

Verringerung und Optimierung von Umformstufen in Umformprozessen mit Hilfe der Simulation auch unter Nutzung von „Kissen“-Werkzeugen

Pedro D. Schmitt, Luciano Pinotti, Marcelo Carminati, Keller Jhan M.
Acopecas Ind. Pecas de Aco Ltda, Guabiruba, SC, Brasilien

Gerhard H. Arfmann,
CPM GMBH, Herzogenrath, Deutschland

Kurzfassung

Die speziellen Randbedingungen im Brasilianischen Markt zwingen Kaltumformbetriebe zur Fertigung kleiner Lose unter Verwendung neuester Technologie, um am Markt konkurrenzfähig zu sein.

Der Beitrag zeigt, wie neue Werkzeug- und Auslegungstechnologien in Verbindung mit Simulationstechnik helfen, dieses Ziel zu erreichen.

Einleitung

Brasilien ist geprägt durch eine monopolistische Stahlindustrie, die durch Importzölle geschützt ist. Dadurch ist der Stahlpreis oft höher als der Kilopreis fertiger Produkte im Ausland. Derartige Produkte werden, falls es sich um Fertigprodukte handelt zwar ebenfalls besteuert, dennoch gelangen Produkte preiswert ins Land, die dann zu Fertigprodukten „weiterverarbeitet“ werden. Gleichzeitig sind die zu produzierenden Serien in Brasilien nicht sehr groß. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, intelligente Lösungen zur Fertigung kleiner Lose zu finden, um am Markt bestehen zu können.

In den 80er Jahren sahen die Autoren am IFU in Stuttgart Entwicklungen zum Querfließpressen. Es kamen Werkzeuge unter Nutzung von „Kissen“ zum Einsatz. Das Verfahren wurde bereits in einem Automobilzulieferbetrieb im Raum Stuttgart auf einer Transferpresse mit 60.000kN bei einer Prozesstemperatur von 1200°C eingesetzt.

Herr Kammerer, damals Mitarbeiter am Institut in Stuttgart gab den Autoren zu verstehen, dass in dieser Technologie die Zukunft liegen würde.

Diese Technologie kann auf einstufigen Pressen genauso eingesetzt werden wie auf Mehrstufenpressen und eignet sich auch für die Fertigung kleiner Serien.

Gegenüber konventionellen Verfahren lässt sich immer Energie einsparen.

Manchmal gelingt es auch den Materialeinsatz zu verringern.

Da die Ingenieure einen solchen Prozess nicht kannten und damit natürlich auch nicht beherrschten bedurfte es harter Arbeit und vieler Versuche, um diese Technik bei den Entwicklungsingenieuren und in der Produktion einzuführen.

Heute ist diese Technologie auch in Brasilien Stand der Technik und ihre Anwendung und Auslegung wird genauso wie die Optimierung der Werkzeuge im Detail von der Simulation unterstützt, so dass aufwendige Versuche vermieden werden können.

Einige Beispiele bei denen Werkzeugsysteme mit Kissen zum Einsatz kommen seien hier aufgezeigt.

Einfaches Stauchen mit hohem Umformgrad, bei dem normalerweise zwei Umformstufen benötigt werden.

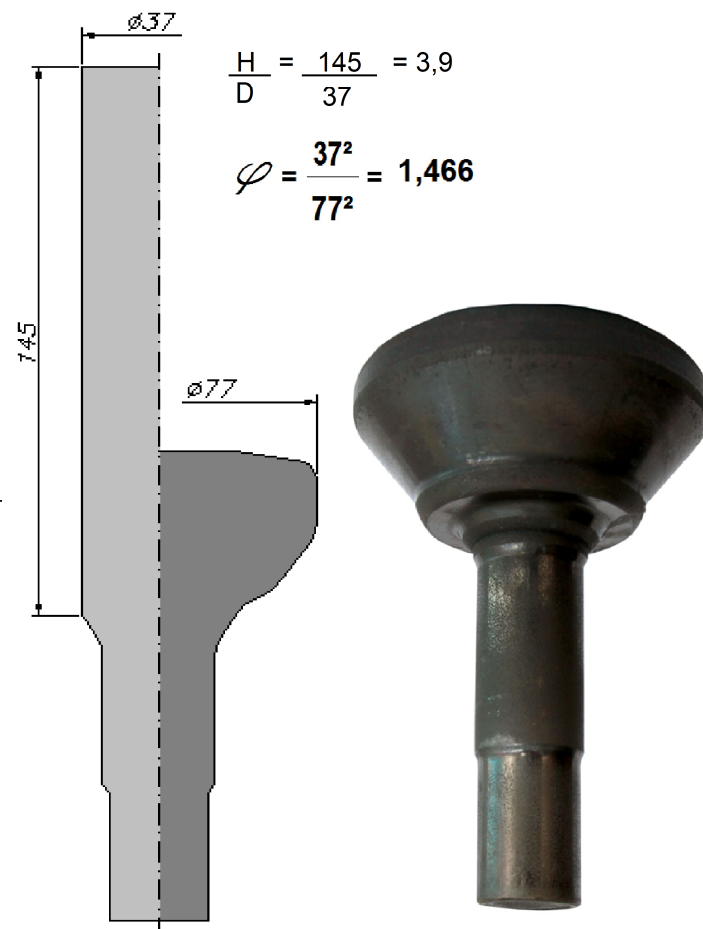


Bild 1: Einfaches Stauchen unter Nutzung von Werkzeugen mit Kissen

Einfach nicht symmetrische Teile, wie ein Automobilteil aus SAE 1020 mit exzentrischem Flansch. Werkzeuge mit Kissen erlauben die Fertigung einschließlich des Loches.



Bild 2: Teil mit nicht symmetrischem Aufstauchen bei gleichzeitigen Formen des Lochs

Das **Quer-Napf-Vorwärts Fließpressen**, entwickelt von Walter Osen, Manfred Kammerer, Eckardt Dannemann und Reiner Balbach /1/ erlaubt das Fertigen von Teilen mit großem Außendurchmesser ohne vorheriges Aufstauchen.

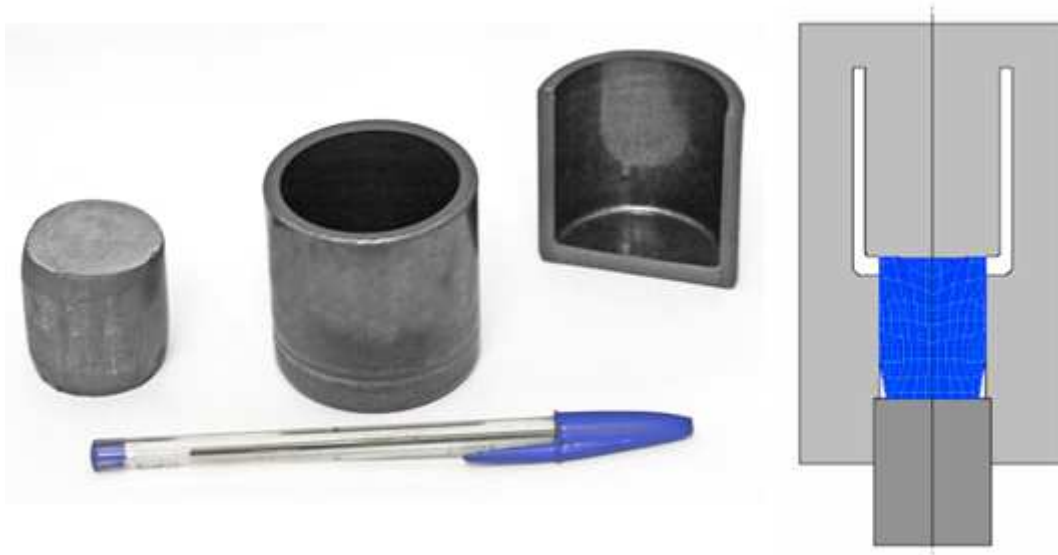


Bild 3: Bauteil gefertigt nach dem Prinzip des Quer-Napf-Vorwärts Fließpressens

Kombiniertes Vorwärts- und Rückwärtsfließpressen mit Ausformung von Verzahnungen unter Nutzung von Werkzeugen mit Kissen.



