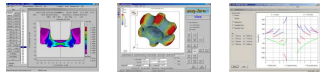


Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.

*Dr. Gerhard H. Arfmann, Dr. Michael Twickler
CPM GmbH, Herzogenrath, Germany*



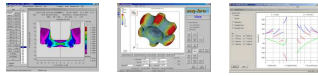
Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.

Abstrakt:

Simulationstechnik ist heute Stand der Technik in der
Prozessauslegung für Kaltumformprozesse.

Die in der Simulation gewonnenen Erkenntnisse können unter
anderem auch für die Optimierung des im Umformprozess
zum Einsatz kommenden tribologischen Systems verwendet
werden

Dieser Beitrag stellt dar, wie die Simulationstechnik genutzt
werden kann, um tribologische Systeme, so auch
phosphatfreie Einschichtsysteme, zu realisieren und zu
optimieren.



Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.

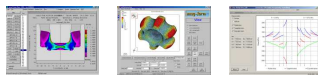
Einleitung

Die Simulation hilft dem Ingenieur bei der Auslegung von Umformprozessen. Er benutzt dabei Kennwerte zur Beschreibung der Reibung zwischen Werkstück und Werkzeug.

Diese entsprechen in der Regel Erfahrungswerten, die sich als genau genug herausgestellt haben.

Aus der Simulation können dabei Kennwerte gewonnen werden, die eine Optimierung des tribologischen Systems ermöglichen und damit letztendlich wieder zu anderen Reibwerten führen.

Der Beitrag schildert die Zusammenhänge und zeigt auf, wie die Simulation hilfreich bei der Umsetzung neuer tribologischer Systeme eingesetzt werden kann.



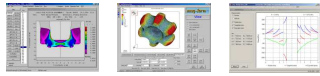
Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.

Berücksichtigung der tribologischen Gegebenheiten in der Simulation

In der Kaltumformung müssen die Materialien des Werkstücks und des Werkzeugs durch ein tribologisches System voneinander getrennt werden.

In der Regel geschieht dies durch eine Phosphatschicht als Schmiermittelträger und ein darauf aufgebrachtes Öl. Auf das resultierende Reibverhalten wirkt sich auch die Oberflächenstruktur und die Rauigkeit der Oberflächen aus, um nur einige Einflussparameter zu nennen.

Neuere Entwicklungen versuchen auch andere Systeme zum Einsatz zu bringen, um die Phosphatierung zu vermeiden.



Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.

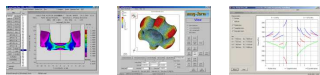
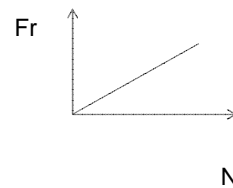
In einer Simulation wird die Reibung zwischen Werkzeug und Werkstück in der Regel durch ein Reibgesetz beschrieben.

Reibgesetz nach Coulomb

Coulomb:

$$F_r = \mu * N$$

Fr: Reibkraft
 μ : Reibwert
N: Normalkraft



Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.

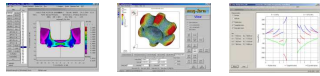
Gesetz der maximalen Schubspannung

$$\tau = m * k$$

τ : Schubspannung

**m: Proportionalitätsfaktor
(reibungabhängig)**

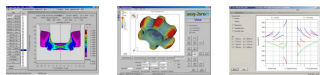
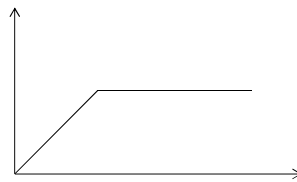
k: Schubfließgrenze



Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.

Kombiniertes Reibgesetz

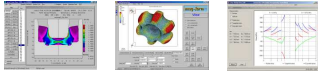
Beide erwähnten Reibgesetze haben unterschiedliche Gültigkeitsbereiche, die sich auch überlappen können. Deshalb wird heute in vielen Simulationsprogrammen mit kombinierten Reibgesetzen gearbeitet, die es den Systemen erlaubt, in Abhängigkeit der herrschenden Spannungen, das Reibgesetz kontinuierlich anzupassen.



Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.

