

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 Umformeigenschaften. 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.

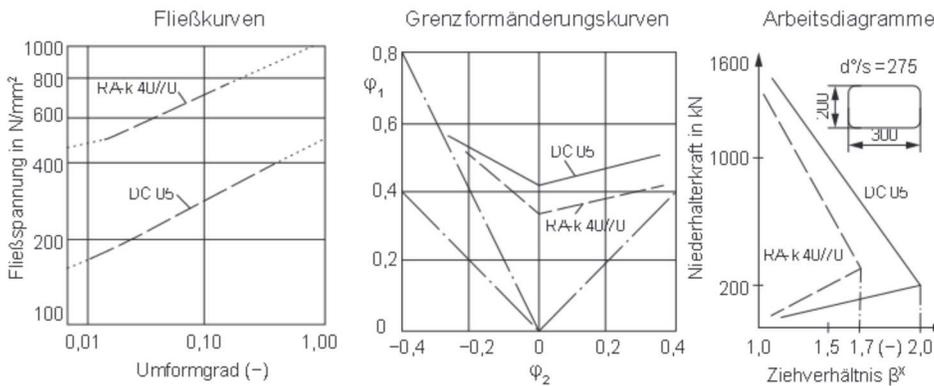
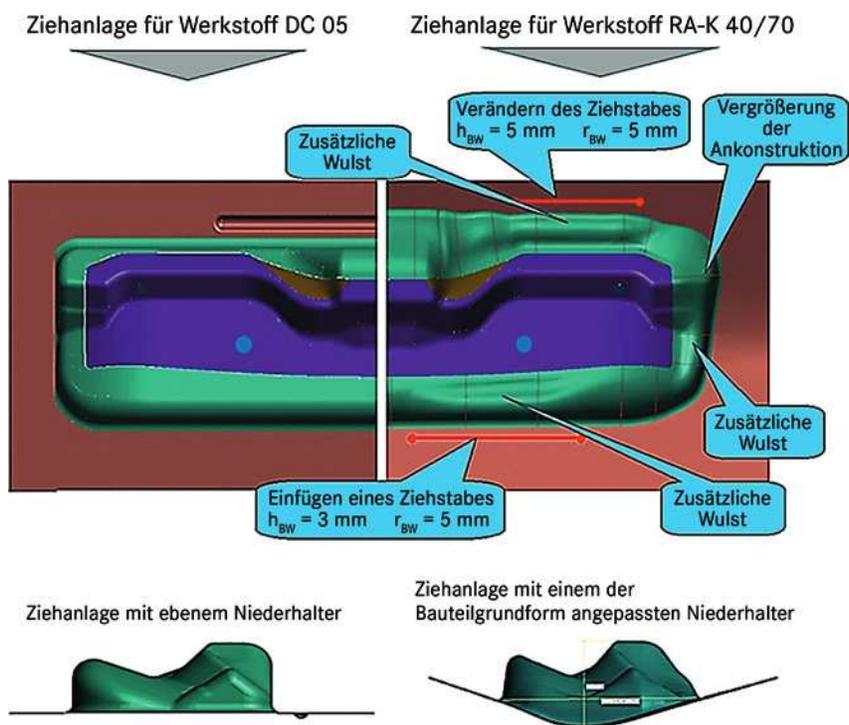


Bild 9.79 Charakteristik der Umformeignung des Werkstoffs RA-K 40/70 gegenüber weichem Stahl DC 05

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 Ziehlanlage 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 in Eingriff stehen