Bild 4: Bauteil mit Anwendung Kombiniertes Verfahren

Pressen mit gleichzeitigem Fließpressen zur Erzeugung einer „Bohrung“. Die Kombination mehrerer Kissen im Prozess erlaubt es in einem Schlag auf zu stauchen, gefolgt vom Pressen der Bohrung, was ein zweites und drittes Kissen erforderlich macht, die teilweise simultan wirken.



Bild 5: Pressen mit mehreren Kissen

Bauteile

Es werden im Vortrag die Fertigung folgender Bauteile detaillierter behandelt:

- Dünnwandiger Rotor
- Dickwandiger Rotor
- Ventilstößelteller
- Klaue einer Klauenpolmaschine

Dünnwandiger Rotor in einer Klimaanlage



Bild 6: Rotor einer Klimaanlage

Für die Umformung stellt dieses Bauteil unter anderem eine Herausforderung dar, da es ein großes Volumen in Zentrum hat.

Dieses Teil wird normalerweise ausgehend vom Blech in 12 Umformstufen auf einer 25.000 kN Presse gefertigt.

Da die Stückzahlen nicht groß sind, die Werkzeuge teuer sind und ihr Set-Up aufwendig ist, bestand die Chance wettbewerbsfähig sein zu können, wenn vom Blech gearbeitet würde, aber wenige Stufen ausreichen würden.

Zunächst wurde versucht, die erste Stufe mit einem konventionellen Ansatz zu Pressen. Es stellte sich heraus, dass nicht genügend Volumen nach innen floss.



Bild 7: Ersten Operation mit konventionellem Ansatz

Es wurden diverse Ideen untersucht und simuliert, um herauszufinden, wie die erste Operation besser ausgeführt werden könnte und/oder in einer zweiten Operation mehr Volumen ins Zentrum gebracht werden könnte.

Es wurde schließlich ein Ansatz gemäß Bild 8 gewählt, um Volumen nach innen zu bringen.

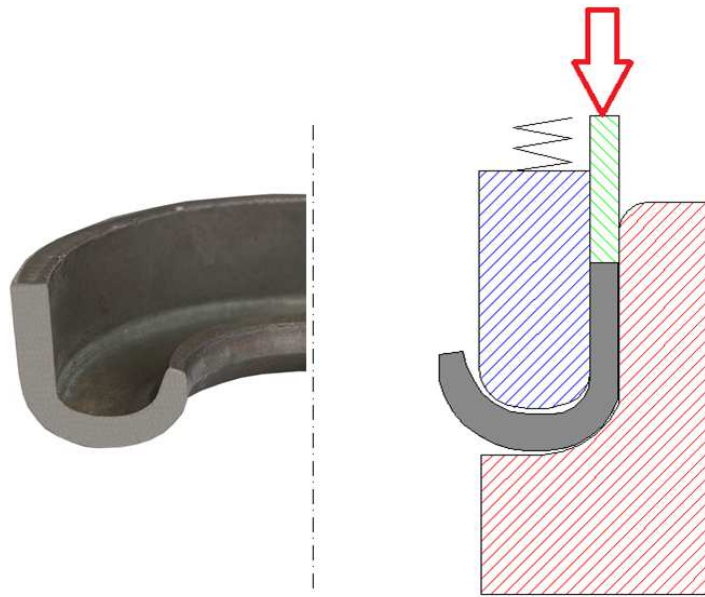


Bild 8: Prinzip des neuen Ansatzes (zweite Operation)

Durch Analyse der erreichten Geometrien und Auswertung des Materialflusses wurde schließlich die folgende Lösungen für die einzelnen Stufen gefunden.



Bild 9: Vergleich Simulation und Versuch Stufe 2

Das folgende Bild zeigt die Simulation im Vergleich zum Versuch in Stufe 3.



Bild 10: Vergleich Simulation und Versuch Stufe 3

Auch die Simulation und der Versuch in Stufe 4 zeigten eine gute Übereinstimmung.

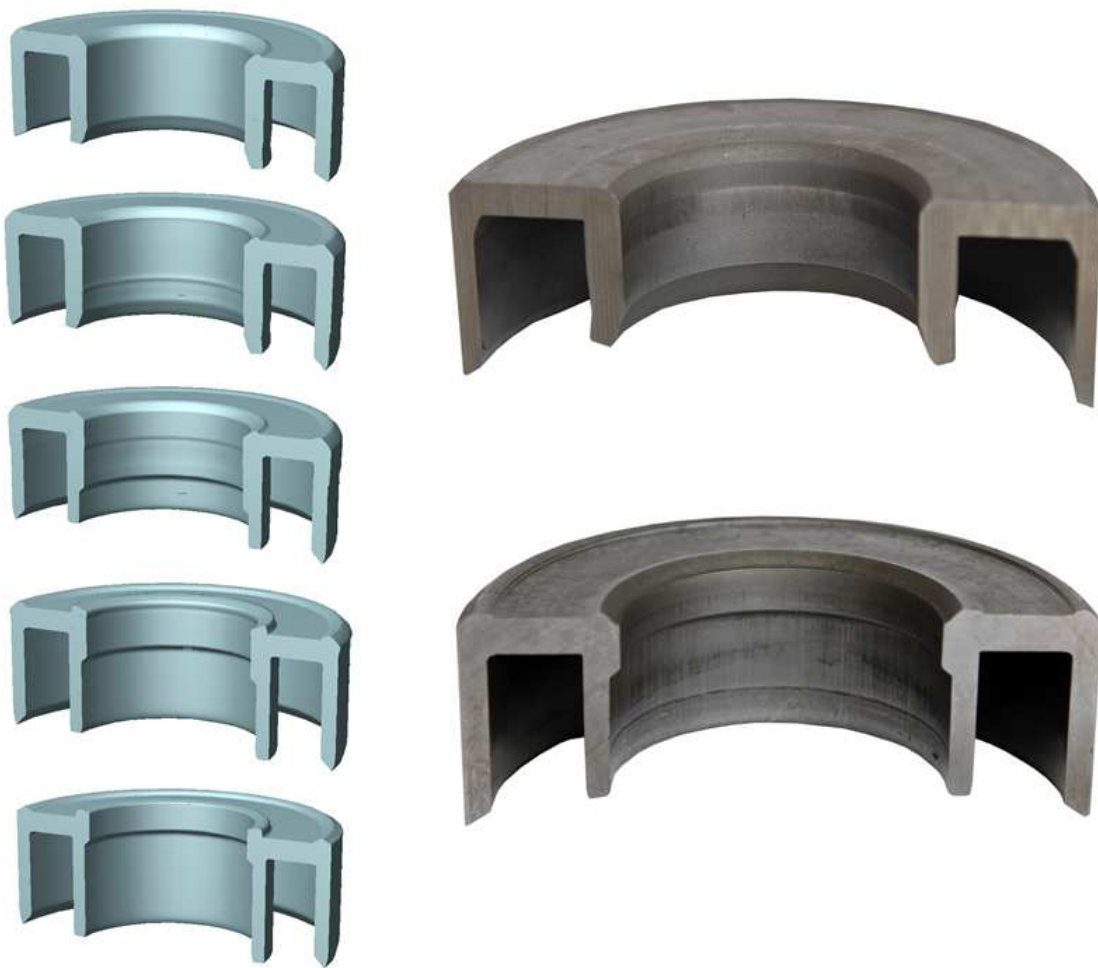
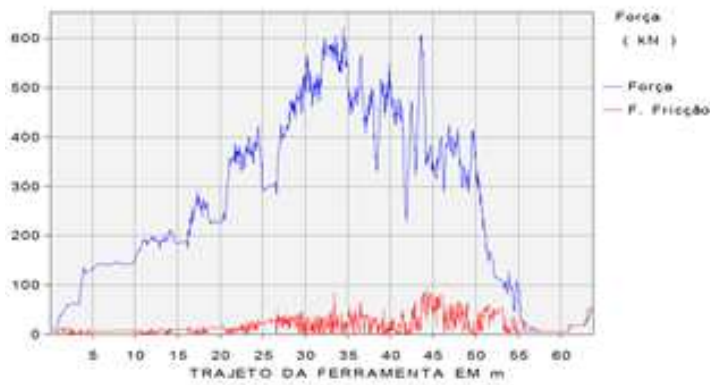


