungen	417
9.2.6.4	Abfallabführung	418
9.2.6.5	Überprüfen des Kraft- und Arbeitsbedarfs ...	421
9.2.6.6	Werkzeugprinzipien und Methodenplan	428
9.2.6.7	Rückfederung und Rückfederungs- kompensation	431
9.3	Werkzeuge der Karosserieteilefertigung	438
9.3.1	Übersicht	438
9.3.2	Stückgut- und Folgefertigung	439
9.3.3	Ziehwerkzeuge	444
9.3.4	Beschneide- und Nachformwerkzeuge	447
9.3.5	Werkzeugwerkstoffe	452
9.3.6	Werkzeuge für die Prototypen- und Kleinserienfertigung	461
9.4	Ausgewählte Bereiche der Werkzeugfertigung	469
9.4.1	Werkzeugkonstruktion	469
9.4.2	Anfertigung der Gießmodelle	472
9.4.3	Bearbeitung der Werkzeuge	472
9.4.4	Montage der Werkzeuge	473
9.4.5	Der Werkzeug-Tryout	474
	Literatur	477
	Index	479

Vorwort

Die Automobilindustrie gehört mit ihren Zulieferern zu den führenden und leistungsfähigsten Wirtschaftsbranchen und Arbeitgebern in Deutschland. Mit ihren hohen Ansprüchen an Mobilität, Komfort, Qualität und Umweltverträglichkeit wachsen die Anforderungen an die Entwicklung der Fertigung und Fertigungsausrüstungen, um dem hohen Leistungsdruck des Weltmarktes entsprechen zu können.

Moderner Automobilbau ist gekennzeichnet durch neue Antriebstechniken, Nutzungsmodifikationen, Derivatangebote und Ausrüstungsvarianten. Er fordert das Verkürzen der Modellwechselzeiten, das Entwickeln und Anwenden verbesserter Leichtbauwerkstoffe und einen kontinuierlichen Anstieg der Qualität der Erzeugnisse. Damit werden neue, qualifiziertere Formen der Zusammenarbeit aller an einem Entwicklungsprojekt beteiligten Bereiche erforderlich.

Größte Wertschöpfung erreicht die Automobilbranche mit ihrem hochinvestiven Werkzeugbau, der als Bindeglied zwischen Produktentwicklung und industrieller Produktion eine Schlüsselstellung einnimmt und mit seinen Erzeugnissen von hohem Niveau einer uneingeschränkten Förderung und Weiterentwicklung bedarf.

Dem Bau der Umform- und Schneidwerkzeuge geht eine umfassende, in Qualitätsabschnitte gegliederte Prozessplanung mit ansteigendem Leistungsergebnis voraus.

In der Bauteilentwicklung und Prozessplanung der komplexen Blechgebilde waren gegen Ende des vergangenen Jahrhunderts die Empirie vorherrschend. Mit dem Trend elektronischer Datenverarbeitung der letzten 30 Jahre, wurde für die Gestaltung und Berechnung von Freiformen ein bahnbrechender Fortschritt erzielt. Aus ursprünglich empirischen Lösungen entstehen zunehmend wissenschaftlich begründete Ergebnis-Sequenzen. CAD- und FEM- Programme sind nunmehr die Werkzeuge der Bauteilkonstruktion und Prozessplanung. Das Fernziel eines elektronischen Datentransfers, von der Werkstoffentwicklung bis hin zu Fahrzeugcrash ist der hohe Anspruch weiterer Forschungstätigkeit.

Der Fertigungsprozess eines Karosseriebauteils, als Stufenfolge von Umform- und Schneidvorgängen, ist zunächst eine mittels Computer gestaltete Modell-Lösung. Die CAD-Daten des Bauteils sind die Basis für den in Qualitätsstufen entwickelten Fertigungsplan mit Modellcharakter und Grundlage für die Konstruktion der Umform- und Schneidwerkzeuge.

Zielstellung ist es, dass die Wirkflächen der generierten Werkzeugmodelle Qualitätsergebnisse virtueller Werkstückmodelle ermöglichen, die mit den analogen Erprobungsergebnissen der in Stahl und Eisen vergegenständlichten Werkzeuge weitgehend übereinstimmen.

Dafür sind Arbeits- und Qualifizierungsbedingungen zu ermöglichen, die den eingangs geschilderten, steigenden Anforderungen in der Automobilbranche gerecht werden. Für eine effiziente Prozessgestaltung setzt das die Einsichten voraus:

- Theorie und Methodenkompetenz sind die dominierenden Arbeitsgrundlagen für das Erkennen, Verändern und Optimieren der Werkstückbeanspruchung beim Umformen und bei der Arbeitsstufengestaltung
- Kriterien fertigungsgerechter Gestaltung sind bereits beim Entwurf des Bauteils zu berücksichtigen, um Fertigungsrisiken auszuschließen
- Eine enge Zusammenarbeit von Bauteil- und Prozessentwickler ist Bedingung einer robusten Fertigung mit hoher Effizienz

Dieses Buch soll zum besseren Verständnis des Gesamtprozesses von Konstruktion und Fertigung unregelmäßig geformter, komplexer Blechbauteile, insbesondere von Karosseriebauteilen, beitragen.

Das Buch enthält Arbeitsergebnisse der KUKA-Werkzeugbau Schwarzenberg GmbH, jetzt Porsche Werkzeugbau GmbH und der Westsächsischen Hochschule Zwickau. Mein Dank gilt Mitarbeitern dieses Werkzeugbau-Traditionsunternehmens in Schwarzenberg, in dem ich nach meinem Ingenieurstudium die Tätigkeit als Werkzeugkonstrukteur begann und in Jahrzehnte folgender wissenschaftlicher Zusammenarbeit Erfahrungen und Fachwissen ergänzen konnte.

Besonderer Dank gilt den Mitarbeitern des Labors Fertigungstechnik der Westsächsischen Hochschule Zwickau für ihre Unterstützung und den Mitarbeitern des Carl Hanser Verlag München für ihren umfassenden Beitrag bei der Gestaltung dieses Buches.

Siegfried Kluge, Langenweißbach, Oktober 2019

Optimieren eines Heckteils aus Restaustenitstahl RA-K 40/70 (TRIP-Stahl 700)

Ziel ist es, ein bisher aus weichem Stahl der Marke DC 05 gefertigtes Heckteil zum Verbessern der Crashesicherheit aus Restaustenitstahl RA-K 40/70 zu fertigen, einem Mehrphasenstahl mit beträchtlich höheren Festigkeitswerten, jedoch eingeschränkten Umformeingenschaften. Der im Gefüge dieses Werkstoffs vorhandene Restaustenit wird während des Umformens in Martensit umgewandelt und erhöht damit im Umformprozess die Festigkeit des Bauteils.

Charakteristika beider Werkstoffe enthält Bild 9.79 im Vergleich der Fließkurven und Grenzformänderungskurven, ergänzt durch die Arbeitsdiagramme für ein Rechteckziehteil. Die Anstiege der Fließkurven verweisen mit einem Verfestigungsexponenten $n \approx 0,24$ auf gute Streckziehbarkeit. Der mit der Tiefziehbarkeit korrelierende Anisotropiekoeffizient fällt beim Restaustenitstahl mit $r_m \approx 0,82$ weit ungünstiger als beim DC 05 mit $r_m \approx 2,4$ aus, was sich auch im Vergleich der Grenzformänderungskurven und der Arbeitsdiagramme für das Modellteil 200×300 mm widerspiegelt.

