

Modellbildung und Prozessauslegung

Während der ersten Modellbildung mit Hilfe der AutoForm-Simulationssoftware kommt ein Rundrohr zum Einsatz. Die CAD-Daten des Rahmenbauteils werden in AutoForm Hydroforming eingelesen und ein Doppelbauteil erstellt. Der Ausgangrohrdurchmesser lässt sich über eine Schnittanalyse bestimmen, bei der die unterschiedlichen Umfänge entlang der automatisch erstellten Bauteil-Mittellinie ausgewertet werden. Damit das Rohr in das Hydroform-Werkzeug passt, ist ein Vorbiegen mit vier Biegungen notwendig. Die Biegelinie wird ausgehend von der Mittellinie des Rohrs automatisch erstellt.

Die Werkzeugauslegung bildet den letzten Schritt der Modellbildung. In AutoForm Hydroforming wird die Füllfläche zwischen dem rechten und linken Bauteil erzeugt, die Ankonstruktion gestaltet, das Werkzeug hinterschnittfrei eingedreht und eine Trennebene festgelegt. Anschließend erfolgt die Auftrennung des Werkzeugs in ein Ober- und Unterwerkzeug und die Einlaufkanäle werden definiert. Sie halten das Halbzeug beim Schliessen des Oberwerkzeugs in Position. Die Software erzeugt automatisch die Axialzylinder für das Nachschieben, sie zu modellieren entfällt. AutoForm Hydroforming stellt im Weiteren die Hauptparameter für den IHU-Prozess, Innendruck und axialer Nachschiebeweg, in Abhängigkeit der Zeit in Diagrammen dar. Daraus ist ein Druck-Weg-Diagramm ableitbar, wie es für IHU-Maschinen gebraucht wird.

Für die Simulation sind die vier Prozessschritte CNC-Biegen, Schliessen der Einlaufkanäle, Schliessen des Oberwerkzeugs und Hydroformen relevant.

Unterschied zwischen vereinfachter und detaillierter Biegesimulation

Das CNC-Biegen kann auf zwei Arten simuliert werden: in einem vereinfachten Biegemodell oder in einer detaillierten Biegesimulation. Beim vereinfachten Biegemodell werden die Änderungen der Verfestigung und der Blechdicke berücksichtigt, ohne Informationen über geometrische Abweichungen wie das Einfallen am Aussenbogen oder Falten am Innenbogen zu erhalten. Aussagen dieser Art erfordern eine inkrementelle Simulation und es ist nötig, alle Biegewerkzeuge zu erstellen. Dieser Aufwand fällt beim vereinfachten Modell weg.

Eine einfache Simulation zum Start

Für eine erste Simulation kommt das vereinfachte Biegemodell zur Anwendung. Es erlaubt, schnell eine Aussage bezüglich der Herstellbarkeit zu machen.

Als Ergebnisse liefert dieses Modell eine Dickenzunahme der Innenbogen und zeigt, dass die Wandstärke der Aussenbogen schon bedenklich nahe an die Mindestwandstärke kommt. Beim Schliessen des IHU-Werkzeugs drückt ausserdem die obere und untere Werkzeughälfte auf den Aussenbogen, formt das gebogene Rohr vor und streckt im Bereich des Innenbogens Material ab. Dies führt zu einer kritischen Dickenreduzierung im Bereich des Innenbogens. Auch ein leichter Einfall am Aussenbogen ist erkennbar.

In dieser ersten Simulation wird während des IHU-Prozesses axial kein Material nachgeschoben. Reisser an den Seitenwänden des Bauteils sind die Folge.

Bild: AutoForm

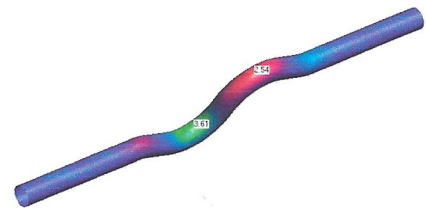


Bild 4: Nach der ersten Simulation mit dem Rundrohr zeigen sich kritische Mindestwandstärken.