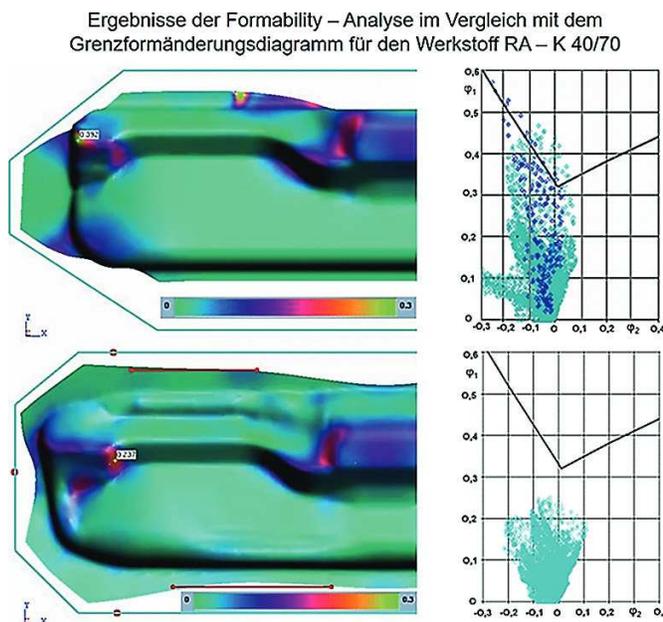


Bild 9.82 Vergleich der Ergebnisse der Formability-Untersuchungen (AutoForm) und deren Ergebnisse mit dem Grenzformänderungsdiagramm

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.

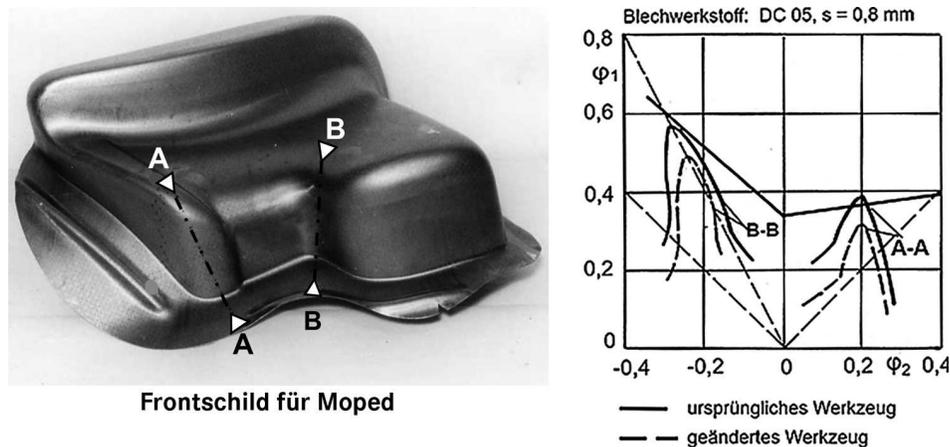


Bild 9.84 Formänderungsanalyse an der Hälfte eines Frontschildes für ein Zweiradfahrzeug

Die Tankhälfte für ein Zweiradfahrzeug nach Bild 9.85 gilt aufgrund der gekrümmten Form der Zarge mit großer Weite des Ziehspalts als „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.

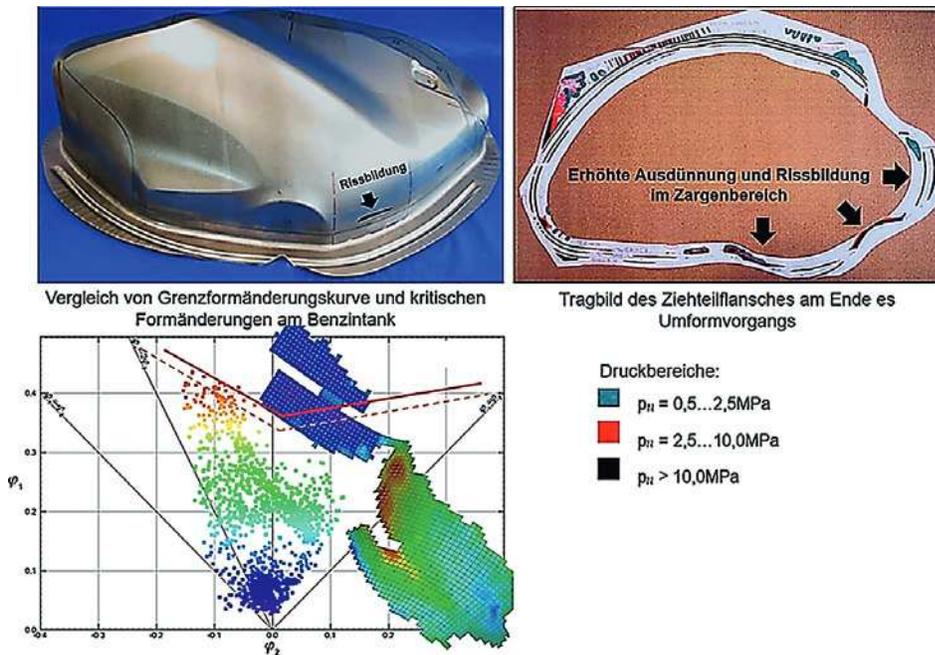


Bild 9.85 Formänderungsanalyse an einer Tankhälfte aus DC 06, $s = 0,9$ mm, Quelle: WHZ-Untersuchungen, unveröffentlicht

Die Optimierungslösung fordert einen Werkstückwerkstoff mit bester Tiefzieheignung. Der Blechwerkstoff DC 06 ($s_0 = 0,9$ 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 Ziehflansch 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.

