

Prozeßauslegung und -optimierung von Metallumformprozessen einschließlich der Nutzung hydraulischer Kissen

Gerhard H. Arfmann, CPM GmbH, Herzogenrath, Deutschland
Pedro Schmitt, Acopecas, Guabiruba, Brasilien

Kurzfassung

Der Wettbewerb in der Kaltumformindustrie erfordert eine kontinuierliche Weiterentwicklung der Technologie, um zukünftigen Anforderungen zu genügen oder auch nur um auf veränderte Marktbedingungen zu reagieren.

Solche veränderten Bedingungen können beispielsweise sein:

- Preisveränderungen der Produkte am Markt
- Schwierigkeiten erforderliche Maschinen in der erforderlichen Zeit zu beschaffen
- Änderungen der Kosten des Vormaterials
- Verfügbarkeit von Werkzeugen
- Kleine Losgrößen oder starke Schwankungen der Losgrößen
- Möglichkeit neue Produkte zu fertigen, die normalerweise Maschinen erfordern, die nicht vorhanden sind
- Plötzlicher hoher Bedarf, aber keine Kapazität
- etc.

Mit hochentwickelter Technologie kann auf solche Anforderungen unter Nutzung geeigneten Prozeßdesigns und optimierter Werkzeugauslegung reagiert werden.

Dieser Beitrag zeigt Beispiel innovativer Prozessauslegungen auch unter Nutzung von Kissenwerkzeugen. Diese ermöglichen es, komplexe Schmiedeoperationen in nur einer Station durchzuführen. Es wird das Prinzip der Nutzung solcher Kissen an Beispielen erklärt.

Ein weiteres Thema ist die Substitution von Massivumformung durch Blechumformung. Dadurch können Bauteile in alternativen Prozessen gefertigt werden. So kann in Abhängigkeit der Verfügbarkeit oder des Preises des Vormaterials nach verschiedenen Verfahren gefertigt werden.

Ein weiteres Beispiel zeigt ein Verfahren, das es erlaubt, ein Bauteil auf einer wesentlich kleineren Maschine als bei Nutzung des konventionellen Verfahrens zu fertigen.

Erhöhung der Werkzeugstandzeiten durch Prozessänderungen oder Änderungen der Werkzeugauslegung ist ein weiteres wichtiges technologisches Ziel.

1. Einführung

Die Marktanforderungen in der Schmiedeindustrie stellen die Firmen vor immer größere Herausforderungen. Ideen sind gefragt, um anspruchsvolle Lösungen für Prozeß- und Werkzeugauslegung zu entwickeln, die helfen, Kosten zu reduzieren und neue Märkte zu erschließen. Flexibilität bei Nutzung vorhandener Maschinen ist notwendig, da Neuanschaffungen selten zu rechtfertigen sind und auf jeden Fall nicht kurzfristig zu realisieren sind.

Die Produktion muss effizienter erfolgen, um zu Marktpreisen produzieren zu können.

Diese Anforderungen fordern von den Ingenieuren neue Anstrengungen. Kreative Ideen und Innovation sind unverzichtbar.

Die hier gezeigten Fälle zeigen Beispiele, bei denen den Ingenieuren solche Lösungen gelungen sind.

Alle Beispiele sind reale Produktionsbeispiele.

2. Prozessinnovation durch Nutzung von Kissensystemen

Kissensysteme ermöglichen kombinierte Umformabfolgen in einer Schmiedeoperation.

Dämpfer

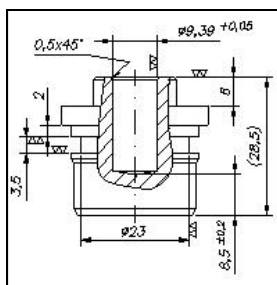


Bild 1: Dämpfer (Zeichnung und Bauteil)

Das Bauteil kann auf zwei Wegen gefertigt werden:

1. auf Mehrstufenpressen
2. unter Verwendung mehr komplexer Werkzeuge auf einer Einstufenpresse

Die Produktion auf Mehrstufenpressen ist teuer und erfordert hohe Stückzahlen, um rentabel zu sein. Deshalb mag Option zwei gegebenenfalls die bessere Lösung sein.

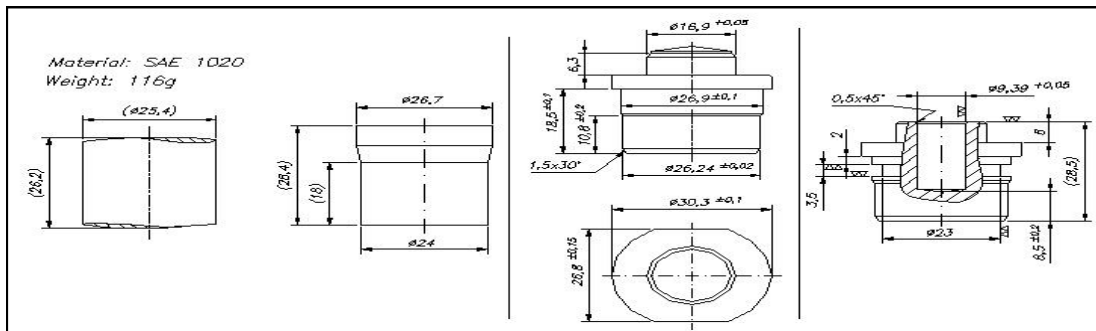


Bild 2: Konventionelle Fertigung

In einem Mehrstufenprozeß mag sogar eine Wärmebehandlung erforderlich sein.