Einflüsse auf die Reibfaktoren

- der lokal herrschende Druck
- die örtliche Temperatur
- die Oberflächenvergrößerung
- die örtliche Relativgeschwindigkeit
- die Rauigkeit der Oberflächen
- die Viskosität des Schmiermittel
- der Schmiermittelträger
-



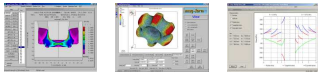
Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.

Die Faktoren μ und m in der Praxis

In der Praxis lassen sich die Reibwerte auf relativ enge Wertebereiche eingrenzen, wenn man übliche Tribosysteme voraussetzt.

So lassen sich viele einfache Umformvorgänge wie das Herstellen von Muttern und Schrauben aus phosphatiertem Stahldraht unter Verwendung geeigneter Öle mit wenig schwankenden Reibwerten ausreichend zuverlässig berechnen.

Schwierig wird es immer in Grenzbereichen oder bei komplexen Verformungen.



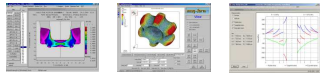
Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.

Reduktion

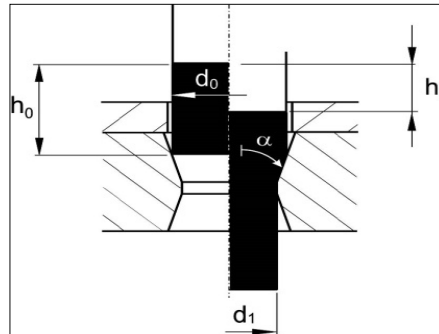
Derartigen Grenzen können in dem Verfahren liegen wie zum Beispiel die Reduzierbarkeit von Stahllegierungen. Werden Grenzbereiche der Reduktion erreicht, so hängt es neben anderen Prozessparametern wie dem Maß der Reduktion, der Materialbeschaffenheit, der Werkzeuggeometrie, der Oberflächenbeschaffenheit etc. davon ab, ob das verwendete Öl die Fähigkeiten besitzt, die nötig sind, um den gewünschten Reibwert zu erreichen.

Einschlägige Forschungsarbeiten haben die verschiedensten Reibkonstellationen untersucht /1/.

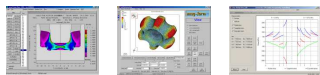
Begleitend durchgeführte Simulationen ließen Rückschlüsse auf den zu verwendenden Reibkoeffizienten zu, so dass heute in der Reduktion sehr gut zwischen Simulation und zu verwendendem Schmiermedium korreliert werden kann.



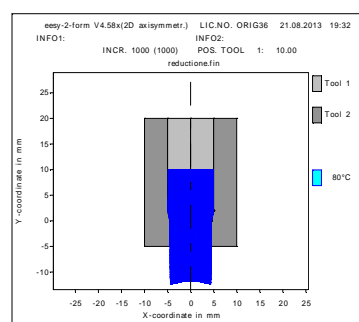
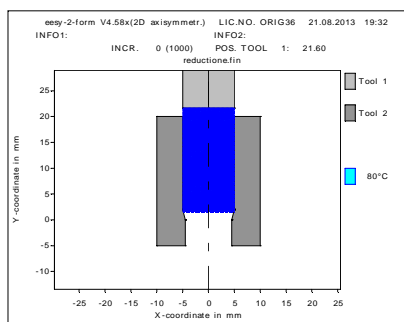
Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.



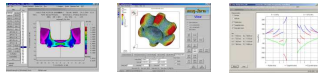
Prinzip der Reduktion



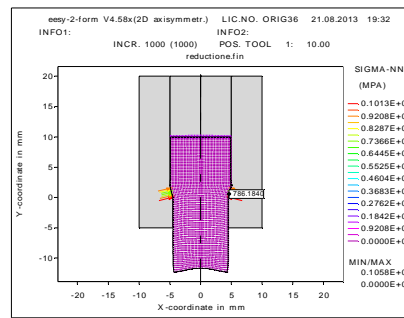
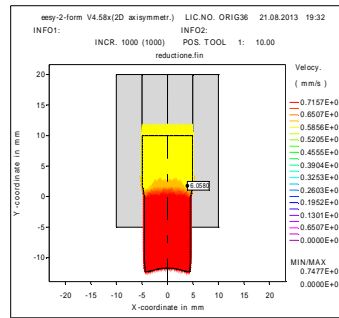
Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.



