

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 96 (1978)  
**Heft:** 19: SIA-Heft, 2/1978: Bewilligung und Überwachung von Kernkraftwerken

**Artikel:** Isothermes Umformen - ein kostengünstiges Präzisionsschmiedeverfahren  
**Autor:** Gessinger, G.H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-73690>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 05.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

können, werden vor der Betriebsaufnahme sogenannte *Basismessungen* durchgeführt. Dabei werden die später prüfpflichtigen Bereiche nochmals mit dem für die Wiederholungsprüfungen vorgesehenen Verfahren geprüft und das Vorgehen wie die Resultate genau protokolliert. Diese Dokumentation stellt zusammen mit den Protokollen der Herstellungsprüfung, die sogenannte *Nullmessung* dar. Da sich die Anlage zu diesem Zeitpunkt in einwandfreiem Zustand befindet, kann man sich später auf die genaue Untersuchung von Veränderungen beschränken. Dies vereinfacht die Lösung verschiedener Prüfprobleme, weil eine Interpretation nicht erforderlich ist, solange kein von der Nullmessung abweichendes Bild angezeigt wird. Dadurch ist bei den fernbedienten Ultraschallprüfungen der Reaktordruckbehälter eine erste On-line-Auswertung der Prüfungen auf elektronischem Wege möglich.

Die Basismessungen und die später in bestimmten Intervallen zur Durchführung kommenden Wiederholungsprüfungen unterstehen der behördlichen Überwachung. Diese ist nur in enger Zusammenarbeit mit dem Betreiber möglich, da er die Anlage vorbereiten und die aufwendigen Einrichtungen zur Verfügung stellen muss. In anderen Fällen, wie z.B. bei den manuellen Ultraschallprüfungen oder den visuellen Innenbesichtigungen, bleibt dem Inspektor nur die eigene Durchführung der Prüfungen, um sich ein Bild vom Zustand der Komponenten machen zu können.

#### Schlussbemerkungen

Die neutrale Qualitätsüberwachung mechanischer druckführender Komponenten wurde auf dem konventionellen Gebiet schon vor Jahrzehnten mit Erfolg gesetzlich vorgeschrieben. Bei den Kernkraftwerken wurde diese Kontrolltätigkeit auch auf Rohrleitungen, Armaturen, Pumpen usw. ausgedehnt, und zudem sind die Anforderungen, der Umfang an zerstörungsfreien Prüfungen und die Intensität der Überwachung unvergleichlich grösser. Vor allem bei den höchsten Sicherheitsklassen ist die behördliche Überwachung derart einschneidend, dass durch die doppelte Kontrolle *unentdeckte ungünstige Qualitätseinflüsse fast nicht mehr denkbar sind*.

Die Überwachung im Betrieb musste nicht nur wegen der Strahlung den Verhältnissen angepasst werden, sondern auch wegen dem Bestreben, möglichst alle Eventualitäten auszuschliessen.

Eine detaillierte Dokumentation über die Komponentenherstellung, wie auch über die periodischen Betriebskontrollen, erlaubt eine bessere Beurteilung und Auswertung von Schäden und Erfahrungen.

Obwohl die am Bau eines Kernkraftwerkes beteiligten Firmen, angefangen beim Bauherrn über den Generalunternehmer bis zum einzelnen Lieferanten bestrebt sind, gute Arbeit zu leisten, erfüllt doch die *behördliche Überwachung eine unentbehrliche Funktion im Interesse der Allgemeinheit*.

Sie kann frei von Konkurrenz- und Termindruck und auch frei von finanziellen Belastungen die Sicherheitsanforderungen, Schutzziele und allgemeinen Projektierungsregeln formulieren und unabhängig vom Lieferanten, ja sogar vom Herkunftsland, *einheitliche Qualitätsmassstäbe* verlangen. Neben der *vorbeugenden* Wirkung, die in einzelnen Fällen festgestellt werden kann, bewirkt sie, dass das *dichte Netz von Kontrollen, mit dem Fehler und Mängel rechtzeitig entdeckt werden sollen, durch die intensive neutrale Überwachung mit qualifiziertem Personal nochmals wesentlich feinmaschiger wird*, als wenn nur der Hersteller und Generalunternehmer die Produkte prüfen würden.