Bild 11: Vergleich Simulation und Versuch Stufe 4

So konnte ein exzellentes Resultat bei geringen Kosten und einer ausgezeichneten Effizienz erzielt werden.

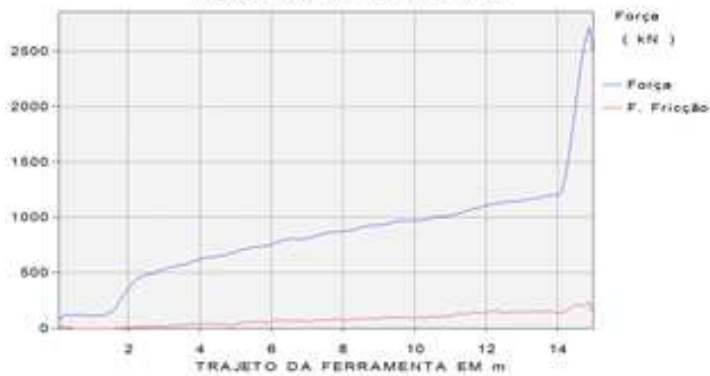
Dass das Material im Zentrum konzentrieren konnte brachte den entscheidenden Durchbruch in der Entwicklung.

Durch verschiedene Variationen konnten mit Hilfe der Simulation auch die Kräfte minimiert werden. Bild 12 zeigt die resultierenden Kraftverläufe.

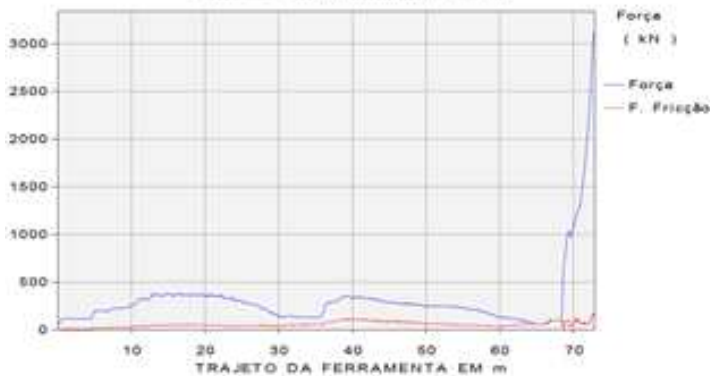


Medições de Forças das operações

1ª operação
Força = 470 a 620 kN



2ª operação
Força = 2000 a 2500 kN



3ª operação
Força = 2000 a 2500 kN



4ª operação
Força = 700 a 780 kN

Total
Força = 5200 a 6400 kN

Bild 12: Kraftverläufe

Dickwandiger Rotor einer Klimaanlage

Das folgende Bild zeigt **den fertigen Rotor**.

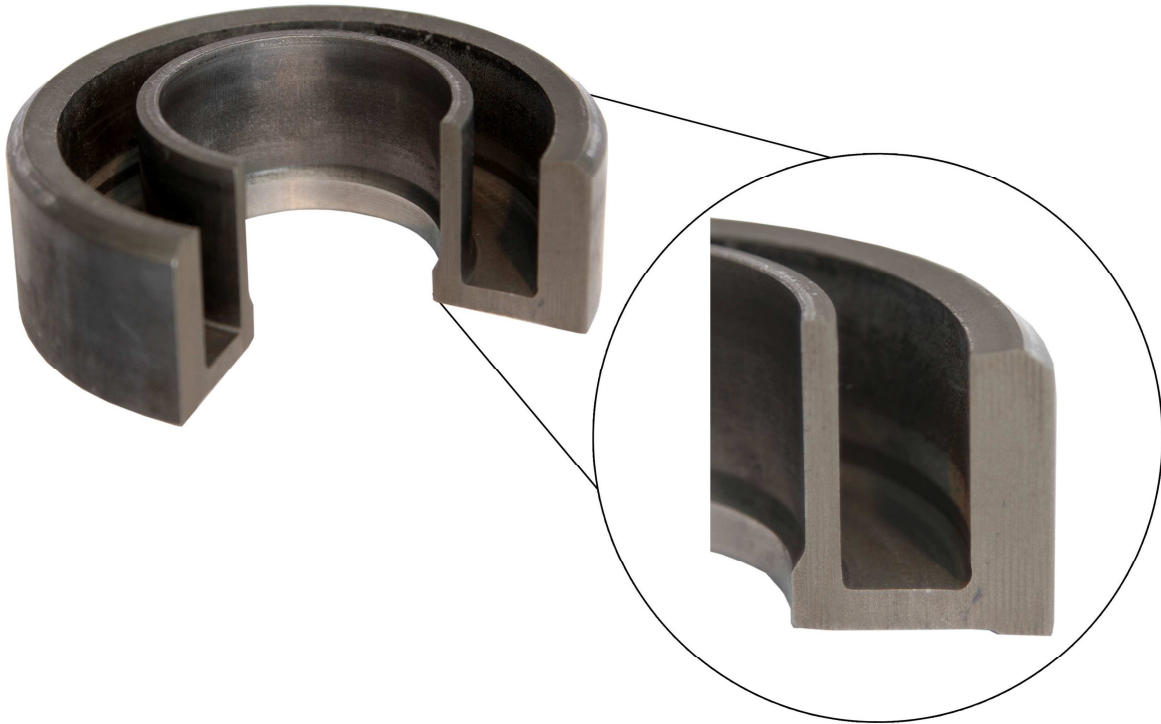


Bild 13: Rotor einer Klimaanlage

Bei der Entwicklung dieses Bauteils wurden zwei Fertigungsverfahren **verfolgt**. Zu einem die Fertigung aus Blech wie beim vorherigen Bauteil. Zum anderen wurde versucht, das Bauteil aus einem massiven Abschnitt zu formen.

Bei einer Produktion vom Stangenabschnitt würde 30% Material gespart werden, aber die Kosten des Materials wären viel höher.