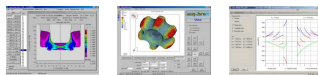
Reduktion



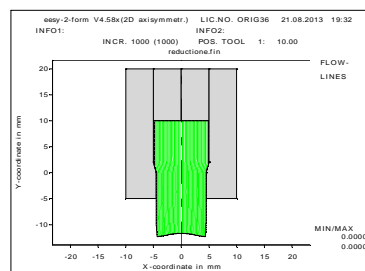
Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.



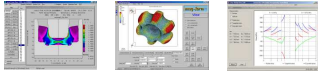
Reduktion



Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.



Reduktion



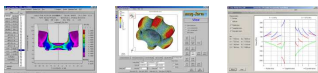
Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.

Fließpressen

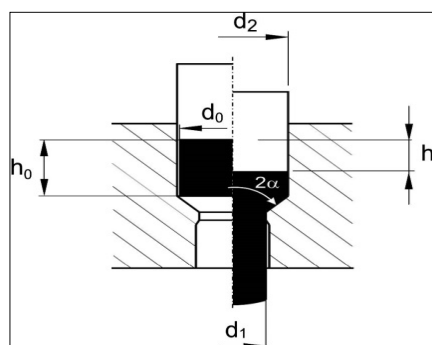
Ein völlig anderer Prozess ist das Fließpressen.

Hier ist der Erfolg nicht nur vom zu pressenden Material und dem Grad der Reduktion abhängig. Es ist vielmehr die Länge des Bauteils im nicht reduzierten Bereich entscheidend, da in diesem Bereich durch den Werkzeugkontakt in der Matrize erhebliche Drücke aufgebaut werden, die die Maschine überfordern oder aber auch die Werkzeuge überlasten können.

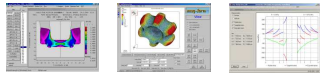
Neben einer Optimalen Auslegung der Werkzeuge ist deshalb oft die Wahl eines geeigneten Tribosystems für den Erfolg entscheidend.



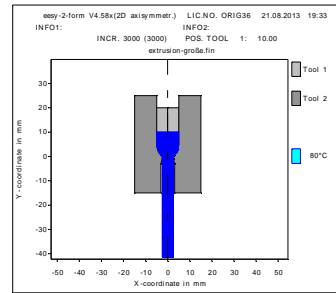
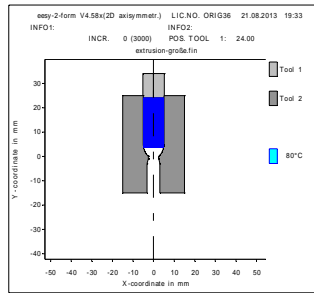
Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.



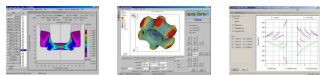
Prinzip des Fließpressens



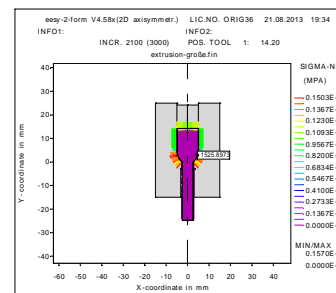
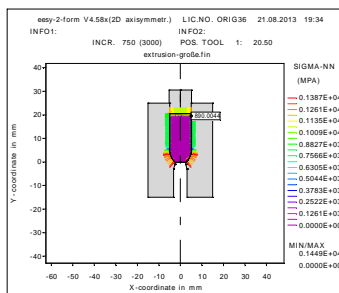
Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.



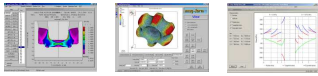
Fließpressen



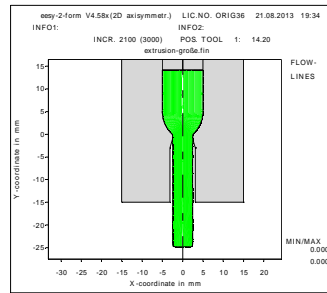
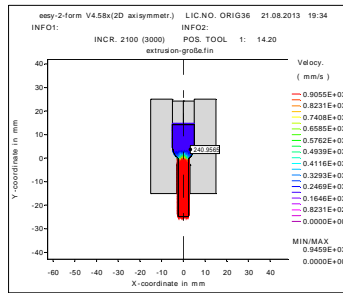
Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.