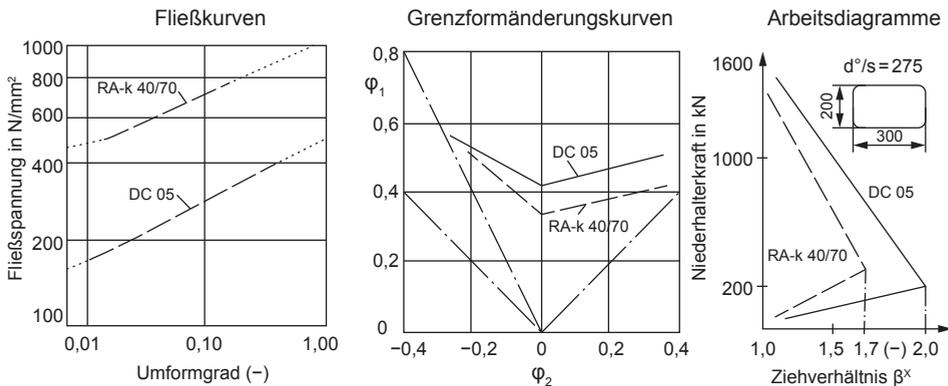
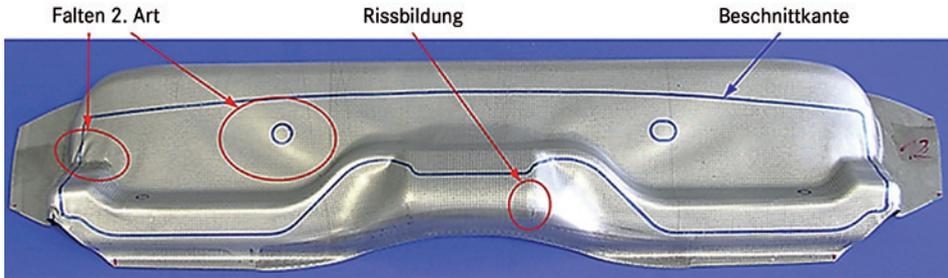
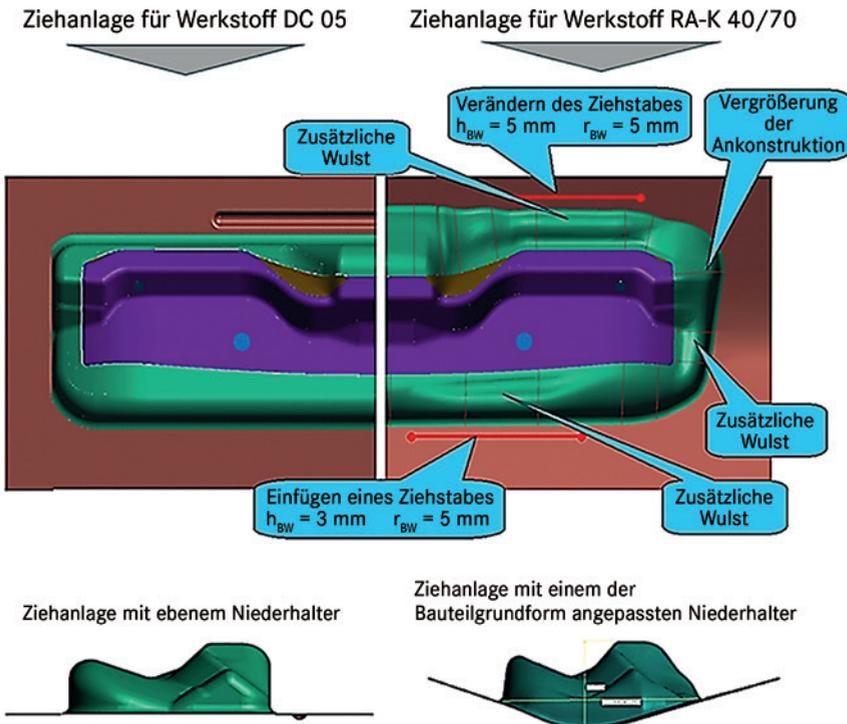


Bild 9.79 Charakteristik der Umformung des Werkstoffs RA-K 40/70 gegenüber weichem Stahl DC 05

Ein mängelfreies Bauteil aus DC 05 zeigt Bild 9.80. Die Arbeitsfolge in fünf Fertigungsstufen enthält Bild 9.5. Das für den Werkstoff DC 05 konzipierte und verfügbare Tiefziehwerkzeug der ersten Arbeitsfolgestufe wurde für vergleichende Experimente zur „Machbarkeit“ des Blechwerkstoffs RA-K 40/70 genutzt. Das Umformergebnis ist dem Werkstoff DC 05 im Bild 9.80 gegenübergestellt. Das Werkstück weist sowohl Falten zweiter Art als auch Risse auf, die mit einfachen Korrekturen des Ziehwerkzeugs nicht zu beheben sind. Für den Werkstoff RA-K 40/70 ist eine völlig neue Ziehyanlage zu gestalten.

Heckteil „oben“ aus DC 05, $s = 0,8$ mm, als FertigteilHeckteil „oben“ aus RA-k 40/70 (TRIP-Stahl 700), $s = 0,8$ mm, erste Umformstufe (auf dem für DC 05 konzipierten Werkzeug gezogen)**Bild 9.80** Das mängelfreie Bauteil Heckteil „oben“ aus DC 05 im Vergleich mit der ersten Umformstufe des Werkstücks aus RA-K 40/70 auf gleichem Ziehwerkzeug umgeformt**Bild 9.81** Halbseitige Gegenüberstellung der Ziehanlagen für die Werkstoffe DC 05 und RA-K 40/70 (AutoForm)

Die Ziehanlage für den Werkstoff DC 05 und die neu entwickelte Ziehanlage für den Werkstoff RA-K 40/70 werden zum Vergleich in halbseitiger Darstellung gegenübergestellt. Wie Bild 9.81 zeigt, ist eine Reihe von Veränderungen notwendig, um Falten- und Rissbildungen zu vermeiden. Dabei konnten sich die Geometrieänderungen allein auf den Niederhalter und die Ankonstruktion beschränken. Zusammenfassend wurden für die Ziehanlagenoptimierung folgende Korrekturen vorgenommen, um einen, dem Formprofil des Werkstücks angepassten Radialspannungseintrag zu ermöglichen:

- Krümmung der Form des Niederhalters in z-Richtung des Fahrzeugs zum Reduzieren der Ziehteilhöhe
- Vergrößern der Eckenradien im Bereich der Ankonstruktion
- Verändern der Ziehstablängen sowie deren Lagen
- örtliches Einbringen von Wülsten in die Ankonstruktion zum Verbessern der Blechdickenverteilung und Verhindern von Oberflächenunruhen am Bauteil
- umlaufendes Vergrößern der Zuschnittform, wobei die Ziehstäbe bis zum Ende der Umformung im Eingriff stehen

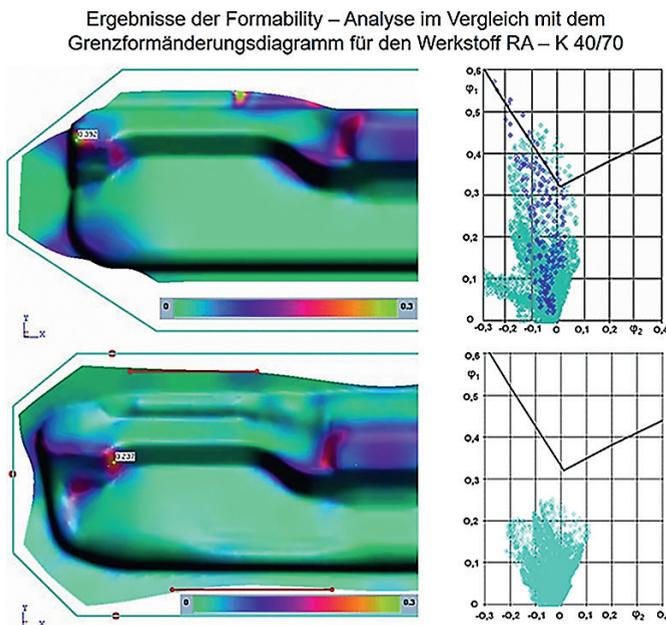


Bild 9.82 Vergleich der Ergebnisse der Formability-Untersuchungen (AutoForm) und deren Ergebnisse mit dem Grenzformänderungsdiagramm