Die Alternative ist ein einstufiger Prozesses unter Nutzung von Kissenwerkzeugen.

In einem solchen Prozeß benötigt man weniger Material und die maschinelle Nacharbeit kann reduziert werden. Auch kann der Kragen geformt werden.

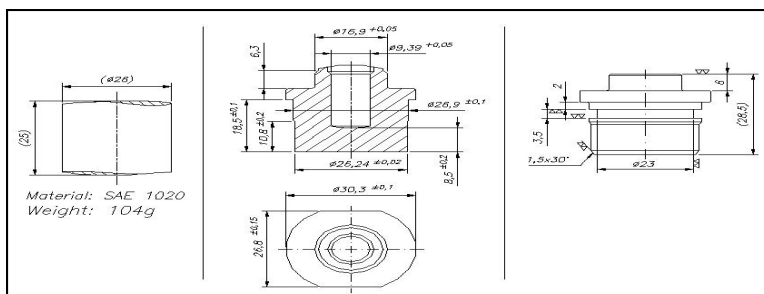


Bild 3: Einstufiger Prozeß

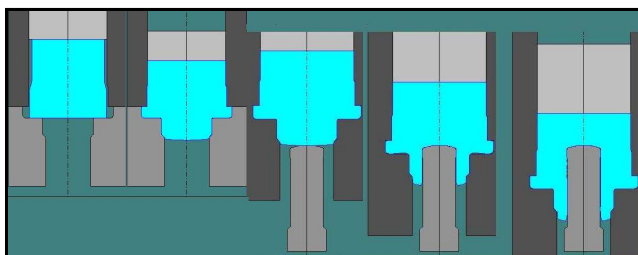


Bild 4: Die Simulationsbilder zeigen den Prozeßablauf [6]

Die benötigten Werkzeugbewegungen bei diesem Ansatz werden durch den Einsatz hydraulischer Kissen ermöglicht. Bei dieser Technologie ist es besonders wichtig, die Abläufe mit Hilfe der Simulation zu untersuchen bevor die recht teuren Werkzeuge gefertigt werden.

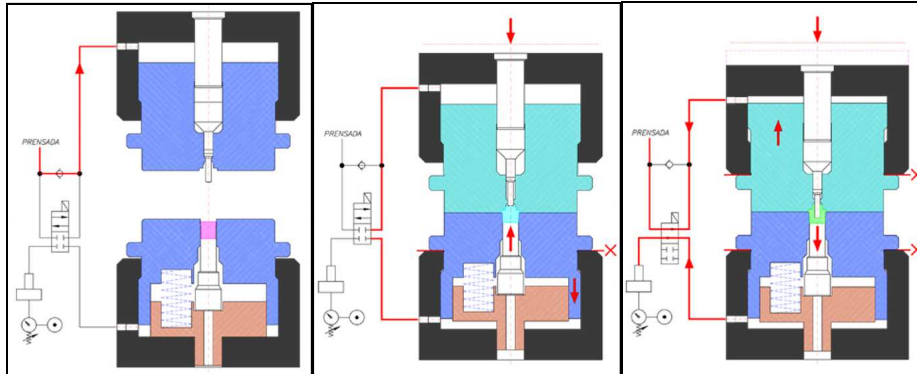


Bild 5: Steuerungsprinzip der hydraulischen Kissen

Zunächst wird stempelseitig das Kissen extern geladen. Dann wird dieses Kissen mit dem Kissen in der Matrize gekoppelt. Danach wird das Werkzeug geschlossen und die Presse beginnt zu arbeiten. Pin und Stempelkörper werden bewegt und der Auswerfer wird aufgrund des steigenden Drucks im unteren Kissen aufwärts bewegt. Nachdem die Kraft auf dem Auswerfer höher ist als die auf dem Pin, füllt das Material das Werkzeug von unten. Alle fünf Durchmesser des Teils werden geformt.

Dann werden die Kissen entkoppelt. Der Druck im oberen Kissen kann entweichen, während der Druck im unteren Kissen kontrolliert reduziert wird. Das Oberwerkzeug ist mit dem Pressendruck beaufschlagt und hält das Werkzeug geschlossen. Durch das kontrollierte Entladen des unteren Kissens wird die Kraft auf dem Auswerfer ca. 10% höher eingestellt als die auf dem Pin. Der Pin kann also von oben das Loch pressen, während der Auswerfer zurückweicht. Das ganze Bauteil ist plastisch.