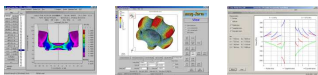
Fließpressen



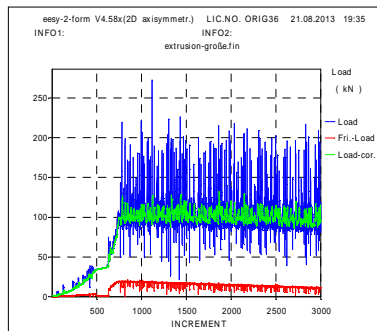
Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.



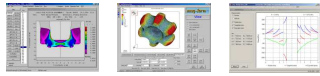
Fließpressen



Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.



Fließpressen



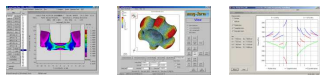
Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.

Nutzung von Simulationsergebnisse zur Wahl eines geeigneten Tribosystems

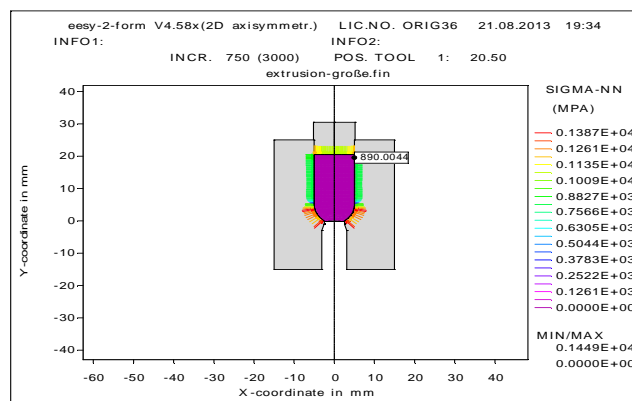
Das Beispiel des Fließpressens ist gut geeignet um darzustellen, warum die Simulation bei der Auswahl eines Tribosystems sehr hilfreich sein kann.

Aus einer Standardrechnung können zunächst die generellen Verhältnisse während der Umformung ermittelt werden. Stellen sich die lokalen Drücke als für eine erfolgreiche Werkzeugkonstruktion zu hoch heraus, so kann an der Modifikation des Schmiermittels zur Reduzierung des Innendrucks gearbeitet werden. Es wird ein Schmiermittel benötigt, welches unter hohem Druck bei hoher lokaler Relativgeschwindigkeit bestmögliche Resultate liefert. Andere Einflüsse spielen eine mehr untergeordnete Rolle.

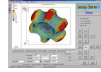
Betrachtet man das Fließpressbeispiel etwas genauer, so sind unter anderem der Innendruck im Werkzeug und die Presskraft interessant.



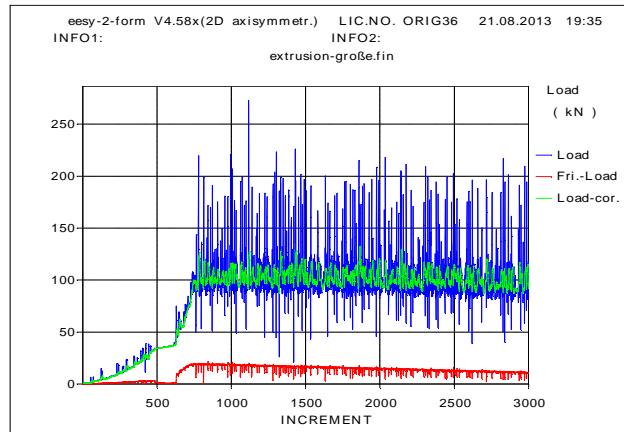
Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.



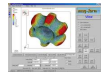
Innendruck an einer Referenzstelle



Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.



Kraftverlauf während des Fließpressens

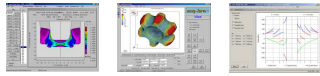


Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.

