

# Neue Wege bei der Innenhochdruckformung von stanggepressten Aluminiumprofilen

**Doctoral Thesis**

**Author(s):**

Kunz, Christian Ludwig

**Publication date:**

1998

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001915219>

**Rights / license:**

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

# Neue Wege bei der Innenhochdruckumformung von stranggepressten Aluminiumprofilen

ABHANDLUNG  
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN  
der  
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

CHRISTIAN LUDWIG KUNZ  
Dipl. Masch.-Ing. ETH  
geboren am 1. Juni 1970  
aus Triesenberg, Liechtenstein



Angenommen im Antrag von

Prof. Dr. Dr. h.c. Markus O. Speidel, Referent  
Prof. Dr. Fritz Dohmann, Korreferent  
Prof. Dr. Peter J. Uggowitzer, Korreferent

Zürich 1998

## ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit ist im Rahmen des vom ETH Rat geförderten Schwerpunktprogramms *structural components made of high performance aluminium alloys for transport system application* entstanden und beschäftigt sich mit der Eignung verschiedener Aluminium-Knetlegierungen für das Innenhochdruckumformen "IHU".

Ein gesteigertes Umweltbewusstsein und immer strenger werdende gesetzliche Auflagen haben in den letzten Jahren dazu geführt, dass die Transportindustrie wieder vermehrt zum Leichtbau tendiert. Dieser Leichtbau darf allerdings nicht mit Einbussen in den heute üblichen hohen Sicherheits- und Komfortstandards einhergehen. Gewichtseinsparungspotential wird einerseits in anderen Werkstoffen wie Aluminium und Magnesium gesehen, andererseits in neuen Produktionsprozessen und -methoden. Ein vielversprechendes Konzept für Leichtmetallautos ist die von Audi (A8) und Renault (Spider) bereits realisierte Space-Frame Bauweise, die aus einem Rohrrahmen besteht, an den die Karosseriebleche befestigt werden. IHU ist eine ideale Produktionsmethode für die Herstellung der Verbindungsknoten solcher Konstruktionen.

Mit IHU können Hohlprofile bei gleichzeitigem Wirken von über Flüssigkeiten appliziertem Innendruck und axialen Kräften zu komplexen Strukturen umgeformt werden. Während dem Umformen herrschen im Bauteil Spannungszustände mit grossen hydrostatischen Anteilen. Diese erlauben grössere Umformgrade als konventionelle Umformverfahren. Im Stahlbereich ist das Verfahren weit verbreitet. Aufgrund der schlechteren Duktilität existieren allerdings nur wenige Aluminiumanwendungen, und systematische Untersuchungen sind nur spärlich verfügbar. Das Ziel dieser Arbeit ist es, den Werkstoff Aluminium in Zusammenhang mit dem IHU genauer zu untersuchen.

In einem ersten Schritt werden Rohre aus sechs verschiedenen Legierungen, von niedriglegierten, naturharten Werkstoffen bis hin zu höchstfesten Luftfahrtlegierungen in unterschiedlichen Wärmebehandlungszuständen zu einer einfachen Form axialsymmetrisch aufgeweitet. Anschliessend werden das Umformvermögen, die mechanischen und geometrischen Eigenschaften, das Gefüge, die Oberflächenqualität und die durch das Verfahren eingebrachten Eigenspannungen ermittelt. Auf das Verfahren zugeschnittene thermo-mechanische Behandlungsabläufe werden untersucht.

Die vielversprechenden Resultate aus den ersten Untersuchungen führen dazu, dass im zweiten Teil der Arbeit komplexere Bauteile (T-Fittinge) hergestellt und

untersucht werden. Diese Geometrie wird gewählt, um den angestrebten Space-Frame Knoten einen Schritt näher zu kommen.