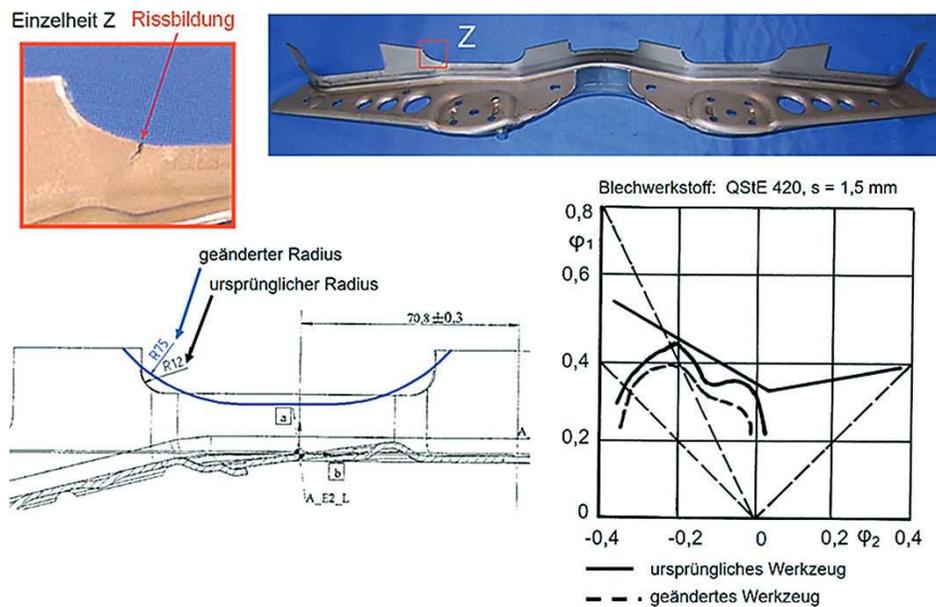


Bild 9.86 Formänderungsanalyse an einem Querträger zum Beheben eines Fehlers der Bauteilkonstruktion

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.

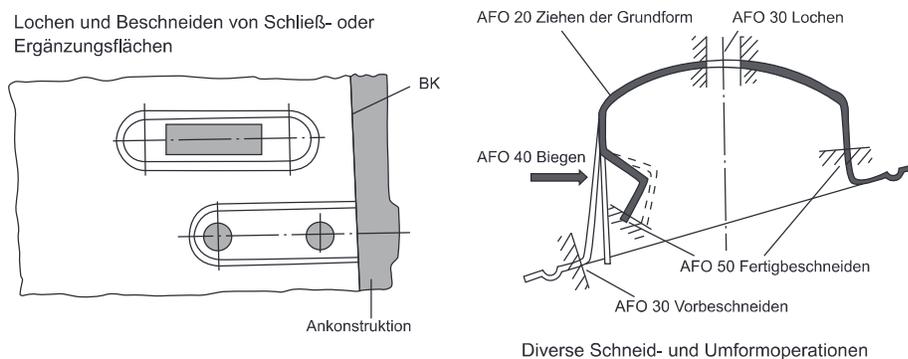


Bild 9.87 Lochen von Schließöffnungen, Beschneiden einer Ankonstruktionsfläche (links) – Vorbescheiden, Lochen, Biegen und Fertigbescheiden der mittels Tiefziehen umgeformten Grundform (rechts)

- 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

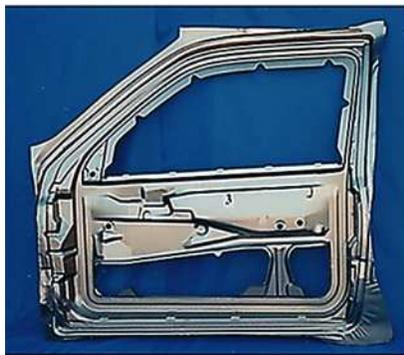
Bild 9.89 enthält die Arbeitsfolge AFO 10 bis AFO 40 eines Türinnenbleches. Bereits während des Tiefziehens wird bei AFO 10 ein Fließeinschnitt im unteren Fensterbereich eingebracht, um eine zu große Ausdünnung für das spätere Falzen an der Fensterbank zu vermeiden.