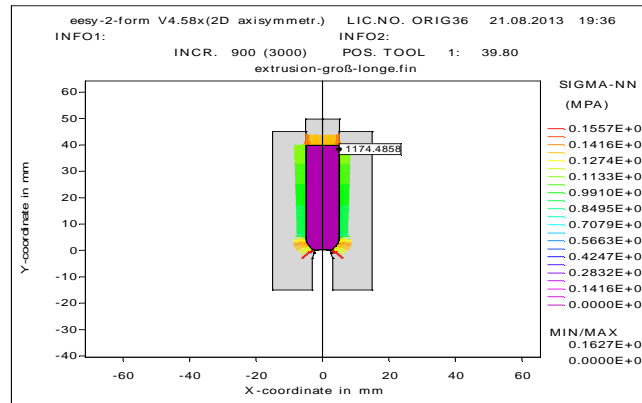
Wird nun der gleiche Umformvorgang für ein längeres Bauteil durchgeführt, so ändern sich diese beiden Größen aufgrund der größeren Kontakt- (und damit Reib-) fläche.

Es wird eine höhere Presskraft benötigt und der Innendruck steigt. Die Reibkraft ist gegenüber dem vorigen Beispiel deutlich erhöht.

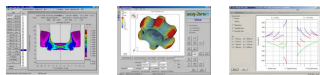
Dies erfordert eine aufwendigere Werkzeugkonstruktion und eine stärkere Maschine.



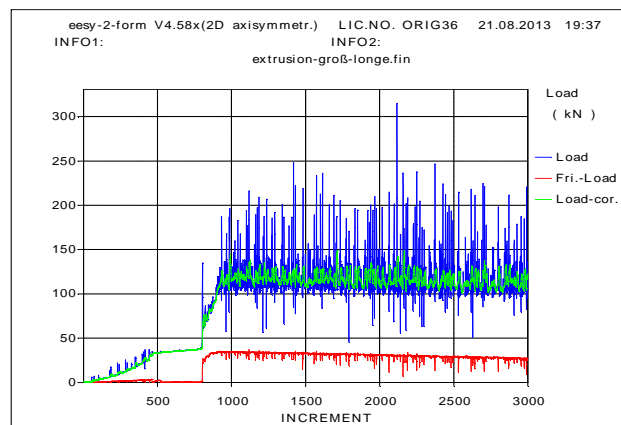
Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.



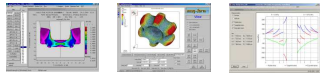
Langes Bauteil – Innendruck an einer Referenzstelle



Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.



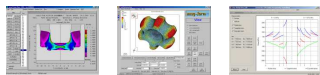
Kraftverlauf während des Fließpressens



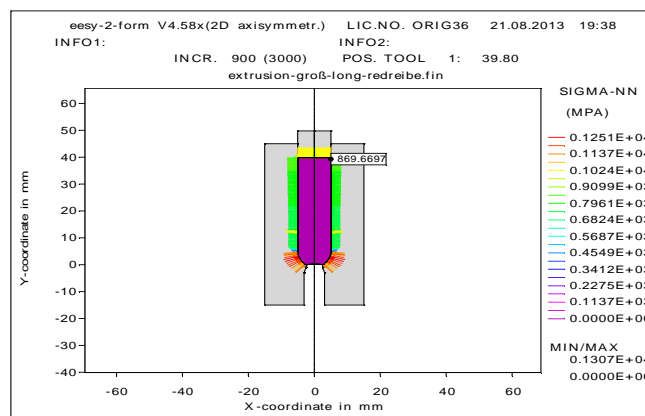
Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.

Ist man dagegen in der Lage durch Einsatz eines anderen Schmier-systems die Reibung zu verringern, so kann ggf. die gleiche Maschine und ein Standardwerkzeug eingesetzt werden.

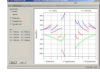
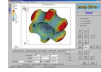
Die folgenden Bilder zeigen den Druck an der Referenzstelle und den Kraftverlauf während des Pressen für das längere Bauteil bei verbessertem Schmiermittel.