Nach den Optimierungsuntersuchungen der Ziehanlage für eine qualitätsgerechte Fertigung mit dem Blechwerkstoff RA-K 40/70 wurden die Formability-Ergebnisse mit dem Grenzformänderungsdiagramm verglichen (Bild 9.82). Die Ergebnisse vor

der Ziehanlagenkorrektur weisen ein eindeutiges Versagen aus. Nach den Optimierungsuntersuchungen zeigt das Formability-Ergebnis eine maximale Blechdickenreduktion von 23% an. Der Vergleich mit der Grenzformänderungskurve weist ein weitgehend sicheres Umformen aus.

Optimierungsuntersuchungen mittels Formänderungsanalyse

In der Praxis der Blechbearbeitung ist es z. B. bei kritischen Erprobungsergebnissen erforderlich, dass die Optimierung der Ziehanlagen auf experimentelle Untersuchungen erweitert werden muss, wie das bereits am Beispiel des Einsatzes einer Aluminiumlegierung für eine Seitenwand sichtbar wurde. Es handelt sich hierbei um den Vergleich der Formänderungsverteilung am Werkstück mit dem Grenzformänderungsdiagramm und dem Einschätzen der jeweils vorliegenden Umformbarkeit. Ursachen dieser Optimierungsuntersuchungen können sein:

- die Bestätigung der Ergebnisse der FE-Analyse sehr komplexer Bauteile
- die Fehlersuche bei unerwartet auftretenden Fertigungsproblemen
- die Ermittlung des Werkzeugverschleißzustandes
- das Prüfen des Einsatzes eines neuen Blechwerkstoffs, z. B. aus Gründen des Leichtbaus, der Funktion, der Kosten oder der Fertigungssicherheit



ERICHSEN – Prüfgerät mit VIALUX – Messkopf und Rechentechnik zur Aufnahme von Grenzformänderungsdiagrammen



Mobile Anordnung zur Aufnahme der Formänderungsverteilung am Bauteil

Bild 9.83 Gerätetechnik zur Durchführung der Formänderungsanalyse

Bild 9.83 zeigt die erforderliche Gerätetechnik. Mit dem ERICHSEN-Prüfgerät wird die Grenzformänderungskurve meist mit Hilfe des Einbeulversuchs im Moment des entstehenden Werkstoffbruches an der mit Messrastern versehenen Probe ermittelt. Auch das zu prüfende Werkstück wird an den jeweils kritischen Stellen mit meist elektrochemisch vor der Umformung aufgetragenen Messrastern versehen

und die Formänderungsverteilung nach der Umformung ermittelt. Die Aufnahme der Formänderungszustände wird heute meist mit einem optoelektronischen Messsystem vorgenommen. In Bild 9.83 ist neben dem ERICHSEN-Prüfgerät die mobile Prüfanzordnung mit einem Messkopf der VIALUX Messtechnik und Bildverarbeitung GmbH Chemnitz zu erkennen. Die drei folgenden Beispiele sollen Methode und Ergebnisse der Anwendung dieses experimentellen Optimierungsverfahrens vertiefen.

Bild 9.84 verdeutlicht die Formänderungsanalyse an der linken Hälfte eines Frontschildes für ein Zweiradfahrzeug nach der ersten Arbeitsstufe. Während bei der rechten Hälfte des Frontschildes kaum Werkstoffversagen zu verzeichnen ist, sind bei der linken Hälfte an den gekennzeichneten Stellen A-A und B-B Häufungen von Rissen oder Einschnürungen erkennbar, wie auch der Vergleich der Formänderungsverteilung am Werkstück mit der Grenzformänderungskurve (GFK) verdeutlicht. Die Ursache des Qualitätsproblems ist zunächst nicht leicht erkennbar. Erst Experimente mit der Ziehtiefe in Abhängigkeit von der Formänderungsverteilung an den kritischen Stellen erbringen den Hinweis. Die Ziehtiefe des Werkzeugs für das linke Werkstück ist größer angelegt als die Ziehtiefe des rechten Werkstücks. Die Korrektur der Distanz von Ober- und Unterteil des Werkzeugs erbringt die erforderliche Fertigungssicherheit.

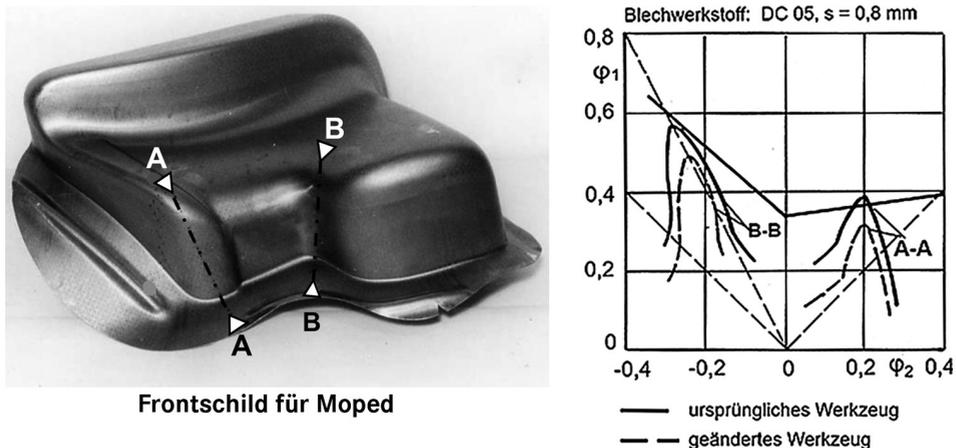


Bild 9.84 Formänderungsanalyse an der Hälfte eines Frontschildes für ein Zweiradfahrzeug

Die Tankhälfte für ein Zweiradfahrzeug nach Bild 9.85 gilt aufgrund der gekrümmten Form der Zarge mit großer Weite des Ziehspalts als ein „schwieriges“ Bauteil. Fehlende Werkstoffunterstützung im Spalt kann Falten zweiter Art hervorrufen.

Vergrößerte Zugspannungen in der Zarge durch erhöhte Niederhalterkraft reduzieren nach der Gestaltänderungshypothese die tangentialen Druckspannungen als Ursache der Faltenbildung. Erhöhte Zugspannungen vergrößern jedoch das Risiko der Rissbildung.