Die Oberflächenrauheit nach dem Umformen liegt für alle 6xxx-Legierungen im unerwünschten Bereich. Es bedarf einer neuen Legierung dieser Klasse, um zum einen die Oberflächenqualität nach dem IHU zu steigern und andererseits Umformbarkeit und mechanische Eigenschaften bei gleichbleibender Korrosionsbeständigkeit und Schweißbarkeit zu verbessern. Eine speziell für IHU konzipierte Legierung wird entworfen und untersucht. Die neue Legierung erfüllt bei entsprechenden Strangpressparametern alle an sie gestellten Anforderungen.

Das IHU-Vermögen von Aluminium-Knetlegierungen korreliert aufgrund der durch das Strangpressen eingebrachten Anisotropie sehr schlecht mit den aus Zug- und Stauchversuchen ermittelbaren Kenngrößen. Entsprechend liefern FE-Simulationen nur bedingt verlässliche Umformgrenzen für diese Bauteile. Bei der in dieser Arbeit vorgestellten neuen Prüfmethode des Ringaufwalzens werden Ringe über einen Bolzen, der durch Walzprozesse gestaucht wird, bis zum Versagen aufgeweitet. Dabei werden im Werkstoff ähnliche Spannungs- und Dehnungszustände erzeugt, wie sie beim IHU auftreten. Die Resultate korrelieren sehr gut mit den IHU Ergebnissen. Das Verfahren erlaubt es, die Umformgrenzen und die nach dem IHU zu erwartenden Oberflächenqualitäten auf sehr einfache Art universell zu ermitteln.

## ABSTRACT

The presented work is part of the Swiss priority program on materials research sponsored by the ETH-Rat: *structural components made of high performance aluminium alloys for transport system application*. It deals with the suitability of different aluminium alloys for Internal High Pressure Forming (IHPF).

In the last few years the transportation industry tended more and more towards light weight vehicles - due to stricter laws and a risen environmental awareness. This light weight constructions have to be produced on economic ways without loss in safety and comfort. Big potential for reducing weight is expected in different materials such as aluminium or magnesium and in new innovativ concepts and production processes. Aluminium Space-Frame constructions, already realized by Audi (A8) and Renault (Spider) seem to be a very promising way to make the cars less harmful to the environment. The weak spots of this type of constructions are always the nodes where the extruded sections come together. IHPF is the ideal process to produce nodes as joining elements for use in transport systems.

IHPF is the formation of complex near-net-shape components by simultaneous acting of internal pressure, applied by fluids, and external loads. A suitable combination of pressure and axial loads leads to stress states with a high level of hydrostatic stresses. This extends the forming limits compared to tension dominated stress states and therefore allows the formation of more complex parts. The process is very common for steel components, but only very few aluminium applications exist because of the lower ductility of this material. It is the aim of the present work to gain more knowledge on IHPF of aluminium sections.

In the first step the IHPF forming limits of different aluminium wrought alloys, from low strength to aircraft alloys, in different conditions have been investigated and useful thermomechanical treatments, convenient to IHPF, have been proposed. Measurements of formability, internal stresses, mechanical and geometrical properties, surface roughness and microstructure showed very promising results.

T-fittings have been produced and investigated as more complex components for the second project step to get closer to space-frame nodes.

The selected 6xxx alloys show unsatisfactory surface roughnesses. There is a need for a new 6xxx alloy to improve formability, mechanical properties and surface quality after forming without lowering weldability and corrosion

## VII

resistance. A new alloy has been designed, melted with conventional ingot technique and extruded to  $\text{Ø}60 \times 6\text{mm}$  tubes especially for the use with IHPF. This alloy fulfills all mentioned demands and therefore is a candidate to replace existing 6xxx alloys for IHPF parts.

Extrusion leads to big anisotropy in aluminium alloys. Therefore the IHPF forming limits correspond badly with mechanical properties measured in compression and tension tests. This leads to unaccurate prediction of forming limits by FE-simulations. A new testing technique is proposed in this work. Rings are expanded by rolling a copper bolt into them until failure. The new testing method generates stress and strain states similar to IHPF processes. There is a good correlation between the results and the IHPF forming limits measured by this rolling test. It allows the prediction of forming limits and surface quality after IHPF on a very easy and universal way.