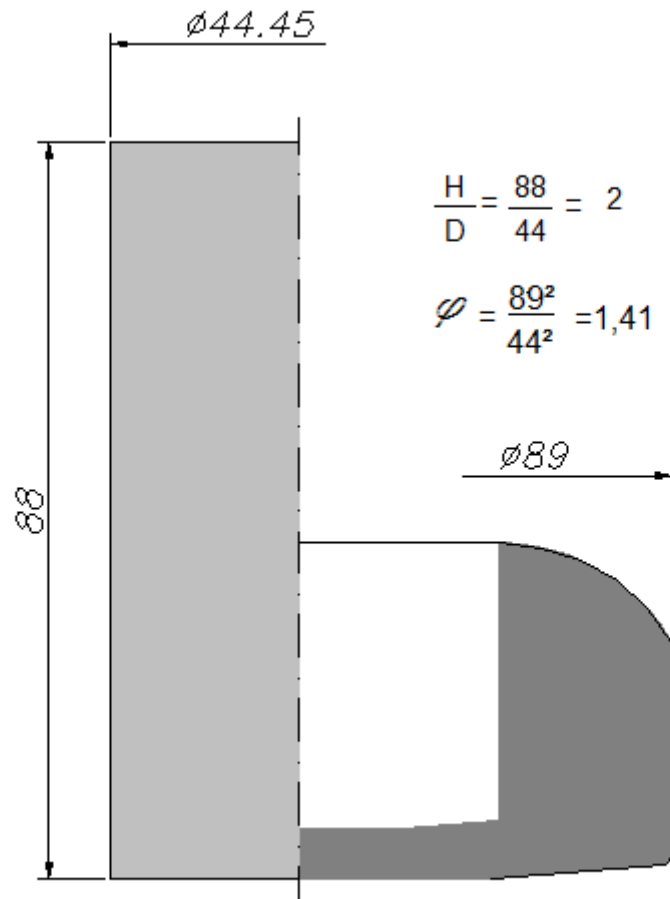
Das Preisniveau von Blech liegt trotz des Stahlmonopols in Brasilien auf Weltniveau und ist damit kostengünstiger als Stahldraht oder Stahlstangen.

Im Ergebnis stehen beide Verfahren zur Verfügung und es kann abhängig von der Marktsituation das günstigere Verfahren gewählt werden.

Die Lösung mit Fertigung des Teils vom Blech ist sehr ähnlich der oben vorgestellten Lösung.

Die Fertigung vom Abschnitt wird im Folgenden beschrieben.

Zunächst wurde eine Kombination von Stauchen und Rückwärtsfließen für die erste Stufe gewählt.



Bilder 14: Erste Stufe

Eine wurde Simulationen gemacht, die Geometrie gecheckt, die Werkzeuge gefertigt und ein Teil gepresst. Zum großen Erstaunen riss das Teil. Eine Analyse der Oberfläche des Vormaterials zeigte nichts Auffälliges.

Daraufhin wurde die Simulation genauer betrachtet. Die Simulation zeigte Spannungen, die auf ein Versagen hinwiesen. Der Fehlversuch hätte also vermieden werden können.

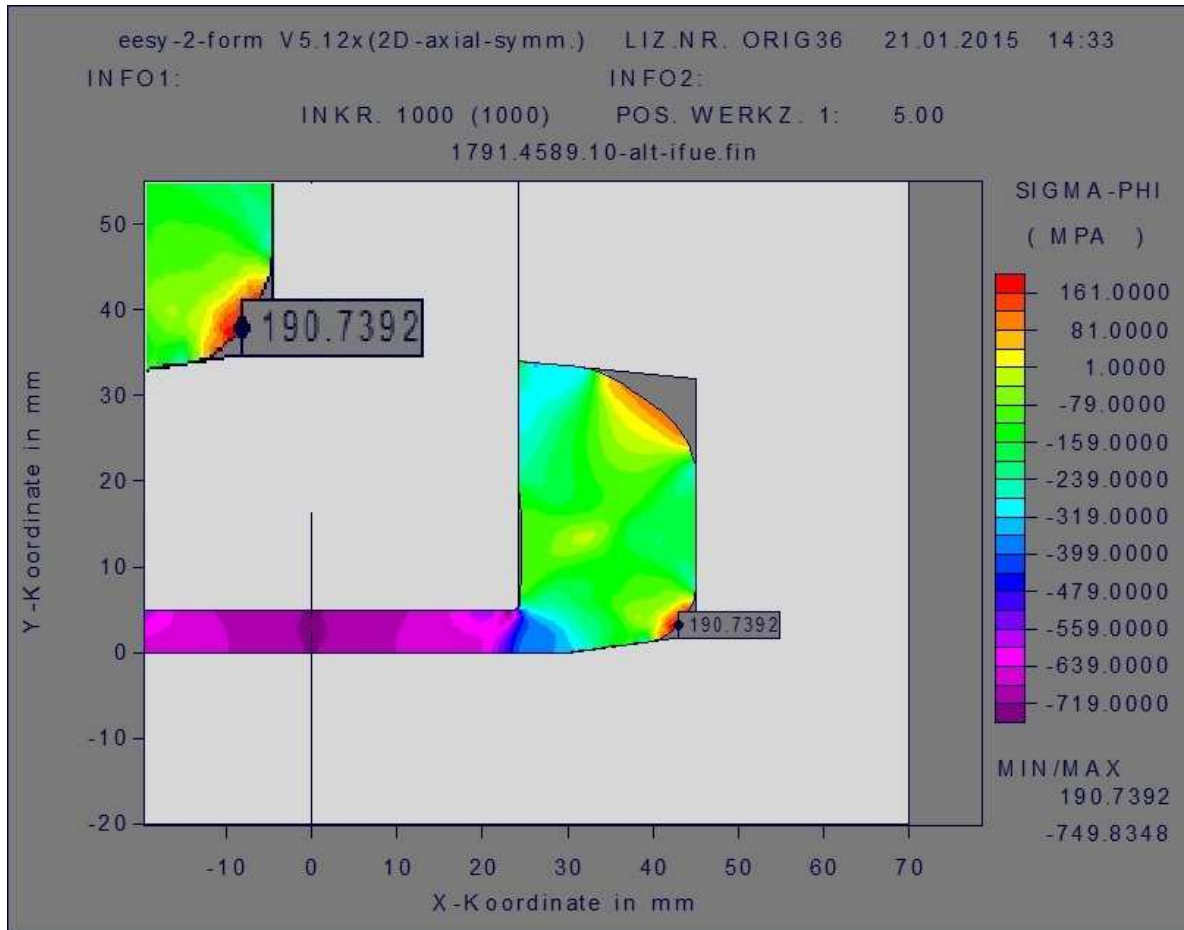


Bild 15: Umfangsspannung (Zug)



Bild 16: Produktionsversuch erste Stufe

Die Form der Matrize wurde geändert, um den Spannungen entgegenzuwirken.