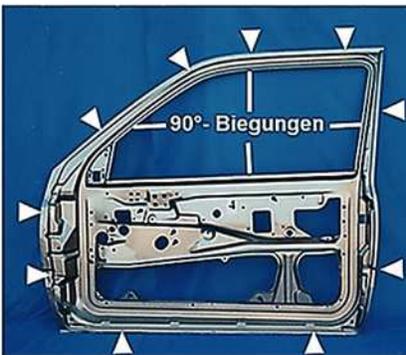
AFO 10
Ziehen der Grundform (1. Zug),
Schneiden der Fließeinschnitte
während des Ziehprozesses



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.

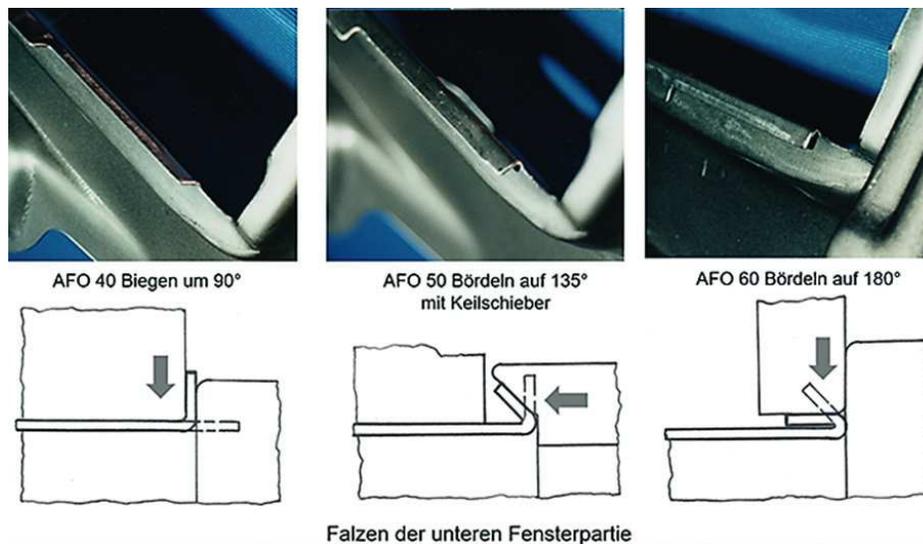


Bild 9.90 Falzen (Bördeln) des unteren Fensterrandes am Türinnenblech

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.

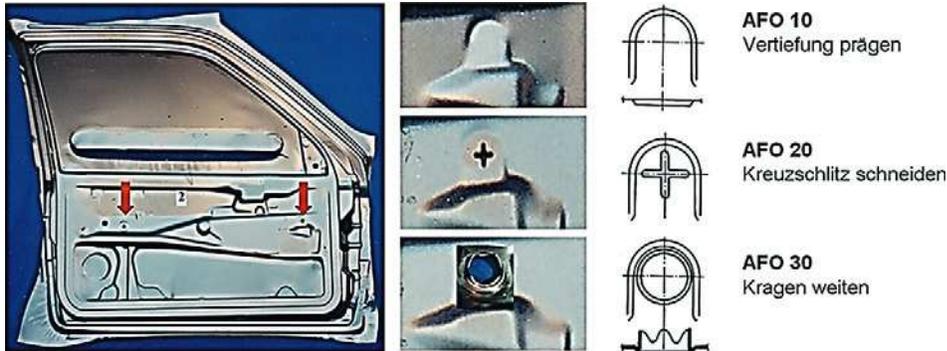


Bild 9.91 Formen von Kragen zur Positionierung des Werkstücks in den Folgestufen

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).