Klauenpol

Ein weiteres Beispiel der Verwendung von Kissen ist die Herstellung eines Klauenpols.



Bild 6: Klauenpol

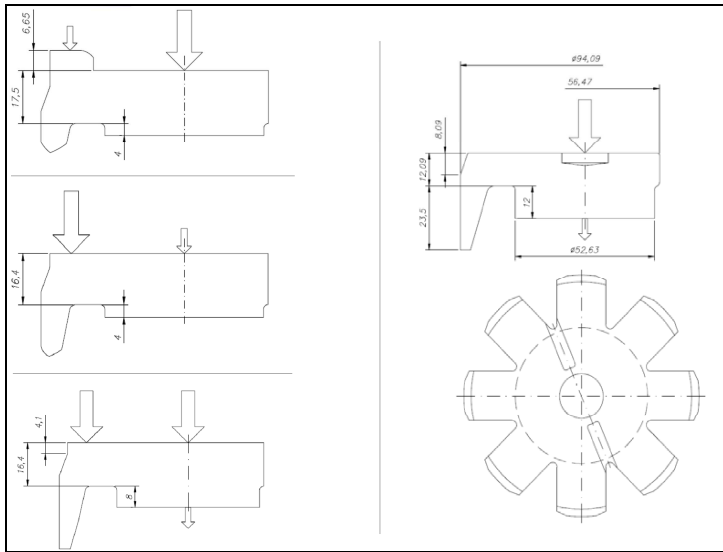


Bild 7: Zweistufige Herstellung eines Klauenpols

Das Bild 7 zeigt die Herstellung eines Klauenpols in zwei Stufen. Die erste Stufe ist unter Nutzung von Kissenwerkzeugen in drei aktive Phasen unterteilt und wird warm durchgeführt. Die zweite Stufe ist ein Kalibrieren im kalten Zustand.

Zur Definition der drei Phasen sind „aktive Bereiche“ während der Phasen zu definieren und zu berechnen. Insgesamt werden vier Kissen verwendet: drei im Oberwerkzeug und eines in der Matrize. Diese Auslegung wurde gewählt, um eine gute Kontrolle der Schmiedekräfte in der ersten Stufe zu ermöglichen.

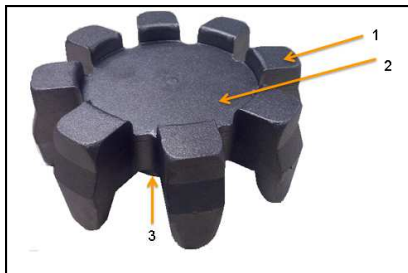


Bild 8: Die drei zu betrachtenden „aktiven Bereiche“



Bild 9: Die drei „aktiven Bereiche“ (Fläche 1 bis 3)

Es gibt ein erstes Kissen oben, das den Prozeß im Generellen steuert, so dass die Kraft der Presse während der ganzen Stufe konstant ist. Das Teil wird mit 45 Teilen pro Minute auf einer mechanischen 850 to Presse verpresst.

Ein zweites Kissen wirkt auf Fläche 1, ein drittes auf Fläche 2 und ein viertes auf Fläche 3.

Zunächst sind Kissen eins, zwei und vier aktiv. Der Materialfluß ist lateral nach oben und unten bis eine gewisse Presskraft erreicht ist. Dann wird der Druck in Kissen zwei reduziert, damit das Material vorwärts in die Matrize fließt. Schließlich wird Kissen vier entladen, so dass das Material im Bereich der Fläche drei ebenfalls in die Matrize fließen kann, bis die endgültige Form erreicht ist.

Während des ganzen Prozesses hält Kissen eins die Kraft bei 850 to.



Bild 10: Produktionsfolge des Klauenpols (Warm Schmieden und Kaltkalibrieren)

Teil mit Verzahnung

Dieses Teil kann bei Verwendung von Kissen auch in einem Schritt gefertigt werden.



Bild 11: Verzahnungsteil in einer Stufe gepresst



Bild 12: Ergebnisse einer Simulation (nicht in der Endposition und kopfstehend)

Die Simulation zeigt, dass das Teil im Wesentlichen durch Rückwärtsfließpressen in die Matrize gefertigt werden kann. Nachdem die Matrize gefüllt ist und die Verzahnung am Ende ausgeformt ist, wird die Hauptverzahnung oben geformt. Das wird durch ein hydraulisches Kissen ermöglicht, das es dem Auswerfer erlaubt, zurückzuweichen, während die Extrusion fortgeführt wird.