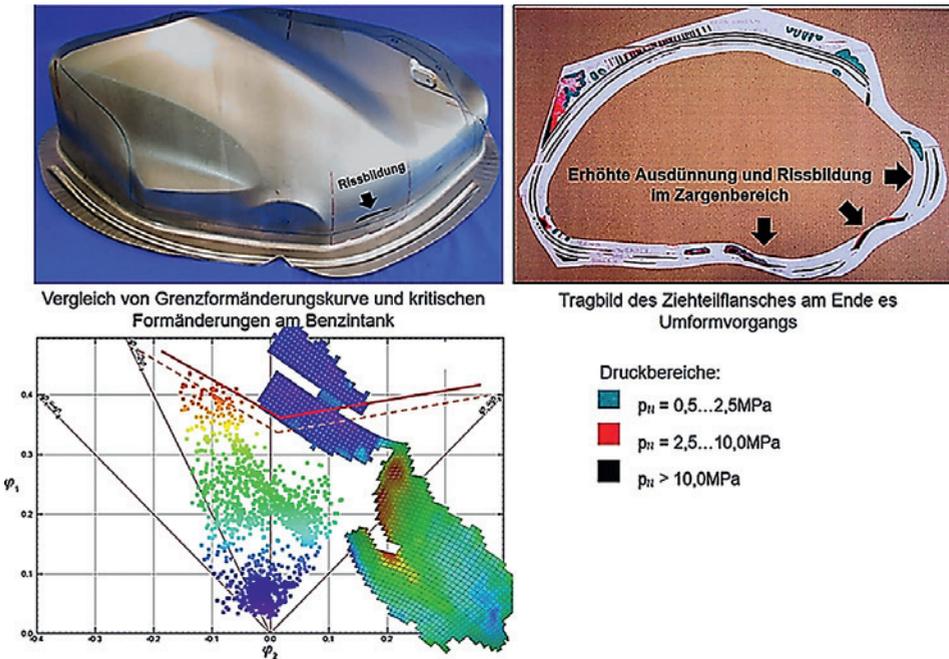


Bild 9.85 Formänderungsanalyse an einer Tankhälfte aus DC 06, $s = 0,9 \text{ mm}$, Quelle: WHZ-Untersuchungen, unveröffentlicht

Die Optimierungslösung fordert einen Werkstückwerkstoff mit bester Tiefzieheignung. Der Blechwerkstoff DC 06 ($s_0 = 0,9 \text{ mm}$) erfüllt im Allgemeinen diese Eignung. Praxistests ergaben zeitweise zu hohe Versagensraten durch Risse bei variierenden Werkstoffchargen von teilweise unterschiedlichen Anbietern.

Untersuchungen ergaben:

- eine Abhängigkeit von der Druckverteilung zwischen Niederhalter und Matrize
- die Korrelation zwischen dem mittleren Anisotropie-Koeffizienten r_m und der Umformsicherheit der Grenzformänderungskurve

Bild 9.85 zeigt die Tankhälfte mit den Qualitätsmängeln Rissbildung oder Einschnürung und deren Vergleich mit der Grenzformänderungskurve.

Das Tragbild mit den Druckspitzen am Ziehteilflansch wurde unter Realbedingungen zwischen Niederhalter und Matrize mit einer Druckmessfolie des Unternehmens FUJIFILM PRESCALE für das Ende des Ziehvorgangs ermittelt /9.10/. Die Druckspitzen an den Stellen des Flansches erzeugen hohe Radialspannungen und Qualitätsprobleme im Zargenbereich unterhalb der Maximalspannungen im Flansch. Eine Korrektur des Werkzeugflansches sorgte für eine gleichmäßigere Spannungsverteilung in der Zarge. Die Vorgabe des Anisotropie-Koeffizienten auf

Werte von $r_m \geq 1,9$ verbesserte die Umformbedingungen. Das spätere Berücksichtigen beider Ergebnisse erbrachten stabile, mängelfreie Fertigungsbedingungen.

Bild 9.86 enthält die Zwischenform eines Querträgers aus höherfestem Blechwerkstoff QStE 420 mit der Blechdicke $s_0 = 1,5$ mm. In Arbeitsfolgestufe AFO 90 wird ein Abwinkeln des horizontalen Werkstückbereichs vorgenommen. Dabei erhält der vertikale Bereich, besonders der über der Biegestelle liegende Radius $R = 12$ mm, eine Zugbeanspruchung am Radiusumfang, die zur Formänderungskonzentration und zur Rissbildung an der Radiuskontur führt (Bild 9.86). Die Ursache der Rissbildung ist abhängig von der Qualität der Schnittfläche, die wiederum vom Verschleißzustand des Schneidwerkzeugs beeinflusst wird. Zur Beseitigung des Konstruktionsmangels wurde ein Vergrößern des Radius von $R = 12$ auf 75 mm vorgeschlagen, um die Verteilung der Formänderung auf einen größeren Dehnungsbereich am Umfang des Radius zu ermöglichen. Das Ergebnis ist mit größerem Abstand zur Grenzformänderungskurve als verbesserte Umformsicherheit erkennbar.

Einzelheit Z Rissbildung

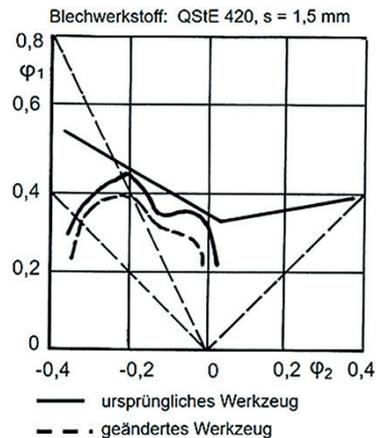
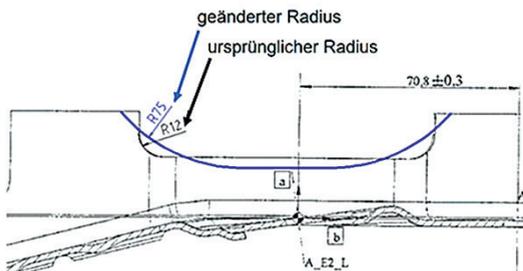


Bild 9.86 Formänderungsanalyse an einem Querträger zum Beheben eines Fehlers der Bauteilkonstruktion

9.2.6 Spezielle Anforderungen an die Arbeitsfolgegestaltung

9.2.6.1 Übersicht, Problemstellung

Es wurde bereits mehrfach daraufhin gewiesen, dass für die optimiert entwickelte Wannen- oder Schalenform der Ziehanlage, der Wirkflächenkonzeption für den ersten dominierenden Umformprozess der Prozessfolge, grundsätzliche Überlegungen zu den nachfolgenden Schneid- und Umformoperationen erforderlich sind. Geometrische Formelemente des Bauteils, z.B. Löcher, Durchbrüche, notwendige Ergänzungsflächen usw., werden bei der Entwicklung der Ziehanlage geschlossen, Hinterschneidungen abgewickelt und Ankonstruktionsflächen in Form eines Flansches (Bild 9.87 rechts, untere Flanschebene mit den beiden Sicken) für das Tiefziehen ergänzt. In den Arbeitsfolgestufen sind diese Formelemente mittels Schneid- und Umformverfahren wieder zu ergänzen oder zu beseitigen, bis das angestrebte Bauteil qualitätsgerecht erreicht ist.

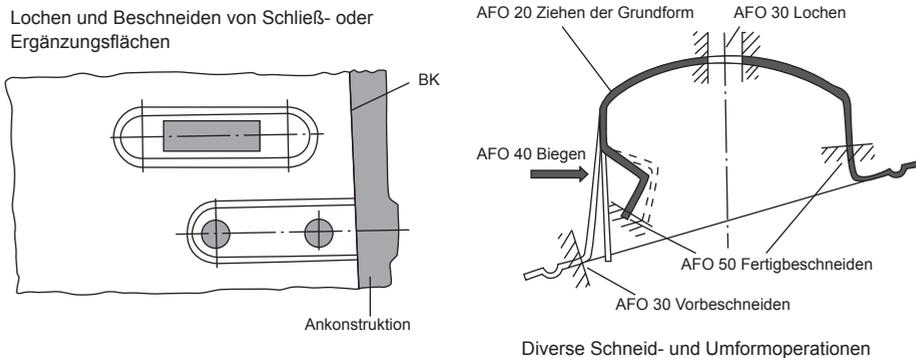


Bild 9.87 Lochen von Schließöffnungen, Beschneiden einer Ankonstruktionsfläche (links) – Vorbescheiden, Lochen, Biegen und Fertigbescheiden der mittels Tiefziehen umgeformten Grundform (rechts)

- Bei den Beschnittoperationen kommen nahezu alle Verfahren des Scherschneidens, wie Lochen, Beschneiden, Ausklinken und Abschneiden in Betracht.
- Bei den Nachformoperationen sind es vorwiegend das Biegen, Nachformen von Radien, das Aufweiten von Fließöffnungen und das Maßkalibrieren spezieller Bereiche, mit erhöhten Toleranzanforderungen.