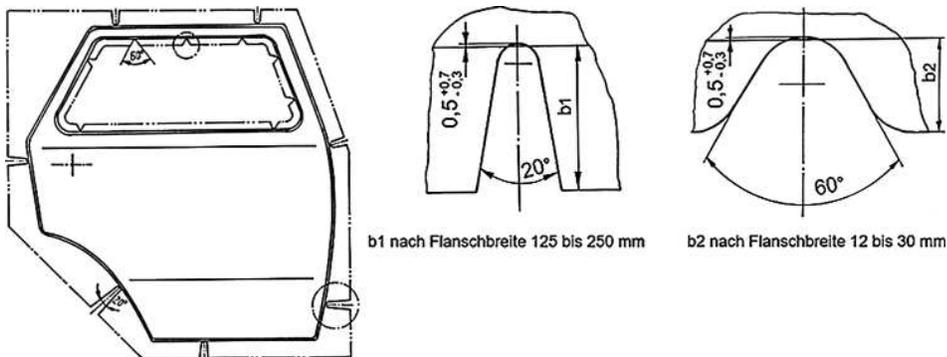


Bild 9.92 Türaußenblech mit Ausklinkungen für trennmesserlose Beschnitte

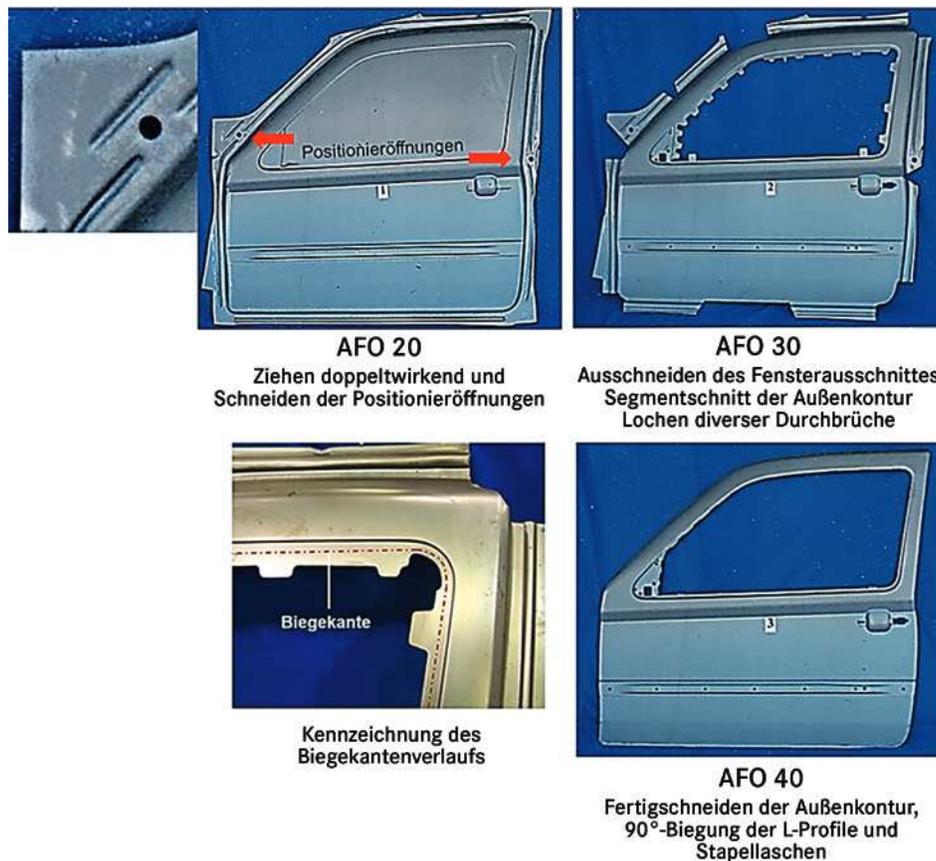


Bild 9.93 Ziehen eines Türaußenbleches mit dem Schneiden von Positionieröffnungen (AFO 20), segmentiertes Schneiden der Außenkontur und Komplettschnitt des Fensterausschnitts (AFO 30), Fertigschnitt des Außenflansches und 90°-Biegungen im Fensterbereich (AFO 40)

Bild 9.93 zeigt das Fertigen eines Türaußenbleches in den Arbeitsfolgeoperationen 20 bis 40. Mit dem doppeltwirkenden 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).