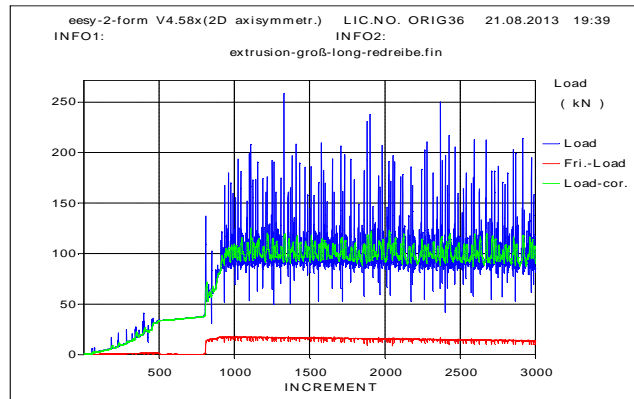
Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.



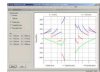
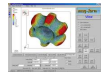
Langes Bauteil – Innendruck an einer Referenzstelle
– reduzierte Reibung



Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.



Kraftverlauf während des Fließpressens – langes Bauteil
- reduzierte Reibung



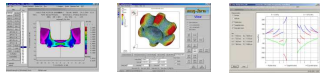
Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.

Der Einfluss scheint auf den ersten Blick nicht so groß zu sein. Immerhin ist die Reduktion der Presskraft rund 20 to und der maximale Innendruck wurde um 300 MPa gesenkt.

Dies bedeutet ggf. eine kleinere Maschine auf jeden Fall aber eine einfachere Werkzeugausführung.

Das erstere mag manchmal das K.O. Kriterium sein falls keine größere Maschine vorhanden ist.

Das letztere bedeutet aber auf jeden Fall geringere Kosten.



Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.

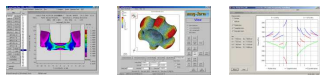
Rückwärtsfließpressen

Betrachtet man dagegen einen Rückwärtsfließpressprozess, so hat man am Stempel sehr unterschiedliche Verhältnisse.

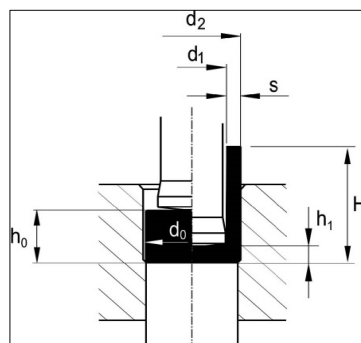
Innen herrscht hoher Druck und fast keine Relativgeschwindigkeit zwischen Material und Werkzeug.

Außen schert das Material an der Stempelkante und erwärmt sich sehr stark.

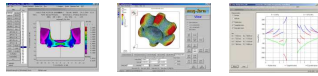
Auch kommt es hier zu einer sehr großen Oberflächenvergrößerung.



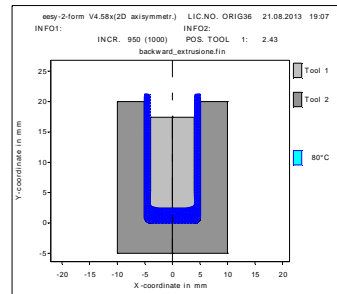
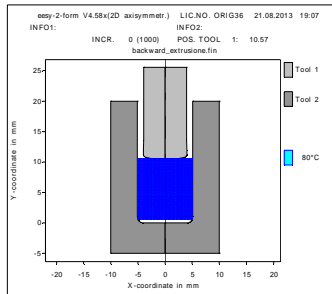
Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.



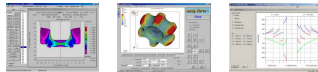
Prinzip des Rückwärtsfließpressens



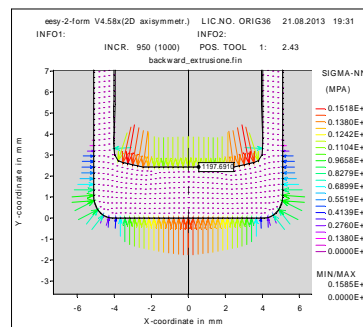
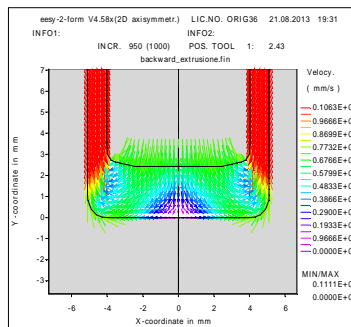
Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.