In der Konstruktion ist ein Kissen oben, welches das Werkzeug geschlossen hält bevor die Extrusion beginnt. Wenn das Gesenk gefüllt ist, wird das untere Kissen so entladen, dass die Kraft auf dem Auswerfer etwa 10% höher ist als die Kraft, die zum Formen der Bohrung im Bauteil benötigt wird. Wieder ist das Material während der Verformung vollständig plastisch und fließt nur in axialer Richtung. Auf diese Weise kann der Stempel den Auswerfer nahezu erreichen, ohne geschädigt zu werden. Das ermöglicht sehr dünne Wandstärken.

Formteil gefertigt mit einem Kissensystem

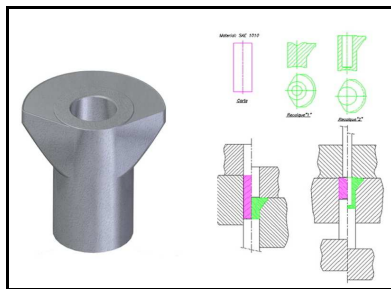


Bild 13: Prinzip der Fertigung des Formteils

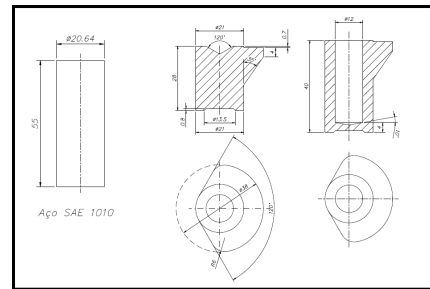


Bild 14: Stadiengang für das Formteil

Das Formteil wird in gleicher Art wie der oben angesprochene Dämpfer gefertigt.

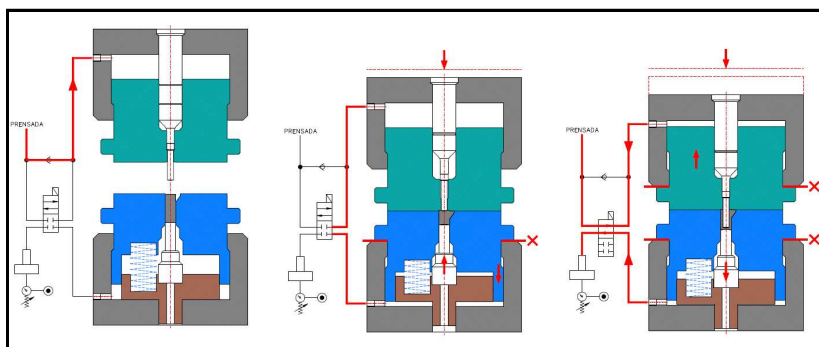


Bild 15: Prinzip der Werkzeugsystems mit hydraulischen Kissen

Wieder wird das erste Kissen extern geladen. Dann wird es mit dem Kissen in der Matrize gekoppelt. Der Werkzeug wird geschlossen und der Pin und der Stempelkörper bewegen sich weiter und das untere Kissen wird geladen, wodurch der Auswerfer angehoben wird. Da die Fläche, die den Auswerfer anhebt eine größere Kraft bewirkt als die auf dem Pin, füllt

sich das Werkzeug von unten. Dann gibt es das kontrollierte Entladen, das es dem Pin ermöglicht, in das Werkstück von oben einzudringen, während der Auswerfer zurückweicht.

3. Beispiele innovativer Ansätze

Der Ansatz ist es in diesem Fall, Bauteile, die normalerweise vom Draht oder von der Stange gefertigt werden, aus Blech zu fertigen. Das folgende Beispiel zeigt ein Bauteil, für das beide Prozesse alternativ entwickelt wurden.

Produktion eines Rotors

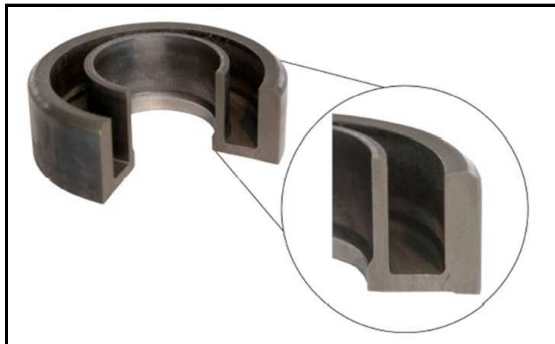


Bild 16: Herzustellender Rotor

Produktion vom Stab

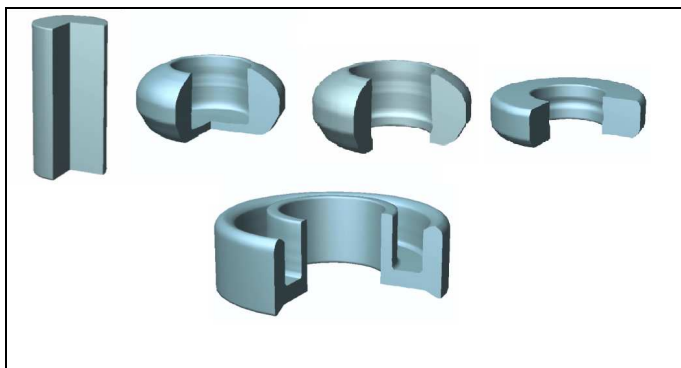


Bild 17: Fertigung des Rotors vom Stab

Die erste Operation ist ein kombiniertes Stauchen und Rückwärtsfließpressen. Die Parameter dieser Operation liegen ausserhalb der aus der Literatur bekannten Grenzen. / 6 /