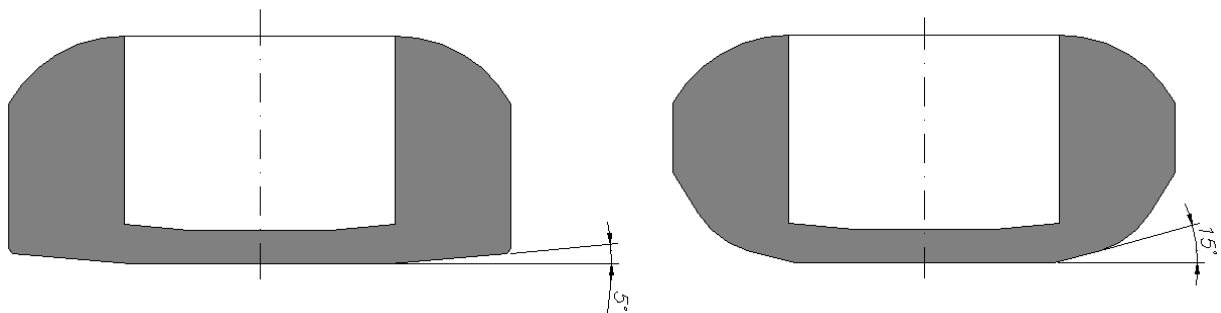


Bild 17: Neue Werkzeuggestaltung

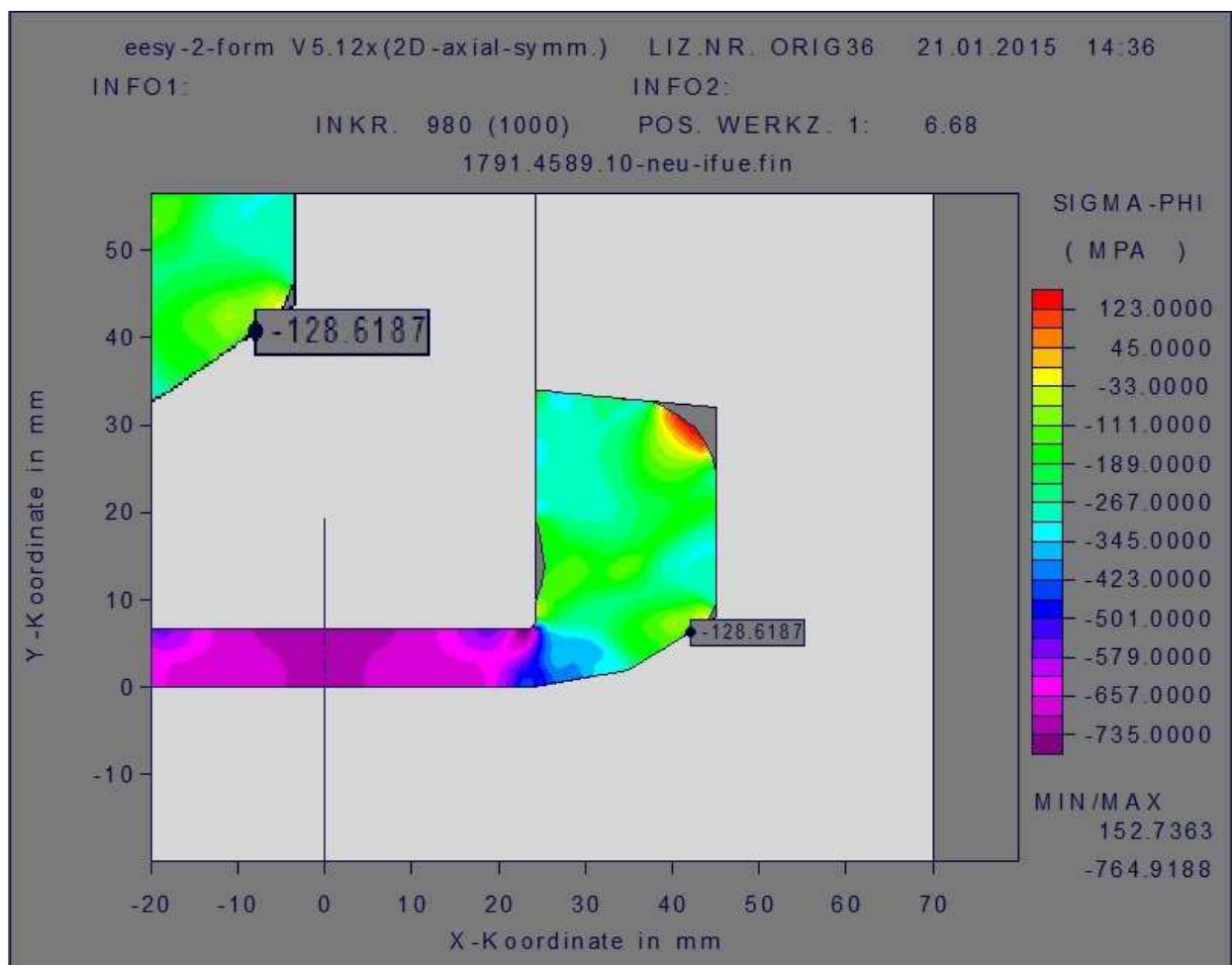


Bild 18: Spannungen in der neuen Auslegung (Druck)

Bild 19 zeigt das Ergebnis des Versuchs.



Bild 19 Neuer Produktionsversuch

Die zweite Stufe ist eine Kombination aus Lochen und Stauchen.

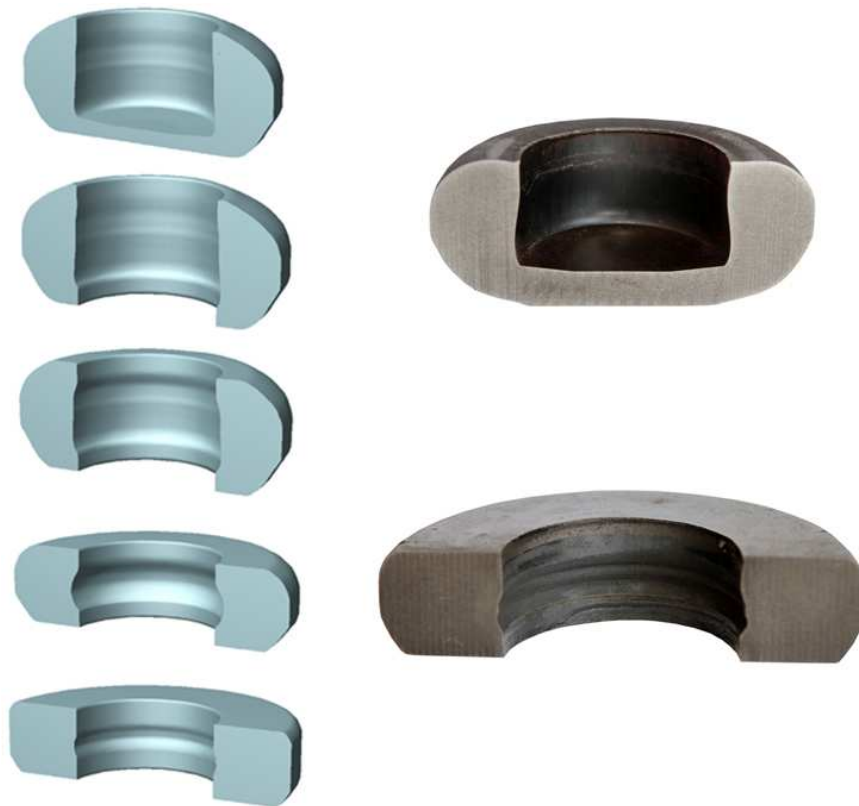


Bild 20: Zweite Stufe

Es zeigt sich in Simulation und Versuch die Tendenz eine Falte auszubilden. Durch weitere Verformung in Operation 3 kann diese jedoch zurückgebildet werden.



Bild 21: Dritte Stufe

Die dritte Operation wird warm bei 700°C durchgeführt. Dadurch kann eine Wärmebehandlung vermieden werden. Die Phosphatierung entfällt und es kann eine kleinere Maschine verwendet werden. Diese Vorteile wiegen die Mehrkosten für die Erwärmung auf.

Ventilstößelteller

Erhöhung der Standzeit eines Stempels

Neben den bereits dargestellten Beispielen der Auslegung neuer Prozesse soll hier noch auf die Möglichkeit der Standzeiterhöhung durch Optimierung der Stempelform eingegangen werden. Auch hierbei ist die Simulation ein Erforderliches Hilfsmittel, um eine solche Optimierung ohne aufwendiges Testen in Versuchen durchführen zu können.