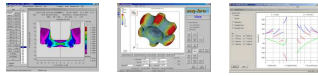
Rückwärtsfließpressen



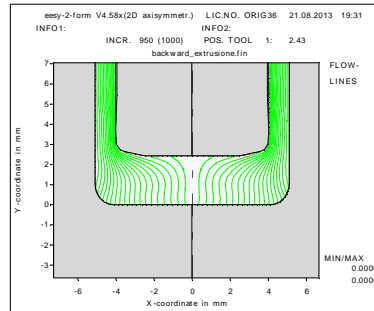
Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.



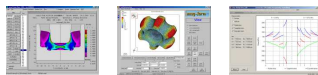
Rückwärtsfließpressen



Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.



Rückwärtsfließpressen



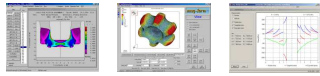
Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.

Die zu beachtenden Einflüsse bei der Wahl eines geeigneten Tribosystems unterscheiden sich also erheblich von denen beim Vorwärtsfließpressen.

Es sind also gänzlich andere Anforderungen unter anderem an die Temperaturbeständigkeit des Öls zu stellen.

Soweit sollten nur einige Aspekte des Zusammenspiels zwischen Simulation und Tribologie angesprochen werden.

Aktuelle Forschungsarbeiten setzen sich intensiv mit diesem Thema auseinander.

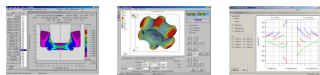


Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.

Forschungsansätze zur systematischen Auswahl eines geeigneten Tribosystems

Es gibt heute Forschungsansätze, die die aus den Ergebnissen einer FEM Simulation gewinnbaren Wertekollektive systematisch auszuwerten versuchen, um die geeignete Wahl eines Schmiermittels oder eines Schmierensystems treffen zu können.

Ein solcher Ansatz ist das Forschungsprojekt Triboanalyser/Triboselektor der Tribotec in Kooperation mit CPM, der Universität Darmstadt und weiteren industriellen Partnern.

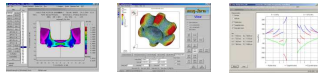


Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.

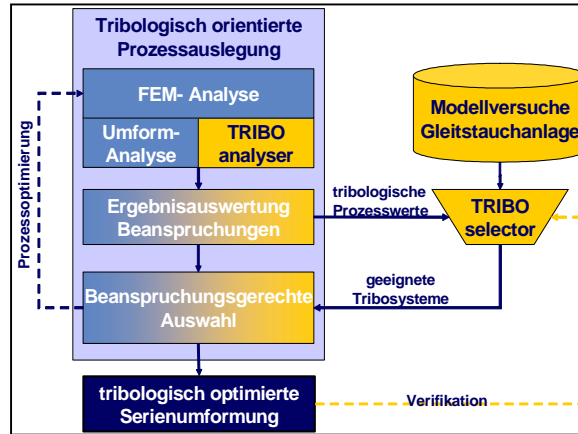
Es soll ein System entstehen, das in der Lage ist, ausgehend von den aus einer FEM Rechnung gewonnenen Wertekollektiven und tribologischem Fachwissen geeignete Tribosysteme vorzuschlagen.

Ausgehend von der Simulation werden die Ergebnisse analysiert und aufbereitet. Sie werden dann an einen „Selector“ übergeben. Dieser ist mit Informationen aus Modellversuchen gefüttert und ist damit in der Lage ein geeignetes Tribosystem vorzuschlagen.

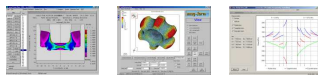
Wie oben bereits erwähnt ändern sind damit allerdings auch die Randbedingungen für die Simulation, so dass auch eine Prozessoptimierungsschleife vorgesehen ist, über die dann der tribologisch optimierte Prozess gefunden wird.



Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.



Schema der tribologisch orientierten Prozessauslegung /1/



Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.

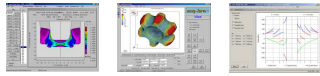
Beachtung anderer Einflüsse auf den Prozess Erfolg

Als Beispiel sei hier ein Fall erwähnt, in dem rostfreies Material mehrfach reduziert werden sollte. Es war die Frage zu klären, ob das mit dem Material gemacht werden kann und spezielle Beschichtungen und/oder Öle erforderlich sind.