Der erste Produktionsversuch schlug fehl. Eine genauere Studie der Simulationsergebnisse

zeigte die Ursache auf. Eine geringfügige Modifikation der Stufe behob das Problem.

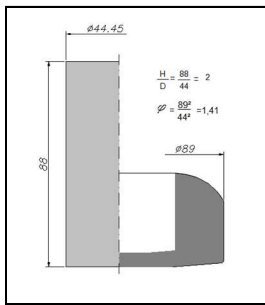


Bild 18: Erste Operation

Bild 19: Werkstoffversagen in der ersten Operation

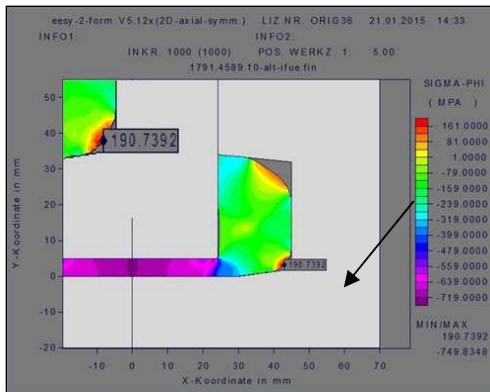


Bild 20: Tangentiale Zugspannungen im stark verformten Bereich erklären das Versagen

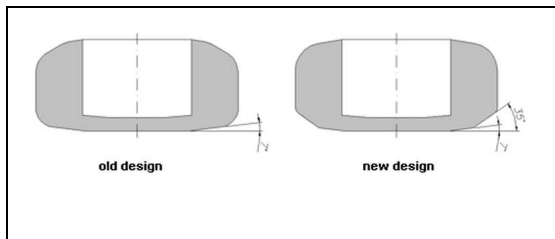


Bild 21: Altes und modifiziertes Design

Die Idee war es, die Tangentialspannungen im Druckspannungsbereich zu halten. Die in der Simulation untersuchte Modifikation des Winkels zeigte deutlich reduzierte Spannungen.

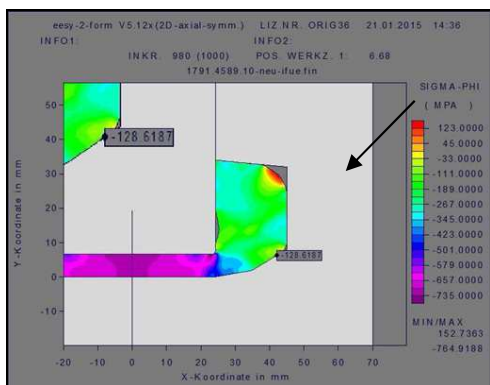


Bild 22: Tangentialspannungen in der geänderten Auslegung sind im Druckbereich



Bild 23: Produktionsversuch mit der neuen Form

Produktion vom Blech

Die Idee war, ein Verfahren zur Herstellung des Teils aus Blech zu entwickeln, um für den Fall von starken Schwankungen des Marktpreises für das Rohmaterial auf eine Alternative ausweichen zu können.

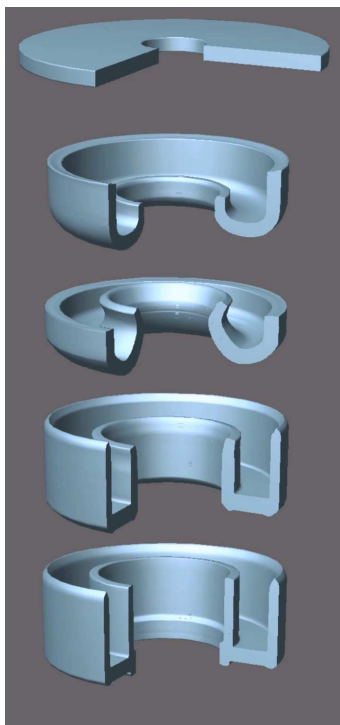


Bild 24: Fertigung des Rotors aus Blech

Die Simulation zeigte, dass eine solche Fertigung aus Blech ohne Probleme möglich sein würde. Das wurde im Versuch bestätigt. Nun waren zwei Produktionsmethode verfügbar, die je nach Marktlage eingesetzt werden können.