Bilder: AutoForm

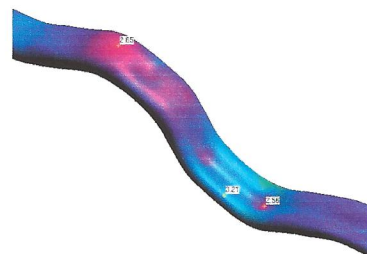
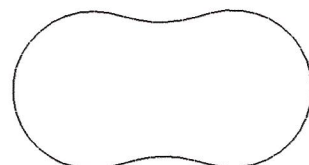


Bild 5: Nach dem Schliessen des IHU-Werkzeugs: kritische Wandstärke beim Innenbogen und ein leichter Einfall am Aussenbogen.

Weitere Simulationen notwendig

In weiteren Simulationen mit dem vereinfachten Biegemodell wird während des IHU-Prozesses axial Material nachgeschoben und der Nachschiebeweg in mehreren Durchläufen optimiert. Die Reisser an den Seitenwänden treten jedoch weiterhin auf.

Ausgehend von diesen Ergebnissen drängt sich eine Halbzeuggeometrie



auf, die sich abweichend zum vorgesehenen Rundrohr an der Endform des Bauteils orientiert. Damit bleibt auch der Umformgrad möglichst niedrig. Die Entscheidung fällt auf ein Strangpressprofil, dessen Querschnitt einer Acht ähnlich ist. Der Aufwand diese Änderung in der Software zu übernehmen ist gering, nur der Querschnitt muss neu eingelesen werden. Die Geometrie für das Halbzeug erzeugt AutoForm Hydroforming daraufhin automatisch und es kann erneut simuliert werden.

Die Wandstärken erweisen sich nun als weniger kritisch und der leichte Einfall am Aussenbogen ist nicht mehr zu beobachten. Hartnäckiger geben sich die Reisser in der Seitenwand. Trotz weiter optimiertem Druck-Nachschiebeverlauf treten sie weiterhin auf.

Schnittbilder am Ort der geringsten Wandstärke und zu verschiedenen Zeitpunkten des IHU-Prozesses zeigen, dass nach dem Schliessen des Werkzeugs ein hoher Umformgrad nötig ist, um in den Radienbereichen die Endkontur des Bauteils zu erreichen. Material wird hier nur schwer nachgeschoben, geht zu Lasten der Seitenwandstärke und führt letztlich zu den Rissen. Erst als die Radien in diesem Bauteilbereich entschärft sind, verschwinden auch die Risse.

Bild 6: Statt der Rundgeometrie wird der Querschnitt des Halbzeugs der Endgeometrie des Bauteils angeglichen.

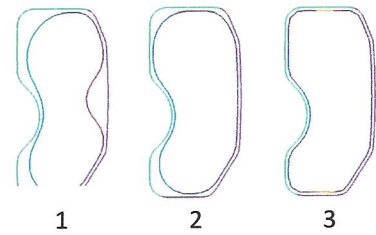


Bild 7: Querschnitt nach dem Schliessen des Werkzeugs (1), beim IHU-Prozess und ca. 300 bar (2) und ausgeformt (3).

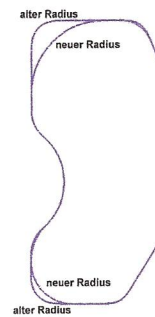


Bild 8: Die Radien, die nicht im Sichtbereich liegen, werden sanfter ausgeführt, um die Rissbildung zu eliminieren.

Letzte Absicherung

Eine inkrementelle Simulation des Biegens für die geänderte Geometrie soll Klarheit schaffen über mögliche Formfehler beim Biegeprozess. Alle dazu erforderlichen Biegewerkzeuge wie Biegescheibe, Klemmbacken, Faltenglätter, Andruckschiene und Biegedorn werden von AutoForm Hydroforming automatisch erstellt. Das gilt genauso für die relevanten Prozessschritte, bei denen das Halbzeug gebogen, rotiert und vorgeschoben wird. Manuell wäre dies sehr aufwändig und zeitintensiv, insbesondere bei Änderungen an der Biegelinie. Sie bildet die Grundlage für den Biegeprozess und beeinflusst damit direkt den Biegeplan. Dieser wird bei einer geänderten Biegelinie umgehend aktualisiert, da AutoForm Hydroforming die Biegewerkzeuge und Biegeprozessparameter automatisch anpasst.

Die inkrementelle Simulation zeigt, dass Verformungen oder Falten kein Thema sind und nur in einem Bereich wird die Mindestwandstärke unterschritten. Um hier Einschnürungen und Reisser auszuschliessen, wird der Radius in diesem Bereich grösser gestaltet. Damit legt sich das Material später an das Werkzeug. Beim Ausformen der Eckbereiche wird das Material somit nicht mehr an dieser Stelle abgestreckt.