Durchgeführte Simulationen zeigten, dass die Prozesse grenzwertig waren (das Material stauchte während den Reduktionen geringfügig auf, reduzierte jedoch noch wie gewünscht). Beratungen mit den Materiallieferanten und einem Tribospezialisten ließen hoffen.

Zu Sicherheit wurde beschlossen Tests im Labor durchzuführen, um zu sehen, ob sich das Material unter Verwendung des gewählten Tribosystems wirklich reduzieren lassen würde.

Und es tat es tatsächlich – im Labor.....



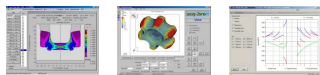
Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.

In der Praxis ließ sich der Prozess jedoch nicht realisieren und musste aufgegeben werden.

Der Grund war die Unmöglichkeit die Werkzeuge in der Produktionsmaschine in der erforderlichen Genauigkeit auszurichten oder einen ausreichenden guten Abschnitt herzustellen. Nach der ersten Reduktion war das Bauteil „etwas“ krumm.

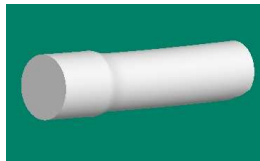
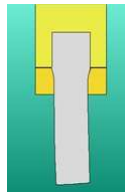
Das genügte allerdings, um in der folgenden Operation eine korrekte Reduktion zu verweigern.

Solche Spezialfälle treten in der Praxis immer wieder auf. Deshalb ist es erforderlich mit ausreichendem Übersichtswissen an ein Projekt heranzugehen.

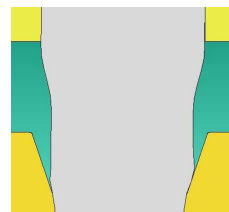


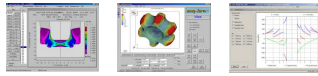
Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.

Studien zu Fehladjustage in 3D haben den Zusammenhang bestätigt.



Der reale Abschnitt wird bei leichter Fehladjustage zu einem leichten Bogen gepresst (oben). In der zweiten Stufe versagt dann die Reduktion (Bild rechts).





Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.

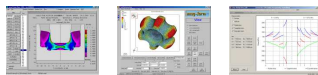
Zusammenfassung

Im Generellen ist die Simulation ein gutes und effizientes Hilfsmittel um dem erfahrenen Tribofachmann Kennwerte an die Hand zu geben, mit denen er sein Tribosystem je nach Anforderung anpassen kann.

Grundlegende Tests sind unabdingbar, um den Einfluss der aus der FEM Simulation kommenden Prozesswerte auf die jeweilige Tribosysteme beurteilen zu können.

Neue Systeme wie die angesprochenen phosphatfreien Einstoffsysteme sind grundlegend zu testen, um die relevanten Einflussgrößen beurteilen zu können.

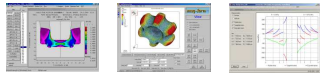
Dann ist die Simulation in der realen Umsetzung eines tribologischen Systems das ideale Hilfsmittel, um diese Größen zur Verfügung zu stellen.



Die Simulation als Hilfsmittel für die Umsetzung phosphatfreier Einschichtsysteme.

Literatur

- /1/ Reduzierung der Umweltbelastung in der Kaltmassiv-umformung von Stahl durch Vermeidung von Phosphatierungen bei minimiertem Schmierstoffeinsatz
Abschlussbericht über ein Forschungs- und Entwicklungs-projekt, gefördert unter dem Az. 12125 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt
Fuchs Schraubenwerk GmbH, Siegen, 2002
- /2/ Entwicklung grundlegender innovativer Methodiken zur Qualifizierung tribologischer Systeme der Kaltmassivumformung auf Basis von Laborversuchen und computerunterstützten Analyse-Tools
Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM), Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V., Berlin, 2010
- /3/ Eesy-Software
CPM Training Material
CPM GmbH, Herzogenrath, Germany, 2012
CPM@CPMGMBH.COM



Trust in “eesy” simulation



**Customers are happy to solve their daily problems
with simulation**