Bild 22: Stadiengang

Bild 22 zeigt den Stadiengang zur Fertigung eines Kaltformteils im Automobilbau aus 16MnCr5.

In der dritten Stufe erfolgt ein Rückwärtsfließpressen. Der Außendurchmesser ist 37mm, der Innendurchmesser ist 33mm und die Wandstärke am Boden ist 2,7mm.

Außerdem ist das Bauteil im Zentrum 1,5mm erhaben.

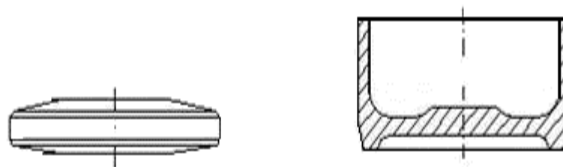


Bild 23: Dritte Stufe im Stadiengang

Der Pressstempel ist aus AISI M2 und TiAlN beschichtet.



Bild 24: Beschichteter Stempel

Der Stempel versagte frühzeitig. Die Risse schienen im Innenbereich zu geginnen und sich dann radial und tangential auszubreiten.



Bild 25: Ort und Ausbreitung der Risse

Variationen des Stempelmaterials brachten keinen durchschlagenden Erfolg.

Eine Simulation der Stempelbelastung zeigte folgendes Bild:

Die Umfangsspannung im Innenbereich zeigte zu Beginn der Umformung hohe positive Spannungen, die Später in Druckspannungen übergingen. Es kam also zu alternierenden Spannungen im Stempel. Hiergegen ist M2 anfällig. Es kann zur Ermüdung kommen.

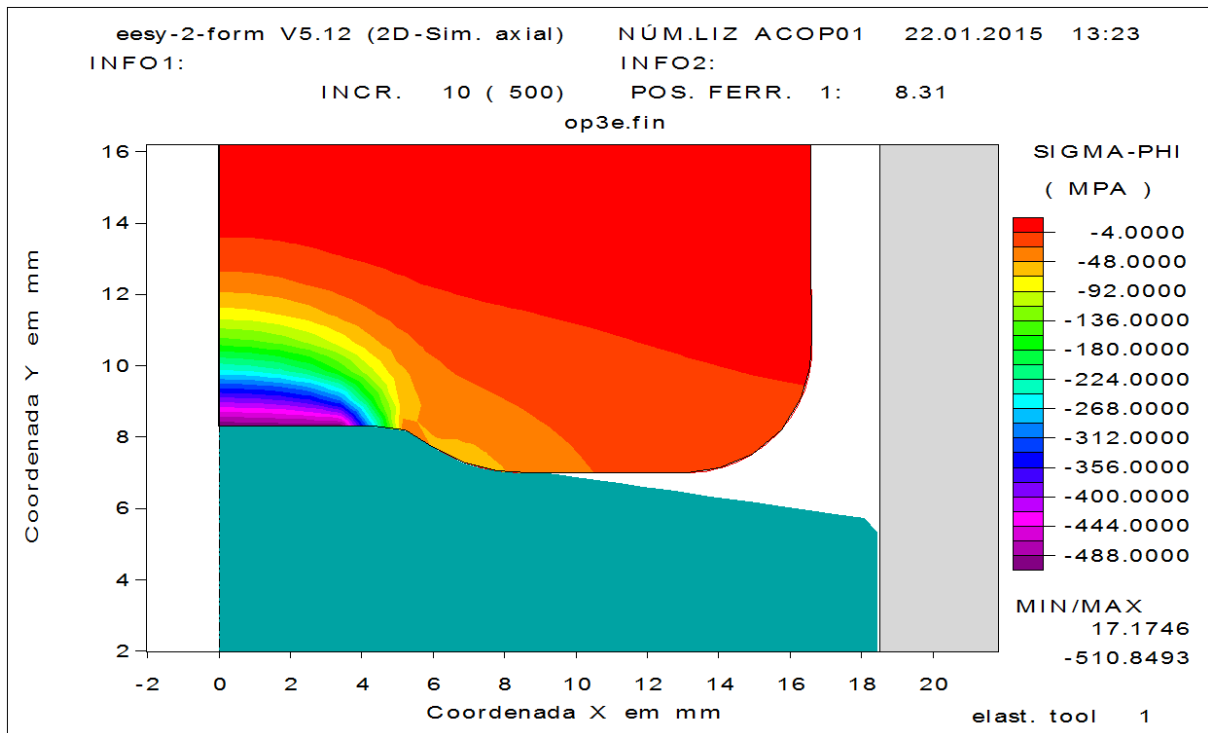


Bild 26: Umfangsspannung im Stempel zu Beginn der Umformung

Ziel war es also die anfänglich hohen Zugspannungen zu vermeiden.
 Da die Stempelform gewahrt werden musste bot sich eine Variation der Vorform an.

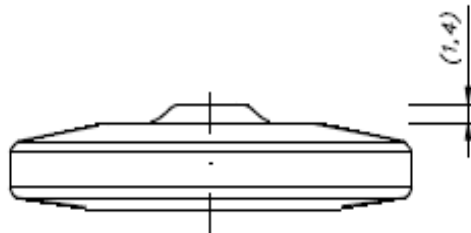


Bild 27: Geänderte Vorform

Bild 27 zeigt die letztendlich verwendete Vorform und Bild 29 die anfängliche
 Spannungsverteilung im Stempel.

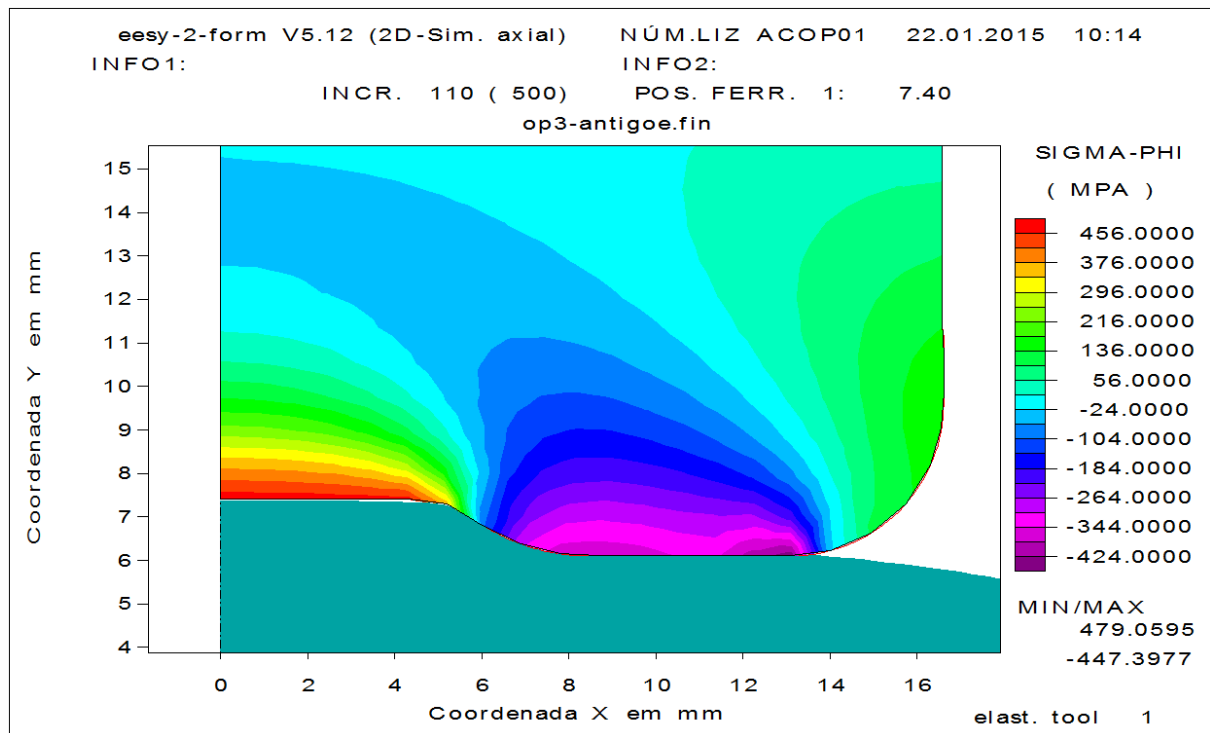


Bild 28: Anfängliche Spannungsverteilung bei geänderter Vorform

Genauere Auswertungen ergaben, dass die Druckspannungen über den Prozessverlauf zwar auch geringer wurden und dann zum Ende hin wieder zunahm, positive Spannungen konnten aber vermieden werden. Damit waren die alternierenden Spannungszustände vermieden.