Die Anzahl und Folge der Schneid- und Umformoperationen ist abhängig von der Komplexität der Bauteilform, den Qualitätsanforderungen an das Bauteil, der Anzahl der verfügbaren Arbeitsplätze des Maschinensystems mit der Ausstattung an Sondereinrichtungen, je nach vorhandener Werkstücktransporteinrichtung, den Bedingungen der Abfallabführung und den verfügbaren Maschinenfunktionen, z.B. das Gegenhalten oder Abstreifens. Demgemäß ist ein spezielles Ordnungs-

schema des Arbeitsfolgeablaufs nicht gegeben und nur in groben Zügen darstellbar (Bild 9.88).



Bild 9.88 Flexible Arbeitsfolge

Je nach vorliegenden Umformbedingungen wird ein einfacher, ökonomisch vorteilhaft mit Maschinenschere geschnittener Zuschnitt (z.B. Rechteck-, Parallelogrammtrapezzuschnitt) oder ein mit Werkzeug geschnittener Zuschnitt dem Maschinensystem zugeführt. Das anschließende Ziehen der Grundform wird für Außenteile generell in einem Zug durchgeführt. Für Innenteile kann ein Vor- und Nachziehen günstiger sein (Bild 9.51 und Bild 9.53).

Die weiteren Schneid- und Umformoperationen sind je nach technisch-ökonomischen Anforderungen zweckgebunden zu handhaben. Bei Doppel- oder Mehrfachanlage der Bauteile folgen am Ende des Durchlaufs Trennschnitte, sind anschließende Fügeoperationen z.B. durch Falzen vorgesehen, bilden vorbereitende Falzoperationen den Abschluss.

Neben den Festlegungen zur Entwicklung der Schneid- und Umformoperationen gehören zu den Aufgaben des Methodenplaners:

- Betrachtungen zum Vergleich des energetischen Angebots des Maschinensystems der Fertigungsstufen und des Gesamtsystems mit dem verfahrensabhängigen energetischen Bedarf der Prozessfolge
- Betrachtungen zur Abfallabführung aus dem Werkzeugraum der Maschine

- Prüfung des Werkstückdurchlaufs mit vorerst abgeschätzten Werkzeugkonturen
- prinzipielle Anforderungen an die Werkzeugkonstruktion, resultierend aus Fahrzeugsegment, Mengenleistung, Karosserieteilwerkstoff und den Anforderungen an die Werkstückqualität

9.2.6.2 Schneid- und Nachformoperationen

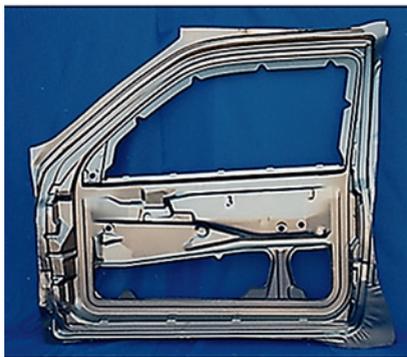
Bild 9.89 enthält die Arbeitsfolge AFO 10 bis AFO 40 eines Türinnenbleches. Bereits während des Tiefziehens wird bei AFO 10 ein Fließbeinschnitt im unteren Fensterbereich eingebracht, um eine zu große Ausdünnung für das spätere Falzen an der Fensterbank zu vermeiden.



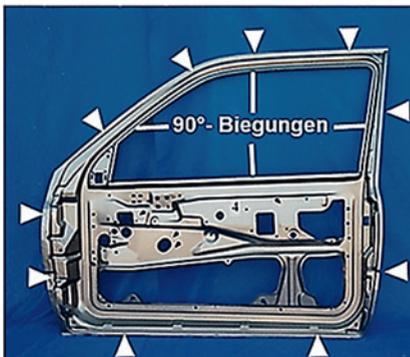
AFO 10
Ziehen der Grundform (1. Zug),
Schneiden der Fließbeinschnitte
während des Ziehprozesses



AFO 20
Nachziehen der Grundform (2. Zug),
Nachformen der Radien im oberen
Türenbereich



AFO 30
Ausschneiden des Fensterausschnittes
sowie diverser Durchbrüche im Spiegel-
und Unterbereich



AFO 40
Komplettschnitt des Außenflansches
an markierten Stellen, 90°-Biegungen
im Fensterbereich

Bild 9.89 Schneid- und Umformoperationen am Türinnenblech AFO 10 bis 40

Im unteren Bereich des Türinnenbleches von AFO 20 wird die Zarge nachgezogen, die Notwendigkeit dieser Vorgehensweise wurde in Abschnitt 9.2.5 begründet. Im oberen Fensterbereich wird ein Nachformen der vorher beim Tiefziehen umgeformten Radiusgeometrie von $r_A = 4,0$ mm auf einen kleineren Endradius $r_E = 1,0$ mm erforderlich, da dieser kleine Radius mit dem vorherigen Verfahren Tiefziehen nicht realisiert werden kann.

Das mit Einkerbungen versehene Ausschneiden des Fensterausschnitts in AFO 30 bereitet eine segmentierte L -Biegung im Fensterbereich vor. Dazu kommen Ausschnitte im Spiegel- und im Unterbereich des Türinnenbleches.

In AFO 40 erfolgt ein Komplettschnitt des Außenflansches an den markierten Stellen. Ebenso erfolgt im Fensterbereich eine 90° -Biegung als Vorbereitung für das Falzen. Diverse Öffnungen im unteren Bereich der Tür werden ausgeschnitten.

Bild 9.90 zeigt die Weiterführung dieses Falzprozesses auf 135° mittels Keilschieber (AFO 50) und schließlich eine Bördelung auf 180° in der Arbeitsfolge 60.

