



Doctoral Thesis

Dieless Drawing: Ein Massivumformverfahren zur flexiblen Einstellung von Form, Gefüge und mechanischen Eigenschaften von Langprodukten

Author(s):

Eynatten, Klaus <<von>>

Publication Date:

2004

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004725803> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 15443

DIELESS DRAWING
**EIN MASSIVUMFORMVERFAHREN ZUR
FLEXIBLEN EINSTELLUNG VON FORM,
GEFÜGE UND MECHANISCHEN
EIGENSCHAFTEN VON LANGPRODUKTEN**

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

Klaus Georg Hubert Freiherr von Eynatten

M.Sc., UMIST, UK

geboren am 13. April 1976

in Deutschland

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. J. Reissner, Referent

Prof. Dr. P. Uggowitzer, Korreferent

Zürich 2004

KURZFASSUNG

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde das flexible Drahtziehverfahren Dieless Drawing (DLD) hinsichtlich der verfahrenstechnisch / sensitiven Prozessparameter sowie der Möglichkeiten der flexiblen Gefügeentwicklung und Formgebung evaluiert. Zu diesem Zweck wurde am IvP eine Pilotanlage konzipiert und in Betrieb genommen.

Die Untersuchungen ergaben, dass bezüglich der Prozessstabilität ein kompliziertes Netzwerk aus gegenseitigen Einflüssen der Prozessparameter vorliegt, wobei der Haupteinfluss auf die Prozessstabilität der Temperatur (Umformtemperatur T_U und Temperaturgradient entlang der Stablängsachse \dot{T}_X) zugesprochen werden kann. Um eine stabile, reproduzierbare Prozessführung gewährleisten zu können ist vor allem eine konstante Umformtemperatur ($\Delta T_U \leq \pm 1^\circ\text{C}$) essentiell. Zudem tragen alle Parameter, die den Temperaturgradienten entlang der Stablängsachse erhöhen, wesentlich zu einer verbesserten Prozessführung bei. Dies kann durch Erhöhen der Umformtemperatur T_U , der Abkühlrate \dot{T}_K , der Verfahrensgeschwindigkeit V_C , oder durch Verkürzen des Abstandes zwischen Heizspule und Kühleinheit (Länge der Umformzone L_U) erzielt werden.

Die flexible Gefügeentwicklung wurde am Vergütungsstahl C35E untersucht. Dabei konnte durch Veränderung bestimmter Prozessparameter ein sehr breites Spektrum an Gefügen mit ihren resultierenden mechanischen Eigenschaften eingestellt werden. So konnte z.B. ein zeilenfreies, feinkörniges ferritisch/perlitisches Gefüge ($R_m = 700\text{MPa}$, $A = 23\%$), ein Mehrphasengefüge ($R_m = 1030\text{MPa}$, $A = 9\%$) oder

auch ein hochfestes bainitisch/martensitisches Gefüge $R_m = 1600\text{MPa}$, $A = 6\%$) eingestellt werden.

Die Möglichkeit der flexiblen Formgebung beim DLD wurde anhand des Federstahls 38Si7 evaluiert. Mit geringen Fertigungsabweichungen konnten Stangen mit konstantem Durchmesser, konische und wellenförmige Stangen sowie Stangen mit Abstufungen gezogen werden. Ein Halbzeug zur Herstellung einer Automobilfeder konnte endkonturnah aus einem konstanten Durchmesser gefertigt werden.

Zur Unterstützung der praktischen Tätigkeiten wurde ein Finites-Differenzen Modell entwickelt, welches den Temperaturverlauf entlang der Stablängsachse und entlang des Querschnittes beschreibt.

Wie aus den Untersuchungen hervorgeht bietet das DLD-Verfahren neue Möglichkeiten und Chancen für die zukünftige Entwicklung der spanlosen Formgebung. Das Dieless Drawing ermöglicht als flexibles Umformverfahren bei gleichzeitiger Ausnutzung der umformtechnischen Vorteile der Warmumformung die Herstellung von Produkten mit besonderer Gestalt (z.B. Federn) und optimierten mechanischen Eigenschaften (z.B. zerspanbar, gehärtet, zäh) in nur einem Prozessschritt. Durch gezielte Einstellung der Verfahrensparameter (Umformbedingungen) können so Erzeugnisse mit definierten, erhöhten, gleichmässigen und vor allem auch über die Stablängsachse variablen Eigenschaften hergestellt werden. Das DLD-Verfahren eignet sich zum Ziehen von hochfesten Werkstoffen oder Werkstoffen mit hohen Reibwiderständen.

Durch das Verständnis über das Verhalten der sensitiven Prozessparameter konnte dieses Verfahrens an die Schwelle zur industriellen Anwendung weiterentwickelt werden.

ABSTRACT

The aim of this research project was to evaluate the flexible 'Dieless Drawing (DLD)' technology. The process sensitive parameters and their interaction towards the process stability and forming precision have been analysed in detail. Further investigations have been carried out on carefully chosen materials. A heat-treatable steel (C35E) and a spring steel (38Si7) have been selected for investigations on the potential of flexible microstructural evolution and flexible forming during DLD, respectively. All investigations have been carried out on a pilot plant designed and operated at the Institute of Virtual Manufacturing, ETH Zurich.

The main influence on the process stability has been contributed to the temperature (deformation temperature T_U and temperature gradient along the deformation region \dot{T}_X). To guarantee a stable and reproducible operation a constant deformation temperature ($\Delta T_U \leq \pm 1^\circ\text{C}$) has been found to be essential. All other parameters which give rise to the temperature gradient along the deformation region will also contribute to the process stability. E.g. this can be achieved by increasing the deformation temperature T_U , the cooling rate \dot{T}_K , the drawing speed V_C or by decreasing the deformation region L_U (distance between heating and cooling device).

The potential of flexible microstructural evolution during DLD has been analysed using the heat-treatable steel C35E. By altering the process parameters a broad variety of microstructures with their corresponding mechanical properties (Stress-Strain Curves) has been achieved. After dieless drawing the aligned structure of ferrite/pearlite grains in the as-received cold drawn condition wasn't detected anymore. The microstructures with their mechanical properties covered a fine-

grained ferrite/pearlite structure ($\sigma_{UTS} = 700\text{MPa}$, $A = 23\%$), a multi-phase structure ($\sigma_{UTS} = 1030\text{MPa}$, $A = 9\%$) as well as a high strength bainite/martensite structure ($\sigma_{UTS} = 1600\text{MPa}$, $A = 6\%$).

The potential of producing bars with variable cross-section has been evaluated using the spring-steel 38Si7. Conical, tapered or wavelike bars have been produced with good accuracy in diameter. A semiproduct for the production of a car rear suspension was successfully drawn to near net-shape from an initial bar with constant diameter.

Considering the results of the investigations it's been found that the DLD-Process is very prospective in the future development of the chipless metal forming technology. As a flexible metal forming process it allows the forming of a product with special shape (e.g. spring) and optimised mechanical properties (e.g. tempered, hardened, ductile) in a single step by using the advantages of a hot forming process. By carefully adjusting the settings (DLD-conditions) a semiproduct with defined, advanced, uniform or locally altering properties can be produced. The DLD-Process is suitable for drawing materials with high strength or low ductility at room temperature and high frictional resistance at high temperature.

The information gained about process stability can be put into practice and will be applied for designing an industrial plant.