Mit der gefundenen Vorform konnte die Standzeit der Werkzeuge erheblich gesteigert werden.

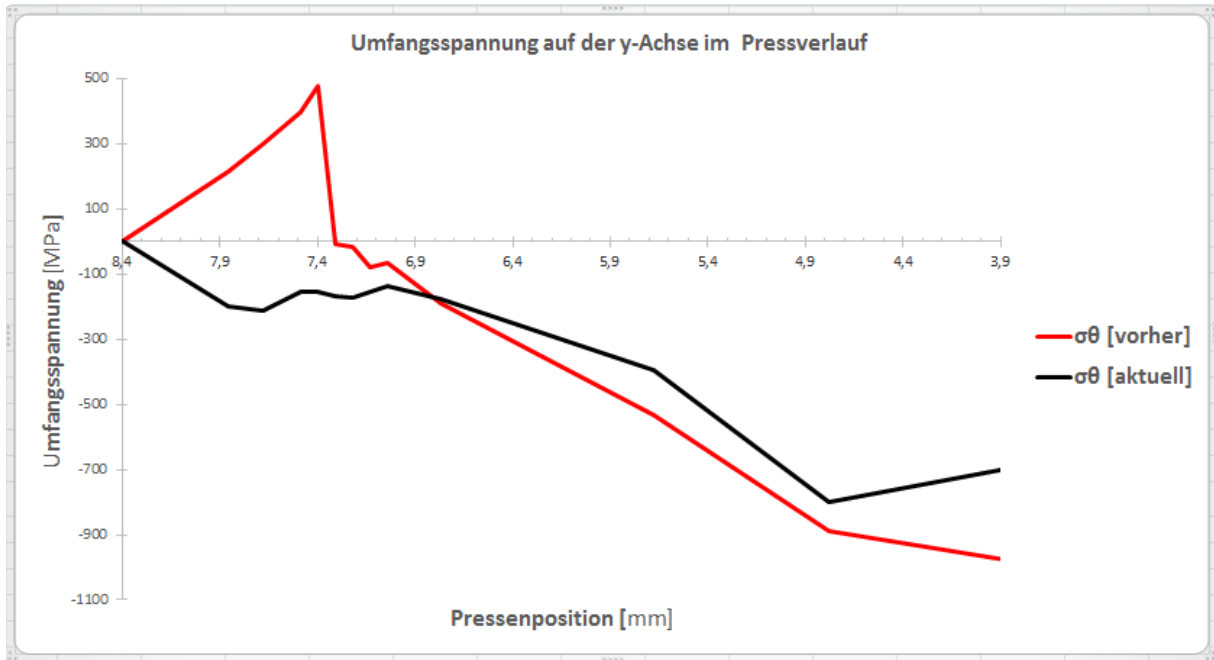


Bild 29 Sigma Phi Vorher-Nachher

Die Bilder 30 und 31 zeigen die Standmengen vor und nach der Änderung der Vorform.

Werkzeugnummer	Dat.	Werkz.	Standmenge	Werkz.
8747/2812	18/07/2012	1	4874	
8849/2812	06/01/2012	2	32428	
8949/2812	07/07/2012	1	22928	
16/01/2812	08/01/2012	3	18781	
17/01/2812	07/07/2012	1	18255	
16/01/2812	08/01/2012	2	48243	
17/01/2812	07/07/2012	1	24288	
28/01/2812	28/01/2012	1	44645	
27/01/2812	02/02/2012	1	28416	
18/02/2812	07/07/2012	1	21865	
18/02/2812	08/02/2012	1	47916	
19/02/2812	08/02/2012	2	18423	
19/02/2812	19/02/2012	2	2741	
19/02/2812	19/02/2012	1	18918	
19/02/2812	19/02/2012	1	17448	
19/02/2812	19/02/2012	2	1887	
17/02/2812	08/02/2012	1	48218	
19/02/2812	28/02/2012	3	44953	
22/02/2812	22/02/2012	2	18914	
23/02/2812	27/02/2012	3	14874	
24/02/2812	28/02/2012	1	818	
23/02/2812	23/02/2012	1	32516	
81/03/2812	01/03/2012	1	295	
82/03/2812	02/03/2012	1	4814	
83/03/2812	04/03/2012	1	4818	
85/03/2812	05/03/2012	1	15182	
86/03/2812	06/03/2012	1	15276	
87/03/2812	08/03/2012	2	25611	
89/03/2812	09/03/2012	1	4252	
16/03/2812	02/03/2012	1	49818	
19/03/2812	28/03/2012	1	33812	
21/03/2812	21/03/2012	1	2782	
22/03/2812	22/03/2012	1	5182	
23/03/2812	23/03/2012	1	4482	
24/03/2812	24/03/2012	1	22614	
25/03/2812	26/03/2012	1	24718	
27/03/2812	02/04/2012	1	38714	
82/04/2812	03/04/2012	2	23985	
84/04/2812	06/04/2012	2	19321	
85/04/2812	03/04/2012	1	14672	
16/04/2812	04/04/2012	1	38518	
17/04/2812	05/04/2012	2	48974	
17/04/2812	07/04/2012	1	28718	
18/04/2812	28/04/2012	1	39518	
24/04/2812	24/04/2012	1	45182	
25/04/2812	26/04/2012	1	4818	
27/04/2812	27/04/2012	2	1987	
28/04/2812	28/04/2012	1	51814	
29/04/2812	28/04/2012	2	821	
19/05/2812	01/05/2012	2	3391	
19/05/2812	01/05/2012	1	45	
19/05/2812	01/05/2012	1	71	
19/05/2812	01/05/2012	1	33816	
19/05/2812	01/05/2012	1	4452	
19/05/2812	02/05/2012	1	19314	
19/05/2812	04/05/2012	1	35418	
19/05/2812	07/05/2012	1	2812	
19/05/2812	08/05/2012	1	75514	
28/05/2812	28/05/2012	1	3442	
22/05/2812	22/05/2012	3	3912	
22/05/2812	22/05/2012	3	8511	
23/05/2812	23/05/2012	2	24814	
24/05/2812	24/05/2012	1	15518	
25/05/2812	25/05/2012	1	16512	
26/05/2812	26/05/2012	2	17282	
27/05/2812	28/05/2012	2	1842	
28/05/2812	28/05/2012	2	4921	
28/05/2812	28/05/2012	11	11.571	

104	1.723.626	16.573
-----	-----------	--------

Bild 30 : Standmengen vor der Änderung

Bild 30 zeigt, dass bei einer Produktion von 1.723.626 Teilen 104 Werkzeuge verbraucht wurden. Die Lebensdauer war also 16.573 Teile, wobei sie zwischen 500 und 37.000 Teilen schwankte.