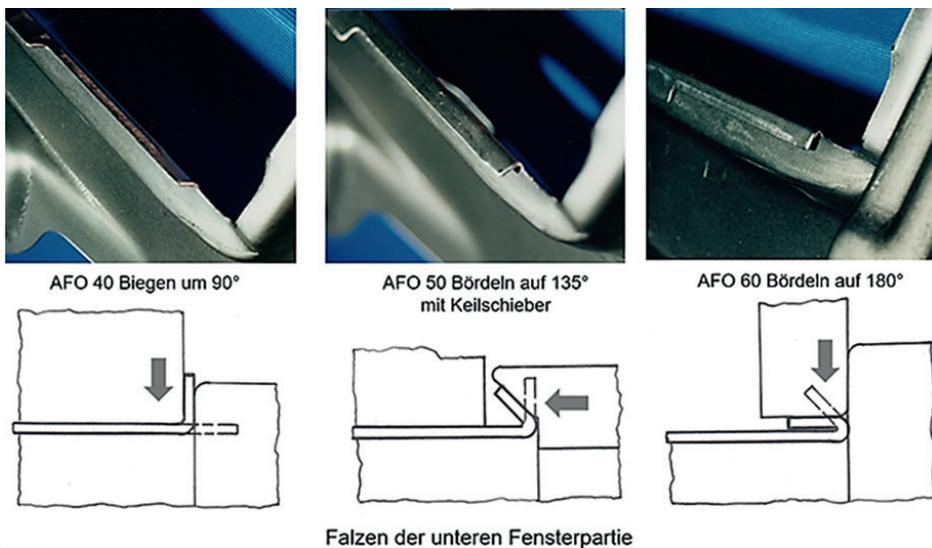


Bild 9.90 Falzen (Bördeln) des unteren Fensterrandes am Türinnenblech

Häufig wird es heute als hinreichend erachtet, das Werkstück bei den weiteren Arbeitsfolgestufen an der durch das Tiefziehen gefertigten Zargenkontur zu positionieren. Im vorliegenden Beispiel wurden in den Arbeitsfolgestufen 10 bis 30 zwei Kragen zur Positionierung des Werkstücks bis zur Arbeitsfolgestufe 60 geformt, die das Werkstück mittels kegelförmiger Fangstifte positionieren. In AFO 10 werden an den gekennzeichneten Markierungen Vertiefungen geprägt, die eine Verfestigung des Blechwerkstoffs verursachen. Nach dem Schneiden der Kreuzschlitze

in AFO 20 folgt das Weiten der möglichst weit auseinanderliegenden Kragen zur Positionierung des Werkstücks in den Folgestufen (Bild 9.91). Das Positionieren wird mit Fangstiften vorgenommen, die zum „Fangen“ des Werkstücks zunächst eine Kegelform besitzen und dann zum „Arretieren“ eine Zylinderform aufweisen.

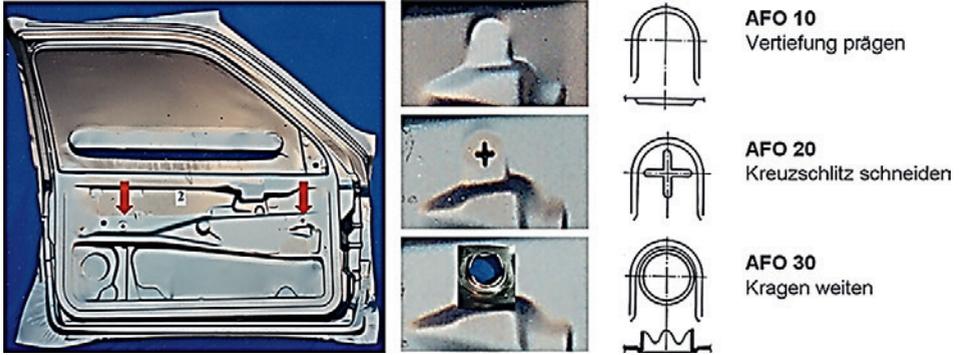


Bild 9.91 Formen von Kragen zur Positionierung des Werkstücks in den Folgestufen

Für trennmesserloses Beschneiden im Außenflanschbereich sorgen Ausklinkungen mit möglichen Flanschbreiten im Bereich 125 bis 250 mm. Sie tangieren die Beschnittkante mit der Toleranz $0,5 - 0,3 + 0,7$ mm. Für Flanschbreiten im Bereich 12 bis 30 mm dienen Ausklinkungen mit dem Öffnungswinkel 60° . Sie können als trennmesserloser Beschnitt oder als vorbereitendes Ausklinken für nachfolgendes Biegen eingesetzt werden (Bild 9.92).

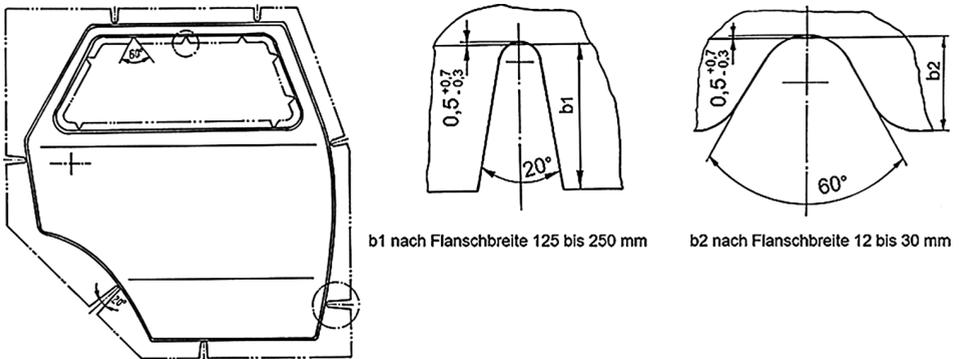


Bild 9.92 Türaußenblech mit Ausklinkungen für trennmesserlose Beschnitte

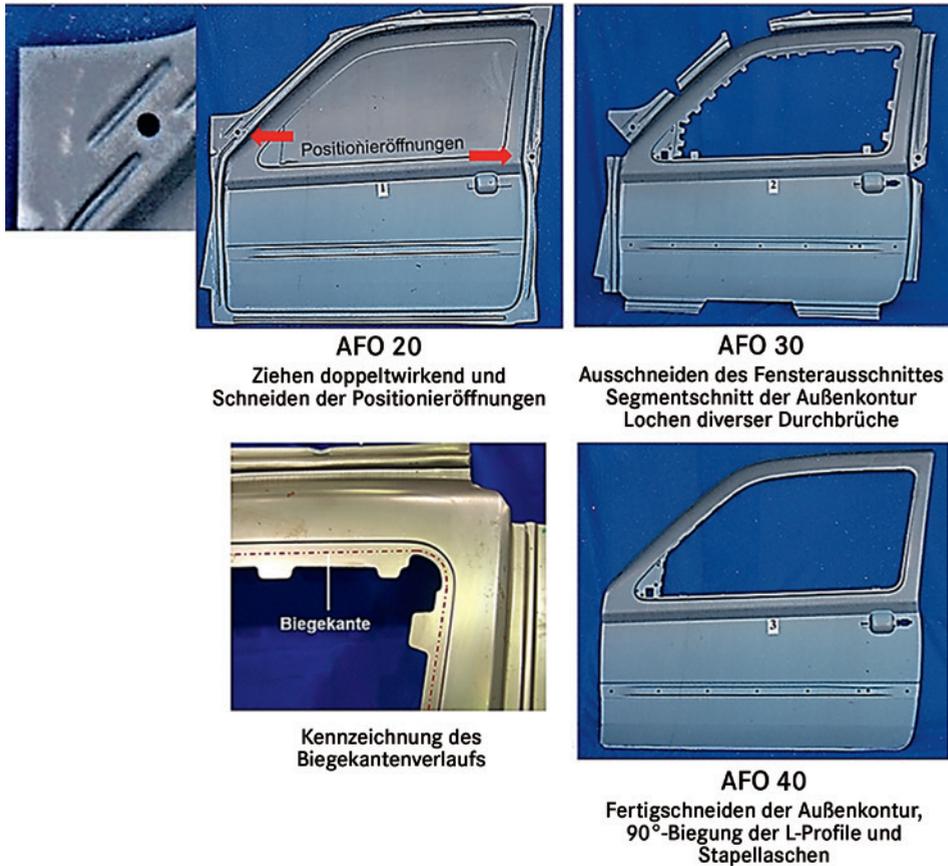


Bild 9.93 Ziehen eines Türaußenbleches mit dem Schneiden von Positionieröffnungen (AFO 20), segmentiertes Schneiden der Außenkontur und Komplettschnitt des Fensterausschnitts (AFO 30), Fertigschnitt des Außenflansches und 90°-Biegungen im Fensterbereich (AFO 40)

Bild 9.93 zeigt das Fertigen eines Türaußenbleches in den Arbeitsfolgeoperationen 20 bis 40. Mit dem doppelwirkenden Ziehprozess (AFO 20) werden im Flanschbereich zwei Positionieröffnungen mit der Unterbrechung und dem stückweisen Versatz der Bremswulst geschnitten. Sie garantieren die Positionierung des sehr flach gestalteten Türaußenbleches für den Segmentbeschnitt des Außenflansches und das Ausschneiden des Fensterausschnitts (AFO 30) bis zum Fertigschneiden der Außenkontur, das 90°-Biegen der Stapellaschen sowie zur Vorbereitung der L-Profile (AFO 40), die in AFO 50 mit Keilschieber weitergebogen und in AFO 60 fertiggeformt werden (Bild 9.94).