Bilder: AutoForm

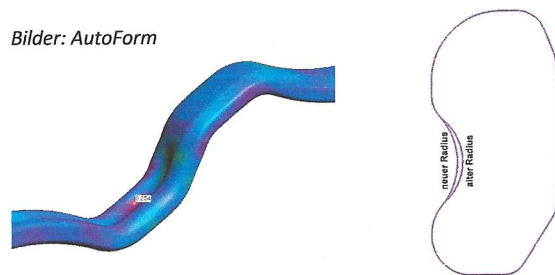


Bild 9: Nach der inkrementellen Simulation gibt es noch eine kritische Stelle, die durch einen vergrößerten Radius am Werkzeug behoben wird.

Um das Bauteil in das IHU-Werkzeug einzulegen, ist Vorformen nicht unbedingt notwendig. Erfahrungsgemäss kann es aber beim Schliessen des IHU-Werkzeugs zu Anreissern kommen. Um dies auszuschliessen, werden an ausgewählten Positionen dynamische Schnittbilder während des Schliessvorgangs überprüft. Für eine erleichterte Auswahl bietet AutoForm Hydroforming die Funktion „Dynamic sections“.

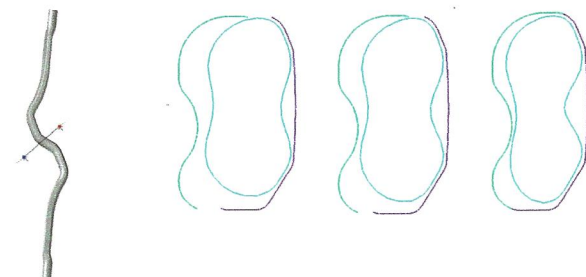


Bild 10: Dynamische Schnittbilder während des Schliessvorgangs und an ausgewählten Schnitten zeigen mögliche Stellen für Anreisser.

Damit kann man sich gleichsam virtuell durch das Bauteil bewegen und den Umformprozess an der jeweiligen Schnittposition beobachten.

Es stellt sich heraus, dass die Wand des Strangpressprofils in zwei Bereichen sehr dicht an die Trennung von Ober- und Unterwerkzeug herankommt. Darum wird hier das Doppelbauteil vorgeformt, womit Anreisser in diesen Bereichen definitiv ausgeschlossen sind.

Fazit

Mit Hilfe der AutoForm Hydroforming-Software lässt sich die gesamte Entwicklungskette von der Entwicklung des hydrogeformten Bauteils bis zur Prozessauslegung effizient analysieren. Dank der Simulation werden anspruchsvolle Vorgaben bezüglich Design, Gewicht, Festigkeit und Prozesssicherheit während der Fertigung beherrschbar. Die kurzen Rechenzeiten

erlauben zudem mehrere Simulationsversuche in einem Zeitraum von Stunden statt Tagen. So zeigen sich rasch Verbesserungspotentiale, die direkt in weitere Simulationen einfließen können.

Schon vor dem Anfallen von hohen Versuchskosten stellte sich beim Rahmenbauteil heraus, dass die Bauteilgeometrie kleine Anpassungen erfordert und dass die Profilgeometrie einer grösseren Änderung bedarf. Nur damit war der entscheidende Sprung in Richtung Machbarkeit und Bauteilqualität möglich. Apropos Prototypenwerkzeug, das konnte gänzlich eingespart werden!

Bilder: AutoForm

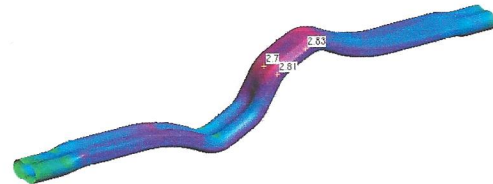


Bild 11: Nach dem IHU-Prozess sind die Wandstärken nun allesamt im unkritischen Bereich.

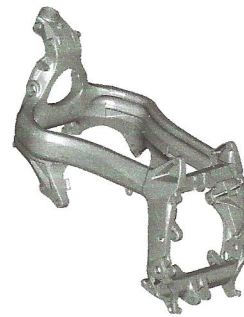


Bild 12: Schweißverbund als Hauptrahmen der BMW K 1200 S.