4. Beispiele der Innovation durch Verwendung eines ungewöhnlichen Prozesses

Bremskolben

Solch ein Teil wird üblicherweise durch Rückwärtsextrusion in der letzten Stufe gefertigt. Nach dem Aufstauchen auf den notwendigen Durchmesser wird gegebenenfalls eine Glühung und dann eine gewöhnliche Rückwärtsfließoperation durchgeführt.

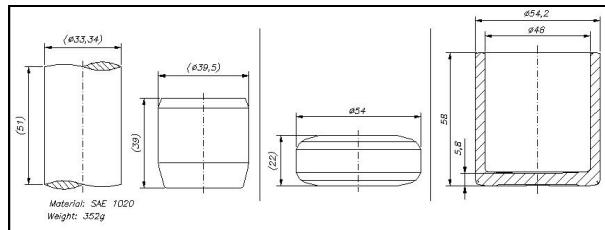


Bild 25: Konventionelle Methode zur Herstellung eines Bremskolbens

Die Idee war, den „Osen-Prozeß“ /5/ (Quer-Hohl-Vorwärts-Fließpressen) einzusetzen, was in der Literatur allerdings nur für Aluminium beschrieben ist.

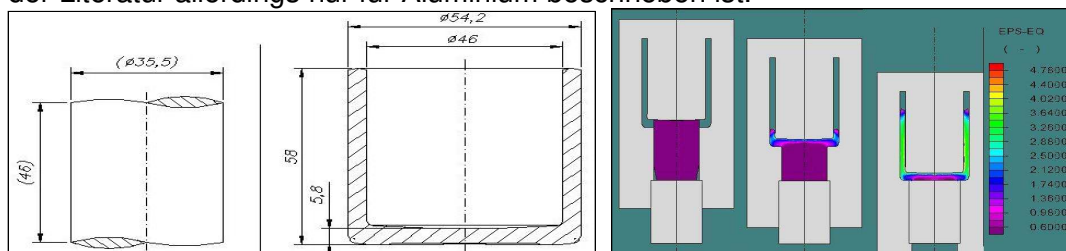


Bild 26: Prozeßdesign gemäß „Osen-Prozeß“

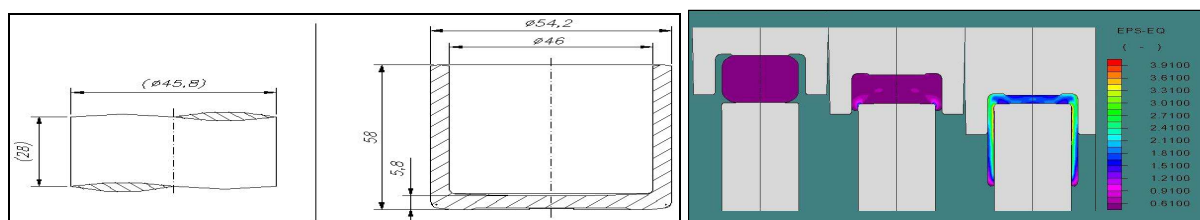


Bild 27: Design mit Rückwärtsfließpressen

Von einigen Einflüssen (wie z.B. Reibung) abgesehen, benötigen beide Prozesse die gleiche Arbeit, um das Bauteil zu formen.

Hier kommt der wesentliche Vorteil des „Osen-Prozesses“ zum Tragen. Durch den geringeren Einsatzquerschnitt wird wesentlich weniger Kraft benötigt, so daß die Fertigung auch auf einer kleineren Maschine erfolgen kann, falls der größere Hub verfügbar ist.

Die Arbeit ist in etwa 65 kNm.

Der „Osen-Prozess“ benötigt 180 to, während der konventionelle Prozeß 450 to benötigt.

5. Werkzeugstandzeitverbesserung

Ventilstößel

Nach Fertigung der Vorform wird nach dem Phosphatieren eine einzige Operation bei 600°C durchgeführt.

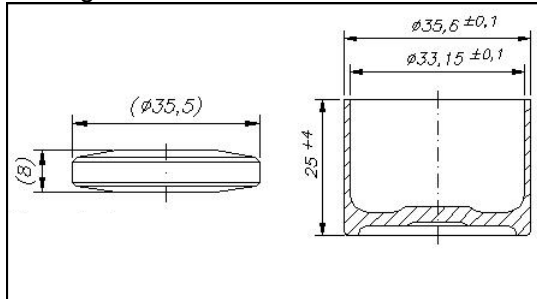


Bild 28: Fertigstufe zur Fertigung des Ventilstößels

In dieser Stufe war die Standzeit des Werkzeugs nicht zufriedenstellend.



Bild 29: Bereich der Brucheinleitung

Punches	pices	average tool life
104	1.723.626	16.573

Bild 30: Standzeiten in der Produktion

Eine simulationstechnische Studie zeigte kritische Spannungen am Bruchentstehungsort im Verlauf der Umformung.