Index

A

Abdrückeinheit 420
Abdrückstift 420
Abfallabführung 418, 471
Abfallbehälter 419
Abfallrutschen 419
Abrasion 60
Abreißkraft 143
Abstreckgleitziehen 186
Adhäsion 60
alterungsfreier Zustand 79
Aluminiumlegierungen 89
analoger Stempeldurchmesser 152
Angebotsmethode 334
Anisotropie 35
Ankonstruktion 356
Anschlagzug 144
Arbeitsbedarf 422
Arbeitsdiagramm 157f.
Arbeitsfolgegestaltung 404
Arbeitsfolgestufen 404
Arbeitspunkt 316
Arbeitsrichtung 352
Arbeitsschieber 415, 448
Arbeitsweisen 300, 321
Aufprallkraft 67
Aufschlagkante 245
Aufschweißung 246
Aufweitfaktor 193
Aufweitprüfverfahren 42
Aufweitverhältnis 189
Auslinkungen 408
Ausscheidungshärtung 71
Ausschneiden 409
Außermittigkeit 354
Austenitisierung 220

B

Bake-Hardening-Effekt 81
Bake-Hardening-Index 82
Bandwascheinrichtung 283
Bandzuführgerät 285
Bauteilnullpunkt 349
Beanspruchungsbedingungen 103, 141
Bearbeitungszentren 472
Behandlungszustand 77
Beizen 73
Belegungsplan 302
Beschneiden 216, 221
Beschneidewerkzeug 447
Beschnittbank 410
Beschnittkante 245, 327
Bewegungskurven 417
Biegebeanspruchungen 109
Biegebogen 108
Bismut-Zinn-Legierung 463
Blechdickentoleranzen 79
Blechüberzüge 80
Blechwerkstoffe 65
Blechzuschnitt 137

C

Complexphasenstahl 82
COULOMB- Gesetz 122
Crashbereiche 67
Crashsicherheit 66
Crossbar- Feeder 292f.
CVD-Verfahren 454

D

Dehnungsverteilung 134
 Doppelanlage 327
 doppeltwirkende Pressen 280
 Drehfüllschieber 416
 Dressieren 73
 Druckpunkte 282
 Druckstellen 245
 Dualphasenstahl 82
 Durchlaufplanung 312
 Durchlaufuntersuchungen 312, 417

E

ebene Anisotropie 35
 einfachwirkende Pressen 280
 Einlaufbedingungen 145
 Einschnürung 247
 Einteilung des Krageziehens 185
 Einweiser 445
 Einzelteilmontage 308
 Elementarzellen 21
 Entlastungsschnitte 190
 Entlüftungslöcher 445
 Ergänzungsflächen 404
 Erichsen-Tiefungsversuch 39
 Erstzug 144
 explizite Zeitintegrationsverfahren 228

F

Fahrgastzelle 67
 Falten 248
 Faltenhöhe 151
 Falten zweiter Art 156
 Falzen 202
 Falzprozess 204
 Falzzugabe 204
 Feedersystem 287
 Fehlergeometrie 304
 Feinbearbeitung 473
 Feldeinzüge 190, 195
 FEM- Simulation 225
 Fertigungseinrichtung 300
 Fertigungskomponenten 299
 Fertigungsmanagement 338
 Fertigungsplanung 242, 299
 Fertigungsreserve 303

Fertigungsrichtung 315
 Finite Elemente 226
 Finite-Elemente-Methode 225
 Flacherzeugnisse 74
 Flachfalz 203
 Flachstahlerzeugnisse 75
 Flachzugstab 24
 Flammhärten 454
 Flanschweiten 187
 Flexibilisierung 273
 Fließbedingung 31, 37
 Fließfiguren 247
 Fließfigurenbildung 91
 Fließgesetz 33, 188
 Fließgrenze 26
 Fließhypothese 37
 Fließkriterium 141
 Fließkurve 26 f., 29 f., 87
 Fließkurvenfaktor 28
 Fließöffnung 186, 189 f.
 Fließortkurve 37 f.
 Fließschnitte 190
 Fließspannung 25
 Flitter 214
 Flitterbildung 215
 Folgefertigung 440
 Folgeschneidprozess 440
 Folgeverbundfertigung 307
 Folgeverbundprozess 440
 Folgeverbundwerkzeug 286
 Folgeziehstufen 145
 Formänderungskonzentration 28
 Formenvielfalt 43
 Formfelder 173
 Formfeldtiefe 173
 Formzuschnitte 166
 freies Biegen 110
 Freigängigkeit 314
 Füllschieber 415, 448

G

Galvanoplastik 466
 Gegenhalterkraft 119, 190
 Gegenhalter 120, 189
 Gesamtziehverhältnis 146
 Geschwindigkeitsexponent 28
 Gesenkbiegen 117
 Gesenkdrücken 117

Gestaltänderungs-Energiehypothese 32
Gießharzwerkzeug 465
Gießmodelle 472
Gießwalzanlage 73
Gitterstruktur 21
Glattschnitthöhe 210
Gleichmaßdehnung 26 f., 35
Gleitsysteme 21
Gleitvorgang 22
Gratbildung 215
Greiferschienen 285, 290
Grenzformänderungsanalyse 46
Grenzformänderungsdiagramm 44
Grenzformänderungskurve 43, 87
Grenzzradius 135
Grenzzumformgrad 39
Grenzziehverhältnis 143
größere Ziehspalte 156
Großteiltransferpressen 287
Grundbearbeitung 473
Grundtechnologie 300, 304, 321

H

Halbrundsicken 173
Hartverchromen 454
Hauptgeometrie 304
Hauptumformgrade 33
Hinterschneidungen 354
Hohlprägen 168
Hutprofile 120

I

implizite Zeitintegration 228
Induktionshärten 454
inkrementelle Verschiebung 226
Instabilitätsbedingungen 137
isotrope Stähle 81

K

Kaltbandeigenschaften 73
Kaltverfestigung 26
Kaltwalzen 73
Kaltwalzgrad 70
Kanteneinzug 210
Kapazitätsplanung 302
Karosseriemasse 65

Karosseriewerkzeuge 321
Keilschieber 448
Keilziehversuch 52
Kleinserienfertigung 468
Kniehebelgetriebe 276
Kollision 417
kombinierte Prüfverfahren 41
Konstruktionsentwurf 338
Kontaktnormalspannung 51
Konzeptmethode 334
Konzeptneubau 65
Koordinatentransformation 349
Kornfeinung 70
Korngröße 70
Kostenvergleich 317
Kraftbedarf, Arbeitsbedarf 421
kraftgebundener Pressenantrieb 276
Kragenziehen 184
Kristallgitter 21
Kurbeltrieb 276 f.
Kurzzeitprozessfähigkeit 266