Operação	Descrição	Data	Data		quantidade	vida
012	Punção furo	entrada	Saída		produzida	média
furo	1112	05/01/2013	22/01/2013	1	306862	
		23/01/2013	01/02/2013	1	159514	
		02/02/2013	07/02/2013	1	159009	
		08/02/2013	25/02/2013	1	310984	
		26/02/2013	06/03/2013	1	82310	
		07/03/2013	14/03/2013	1	249464	
		02/04/2013	05/04/2013	1	109904	
		06/04/2013	11/04/2013	1	117252	
		12/04/2013	16/04/2013	1	147344	
		19/04/2013	24/04/2013	1	127711	
		25/04/2013	26/04/2013	1	149130	
		27/04/2013	03/06/2013	1	712489	
		04/06/2013	20/06/2013	1	361138	
		21/06/2013	30/06/2013	1	123517	
	Total			14	3.116.627	222.616

Bild 31: Standmengen nach der Änderung der Vorform

Nach Änderung der Vorform wurde eine Standmenge von 222.616 pro Stempel erreicht, wobei das Maximum bei 700.000 Stück und das Minimum bei 80.000 Teilen lag.

Es konnte also nicht nur die Lebensdauer im Durchschnitt erheblich erhöht werden (1:13) sondern auch die Schwankungsbreite verringert werden (0.36:1:3.18 entgegen 0.03:1:2.2).

Weitere Maßnahmen wie zur Reproduzierbarkeit des Maschinensetup oder der Stempelqualität hatten zu folgen um die Streubreite zu verringern, die Simulation hatte aber den entscheidenden Schritt vorwärts ermöglicht.

Fertigung einer Klaue unter Verwendung von Kissenwerkzeugen

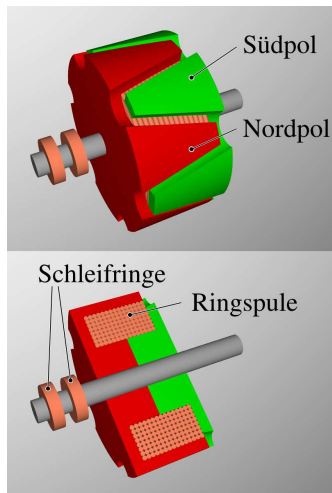


Bild 32 Das Prinzip einer Schenkelpolmaschine mit Klauen (Schenkelpolmaschine – Wikipedia)

Die Klaue sollte unter Verwendung von Werkzeugsystemen mit Kissen gefertigt und dann abschließend warm kalibriert werden.

Bild 33 zeigt die Simulation der Fertigstufe

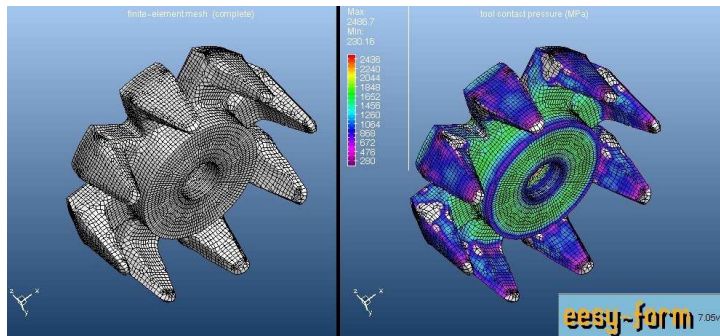


Bild 33: Fertige Klaue (Geometrie und Kontaktspannungen)

Auch hier war die Simulation für die Auslegung und Optimierung der Fertigungsfolge von großer Bedeutung. So trat in einem ersten groben Vorversuch eine Faltenbildung am Bauteil auf, die dann mit Hilfe der Simulation beseitigt werden konnte. Die folgenden Bilder zeigen die Simulation der Formgebungsfolge. Die Faltenbildung wird deutlich aufgezeigt, so wie sie sich dann auch am Bauteil finden ließ.

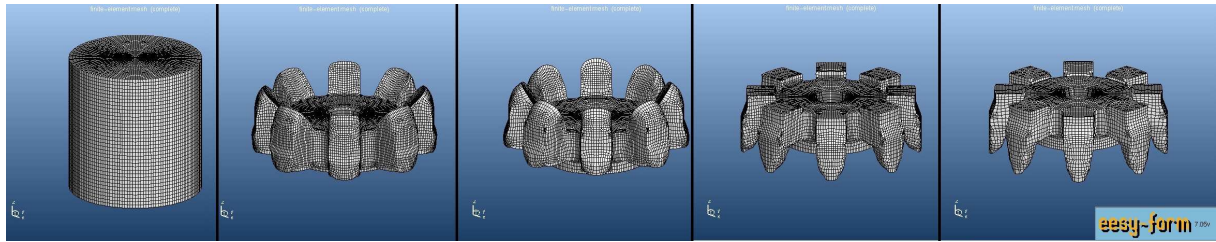


Bild 34: Untersuchte Fertigungsfolge

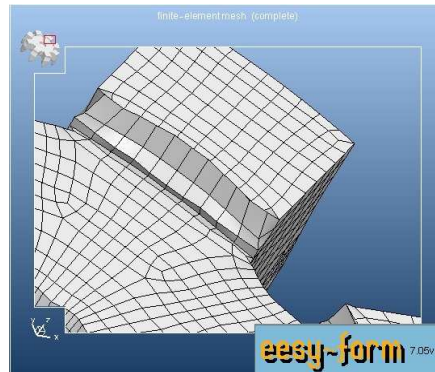


Bild 35: Entstehung der Falte während der Simulation



Bild 36: Falte an einem frühen Probeteil

Durch Simulation von Varianten konnte die richtige Auslegung gefunden werden und das Bauteil fehlerfrei gefertigt werden (Bild 33)

Weitere Teile die mit der vorgestellten Technologie gefertigt werden

Das folgende Bild zeigt noch eine Übersicht über Teile, die heute mit gleicher Technologie gefertigt werden.



Bild 37: Weitere gefertigte Teile

Zusammenfassung

Dieser Beitrag zeigt einen Überblick über Entwicklungen in der Technologie Fertigung unter Nutzung von Werkzeugen mit Kissen in der Kaltumformung in den letzten 20 Jahren und der dabei genutzten Anwendungen der FEM. Die Simulationen wurden mit den „easy“ Systemen der Firma CPM /3/ durchgeführt. Der Überblick ist sicherlich nicht vollständig.

Als Rück- und Ausblick, auch mit Blick auf die bevorstehenden Entwicklungen, ist er aber durchaus geeignet einen Eindruck von den stattgefundenen Entwicklungen bei Acopecas oder auch in Brasilien im Allgemeinen zu geben.

Literatur

/1/ Osen, W.:

Untersuchungen über das Quer-Napf-Vorwärts-Fließpressen
Dissertation Universität Stuttgart, Springer Verlag, Berlin, 1987, ISBN 3-540-17349-8

/2/ Biezl:

Rotor einer Klauenpolmaschine „Rotor der Klauenpolmaschine“
Eigenes Werk. Lizenziert unter Gemeinfrei über Wikimedia Commons -
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rotor_der_Klauenpolmaschine.png#mediaviewer/File:Rotor_der_Klauenpolmaschine.png

/3/ Arfmann, G.H., Twickler, M.:

easy-Simulationssysteme
Produktinformationen, Firma CPM GmbH, Herzogenrath, Deutschland, 2014
www.metalforming.de