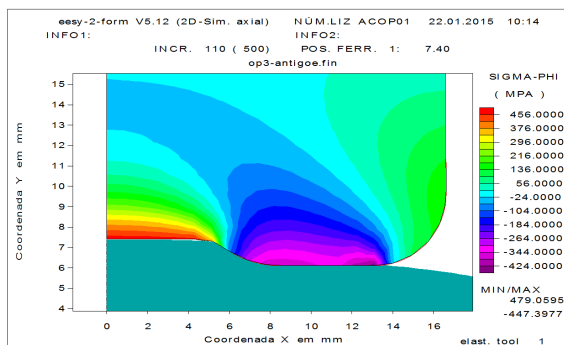


Bild 31: Positive Tangentialspannung im Bereich der Bruchentstehung

Die Idee kam auf, dieser Spannung durch eine geänderte Vorform entgegenzuwirken.

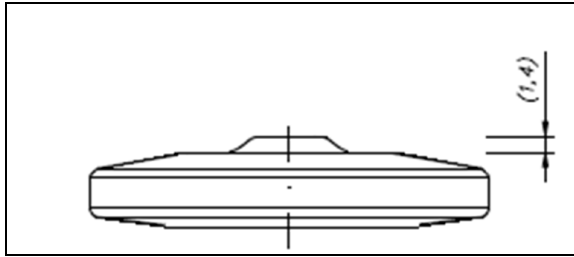


Bild 32: Geänderte Vorform

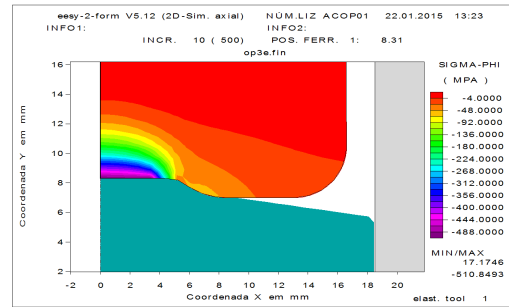


Bild 33: Tangentielle Druckspannung

Die Simulation zeigt tangentielle Durchspannungen im ehemaligen Bruchentstehungsbereich. Bild 34 zeigt die aktuellen Werkzeugstandzeiten.

Die durchschnittliche Werkzeugstandzeit konnte um das 13-fache gesteigert werden.

Operação	Descrição	Data	Data		quantidade	vida
012	Punção furo	entrada	Saida		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 34: Neue Werkzeugstandzeiten

Schraube mit „Six Lobe“ Kraftangriff

Bei der Produktion von E10 Schraubenköpfen bedarf die Konstruktion der Stempel einiger Aufmerksamkeit. Sehr oft erreicht die Standzeit der Stempel nur einige 100.000 Schrauben. Die Stempel versagen häufig durch Einreißen des Hartmetalls. Das Armieren solcher Stempel ist deshalb neben der Auswahl des Hartmetalls entscheidend für die Standzeiten.

Ziel ist es, Stempel verfügbar zu haben, die nicht reißen und deren Produktionsergebnis im Toleranzbereich bei den Minimalwerten startet und dann durch Verschleiß möglichst langsam die Maximalwerte und damit die Verschleißgrenze erreicht.

Das ist in der Praxis leider nicht der Normalfall. Stempel brechen häufig deutlich bevor sie Ihre Verschleißgrenze erreicht haben.

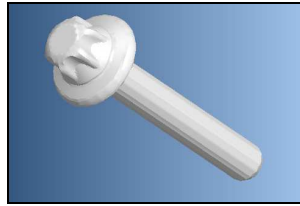


Bild 35: E10 Schraube und Simulationsmodell

Durch systematische Untersuchung des möglichen Armierungsverbunds (einfach, zweifach, Schrumpfmaße, Werkstoffe, Härten..) kann zumindest ein Design gefunden werden, welches den Bruch vermeidet.

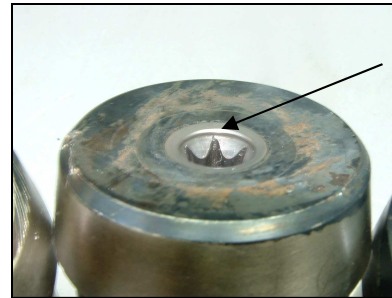
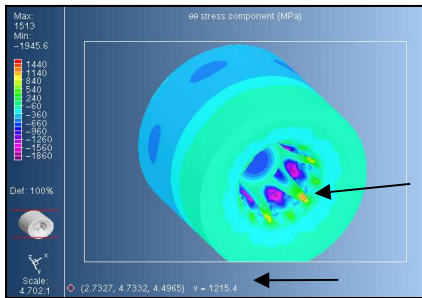


Bild 36: Lokale tangentielle Zugspannungen

Bild 37: Typische Riss

In dieser Auslegung mit einer Vorspannung von 400 MPa auf dem Hartmetall erfährt er hohe Tangentialspannungen. Diese führen zum typischen Bruch wie in Bild 37.