L

Lagerungszeit 79
Langschienentransfer 288
Laserhärten 454
Leichtbau 65, 216
Leichtbaukonzept 66
Leichtbaukonzepte 65
Leichtmetalle 89
Lenkhebelantrieb 422
Lenkhebelgetriebe 276 f.
Lochaufweiten 185
Losgröße 303

M

Magnesium 93
Magnesiumlegierungen 89, 93
Mangan-Bor-Stähle 86
Marktanforderungen 237
Martensitstahl 82
Matrizenradius 138, 359
maximale Schneidkraft 211
Mehrfachbiegen 109
Mehrfachwerkzeuge 300
Mehrphasengefüge 71
Mehrphasenstähle 71

Meisterbock 257
 Membranelemente 229
 Mengenleistung 218
 Methode der Serienentwicklung 334
 Methodenplan 328
 Mikrostruktur 73
 minimale Niederhalterkraft 125
 Mischbauweise 66
 Mischkristallverfestigung 70
 Mittenrauwerte 79
 mittlerer Niederhalterdruck 151f.
 Modularisierung 273

N

Nachformen 216, 412, 447
 Nachformen von Radien 197
 Nachformkraft 200
 Nachformprozess 414
 Nachformvorgang 198
 Nachlaufbereich 327
 Nachlaufkante 245
 Näpfchen-Tiefziehprüfung 40
 Niederhalter 138
 Niederhalterfläche 356
 Niederhalterkraft 150, 279 ff., 286
 Niederhalterrückhaltekraft 152

O

Oberflächenart 78
 Oberflächenausführung 78
 Oberflächenhärteverfahren 453
 Optimierungsprozess 384
 Orangenhaut 247

P

Parallelentwicklung 258f.
 Plasmanitrieren 454
 Positionierung 407
 Postprozessor 232
 Preprozessor 230
 Pressenlinie 272f., 287ff., 292
 Presshärten 86, 216
 Problemzonen 165
 Produktentwicklungsprozess 238
 Produktionskonzept 299
 Produktreifegrad 241

Prototyp 468
 Prozessablauf 217
 Prozessfähigkeit 265f.
 Prozessfenster 157
 Prozessketten 238
 Prozesspotenzial 265f.
 Prüfmethode 39

Q

Qualität 239
 Qualitätsanforderungen 242
 Qualitätskosten 241
 Qualitätsmängel 243ff.
 Qualitätsstähle 78
 Qualitätsstrategie 239
 Qualitätsvorgaben 339
 Quasiabwickelbarkeit 358
 Querhauptgeschwindigkeit 24
 querkraftfreies Biegen 108

R

Rechteckziehleiste 359
 Referenzpunktsystem 252
 Reibgesetz 51
 Reibschubspannung 51
 Reibung 48
 Reibungszahl 49
 Reifegradverbesserung 241
 Rekristallisationsglühen 73
 Restaustenitstahl 82
 Richtmaschine 283
 Richtprozess 117
 Riefenbildung 246
 Rissbildung 247
 Roboter 287
 robuste Fertigung 226
 Robustheit 263, 267
 Rückbiegemarkierungen 248
 Rückfederung 134, 249, 431
 Rückfederungsfaktor 115
 Rückfederungskompensation 249, 431
 Rückfederungsverhalten 115

S

Saugerbalken 288
 Saugertransfer 313

Schalenelemente 229f.
Scherschneiden 207
Schienentransfer 287
Schliffstiefen 213
Schneidarbeit 213
Schneiden 207
Schneidpresse 283f.
Schneidprozess 209
Schneidspalt 209f.
Schneid- und Umformoperationen 404
Schneidverfahren 207
Schneidwiderstand 211
Schnittgrat 211
Schnittqualität 214
Schnittschlag 212
Schnittzone 210
Schopfschere 283
Schubspannungshypothese 31
Schwindmaße 472
Seilreibung 121
senkrechte Anisotropie 35
Servoantriebe 278
Sicherheitsfaktor 165
Sicherheitsfalz 203
Sicherheitsgrenze 165
Sickenquerschnitte 170
Solver 232
Spannschieber 448
Spannungsdeviationen 33
spannungsfreie Schicht 137
Spannungsverhältnis a_U 125
Spannungszustand 38, 106
Stahlbleche 73
Stahlkurzbezeichnungen 76
Standardabweichung 265
Stapelanlage 284
Stempelkantenradius 139
Stempelumriss 356
Stranggießen 73
Streckgrenze 30
Streckgrenzenverhältnis 30
Streckziehbeanspruchung 28
Streckziehen 168, 174
Streifenprojektionsbild 242
Streifenziehversuch 52
Stückgutfertigung 307, 439f.
Stufenfolge 145
Stufenpresse 285f.
Stufenpressen 283, 285

Stufenversetzung 22
Sulvamatnickel 465

T

Tailored Blanks 97
technologischen Prüfverfahren 39
Teilespektrum 301
Tiefen 168
Tiefziehbeanspruchung 150
Tiefziehen 137
Tiefziehspannungen 327
Titan 96
Titanlegierungen 89, 96
Toleranzgestaltung 251
Toleranzkonzept 251
Toleranzmanagement 251
Transferpressen 273, 289, 292
Transfersystem 313f.
Transferttechnik 273
Transferwerkzeug 286
Trapezsicken 173
Tribosystem 59
Tropfenform 203
Tryout-Pressen 273
Tuschieren 360
Typenvertreter 317

U

U-Biegen 117
Umformergebnis 241, 244, 267f.
Umformfestigkeit 25
Umformgeschwindigkeit 24
Umformgrad 23, 25
Umformgrenze 39
Umformvermögen 38
Umformwerkzeuge, Schneidwerkzeuge 321

V

Variantenvielfalt 273
V-Biegen 117, 119
Verfahrensvarianten 106
Verfestigungsexponent 28
Verfestigungsmechanismen 70
Vergleichsspannung 25, 31
Vergleichsumformgrad 38
Verschleiß 48

Verschleißarten 214
Verschleißhöhen 212
Verschleißverhalten 59
Versetzen 22
Versetzungsblokaden 71
virtuelle Kollisionsuntersuchung 316
virtuellen Abbildung 226
Volumenelemente 229
Volumenkonstanz 23, 27

W

Walzenvorschubeinheit 284
Walztexturen 35
Warmbandtemperaturführung 70
Warmumformung 216
Warmwalzen 73
Warngrenze 267
weggebundene Pressen 275
Weiche Stähle 78
Weiterschlag 145
Welligkeit 242, 248
Werkstoffbezeichnungen 74
Werkstoffcharakteristik 304
Werkstoffnutzungsgrad 312
Werkstückhandling 272
Werkzeugfertigung 470
Werkzeugkonstruktion 469
Werkzeugmontage 473
Werkzeug-Tryout 474

Werkzeugwerkstoffe 452
Werkzeugwirkflächen 230
Wissensebenen 330

Z

Zargeneinfall 249
Zerteilen 207
Ziehanlage 328
Zieheinrichtung 280
Ziehhilfen 360
Ziehkissentechnik 272f.
Ziehleisten 359
Ziehmatrize 137
Ziehspannung 327
Ziehstäbe 359
Ziehstabeinsatz 126
Ziehstabprägekraft 152
Ziehstufe 359
Ziehverhältnis 143
Ziehwülste 359
Zielkonflikte 68
Zipfelbildung 248
Zipfelhöhe 36
Zuführungscharakteristik 418
zusätzliches Schneidwerkzeug 166
Zusatzsymbole 77
Zuschnitt 283
Zuschnittsform 361
Zwillingsbildung 72