Durch Nutzung eines Programms, welches es erlaubt die Auslegung einer Armierung zu berechnen und zu optimieren kann der Ingenieur eine solche berechnen und dann in einer Simulation überprüfen.

Anforderungen		Einsatz		Schrumpfling	
Innendurchmesser Di	10.00 mm	Werkstoffname	G 40	Werkstoffnummer	1.2344, 43S
Aussendurchmesser Da	45.00 mm	Werkstoffnummer		E-Modul [MPa]	210000
Fugendurchmesser Df	20.00 mm	E-Modul [MPa]	510000	Passenweite Zahn [1:]	0.25
Schrumpflaß S1	0.120 mm	Passenweite Zahn [1:]	0.23	Zugfestigkeit [MPa]	1470.0
Innendruck Pi	0.0 MPa	Zugfestigkeit [MPa]		Streckgrenze [MPa]	1470.0
Fugendruck Pf	544.4 MPa	Streckgrenze [MPa]		Auflasttemperatur [°C]	600
Konuswinkel	1.0 °	Vergleichsspannung [MPa]	1451.6		
Passweg	3.44 mm	Tangentialspannung [MPa]	-1451.6		
		Vergütung von Di = (S1)	-0.08 mm	Gesamtänderung von Di	-0.08 mm
		Aufhäufung von Di = (Pf)	0.006 mm	Gesamtänderung von Da	0.056 mm

Bild 38: Optimierte Auslegung

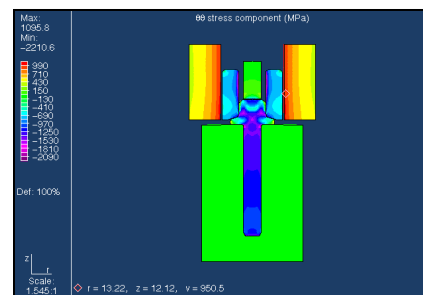
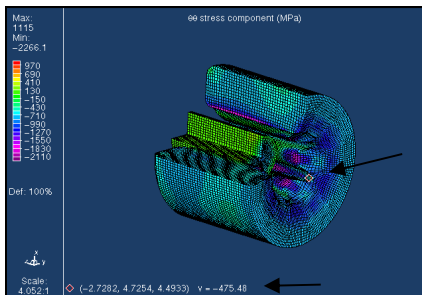


Bild 39: Negative Tangentialspannung unter Last

Bild 40: Übersicht Werkzeug



Bild 41: Werkzeug in der Produktion

Dieses Werkzeug produziert im Schnitt 2.000.000 Teile und ist dann verschliffen. Eine Optimierung des Hartmetalls mag noch eine weitere Steigerung bringen.

6. Schlussbemerkung

Der Vortrag hat Beispiele gezeigt, wie mit guter Ingenieurkenntnis, mit neuen Ideen, dem Willen, neue Dinge auszuprobieren und der entsprechenden Nutzung verfügbarer Software Hilfsmittel die Anforderungen des Marktes gemeistert werden können. Neue Prozesse können entwickelt werden, Werkzeuge mögen anders konstruiert werden und die Effizienz der Umformprozesse kann gesteigert werden.

Kaltumformung hat nach wie vor ein hohes Potential für zukünftige Entwicklungen.

Der Beitrag mag die Umformbetriebe anregen, vorwärts zu denken und verfügbare Technologien einzusetzen, um damit den steigenden Anforderungen gerecht zu werden.

7. Literatur

- [1] Schmitt, Arfmann, Pinotti
Design and Optimization of metal forging processes including the use of hydraulic cushion systems
ICFG 49th Plenary Meeting, Stuttgart, Germany 2016

- [2] Preßkraftermittlung für das Hohl-Vorwärts-Fließpressen von Stahl bei Raumtemperatur.
VDI 3185 Blatt 3

- [3] ICFG – International Cold Forging Group
Warm Forging of Steels
Document No. 12/01, ICFG, 2001

- [4] Osen, Walter,
Untersuchungen über das kombinierte Quer-Napf-Vorwärts-Fließpressen, Universität Stuttgart – Institut für Umformtechnik, 1986.

- [5] Osen, W.; Kammerer, M.; Dannemann, E.; Balbach, R.; Lange, K.
Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen eines Hohlkörpers mit Zapfen. Deutsche Patentschrift DE 3513960 C2, 1985.

- [6] Kurt Lange, Manfred Kammerer, Klaus Pöhlandt, und Joachim Schöck:
Fließpressen – Wirtschaftliche Fertigung metallischer Präzisionswerkstücke.
Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008, [ISBN 978-3-540-30909-3](https://doi.org/10.1007/978-3-540-30909-3)

- [7] G. H. Arfmann, M. Twickler
„eesy“ Simulationssoftware
CPM Gesellschaft für Computeranwendung, Prozeß- und Materialtechnik mbH
Herzogenrath, 2016