Das *Bildmaterial* wurde freundlicherweise von folgenden Firmen zur Verfügung gestellt: Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Zürich (Bild 6); Gebr. Sulzer AG, Winterthur (Bilder 13, 15, 16); Georg Fischer AG, Schaffhausen (Bild 14); Nordostschweiz. Kraftwerke AG, Baden (Bild 17).

#### Literaturverzeichnis

- [1] Baumgartner G., Glauser E., Heimgartner E. und Schneider Th.: «Kernkraftwerke als Sicherheitsproblem». Schweiz. Bauzeitung, Heft 44, 1977.
- [2] Wenger H.: «Sicherheitskonzepte und Sicherheitsmassnahmen bei Kernkraftwerken». Schweiz. Bauzeitung, Heft 44, 1977.
- [3] Alex K. H., Lutz M. R.: «Betriebssysteme». Schweiz. Bauzeitung, Heft 3, 1978.
- [4] Weyermann P., Straub G.: «Sicherheitssysteme». Schweiz. Bauzeitung, Heft 3, 1978.
- [5] Gähler K., Fuchs H.: «Bauliche Schutzmassnahmen». Schweiz. Bauzeitung, Heft 6, 1978.
- [6] Bundesgesetz über die friedliche Verwendung der Atomenergie und den Strahlenschutz, vom 23. Dez. 1959 (Stand am 1. Oktober 1973).
- [7] Verordnung über Begriffsbestimmungen und Bewilligungen im Gebiete der Atomenergie, vom 13. Juni 1960.
- [8] Verordnung betreffend die Eidgenössische Kommission für die Sicherheit von Atomanlagen, vom 13. Juni 1960.
- [9] Verordnung über den Fonds für Atomspätschäden, vom 13. Juni 1960.
- [10] Verordnung über den Strahlenschutz, vom 30. Juni 1976.
- [11] Verordnung über die Alarmorganisation für den Fall erhöhter Radioaktivität, vom 9. September 1966.
- [12] The American Society of Mechanical Engineers: «ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Rules for Construction of Nuclear Power Plant Components».
- [13] Schweiz. Verein für Druckbehälterüberwachung: «Werkstoff-Berechnungs- und Ausführungsvorschriften, Ausgabe 1975».
- [14] Schweiz. Verein für Druckbehälterüberwachung: «Jahresberichte».

Adresse der Verfasser: G. Baumgartner, E. Heimgartner: Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Forchstr. 395, 8029 Zürich; K. Geistlich: Ingenieurbüro F. Preisig, Grünhaldenstr. 6, 8050 Zürich (verantwortlich für «Qualitätsüberwachung der Bauausführung»); P. Krebs: Schweizerischer Verein für Druckbehälterüberwachung, Nuklearabteilung, Witikonstr. 15, 8032 Zürich (verantwortlich für «Qualitätsüberwachung der mechanischen Komponenten bei der Herstellung und im Betrieb»).

## Isothermes Umformen – ein kostengünstiges Präzisionsschmiedeverfahren

Von G. H. Gessinger, Dältwil/Baden

### Moderne Schmiedeverfahren

Die klassische Warmformgebung von Eisen-, Nickel-, Titan- und Aluminiumlegierungen macht von der Eigenschaft aller metallischen Werkstoffen Gebrauch, dass der Formänderungswiderstand mit zunehmender Temperatur rasch abnimmt. Dies bedeutet, dass auf einer vorgegebenen Umformanlage grössere Rohlingsdurchmesser verformt werden können,

wenn die Werkstücktemperatur erhöht wird. Dieser Extrapolation sind jedoch *natürliche Grenzen* gesetzt.

1. Durch den *Beginn* des Schmelzens einer Legierung.
2. Durch *mögliche Phasenumwandlungen*, die zu einer Eigenschaftverschlechterung am Endprodukt führen können. (Beispiel: Schmieden von Ti-Legierungen bei etwa 1000°C, wo die Hochtemperaturphase beginnt.)

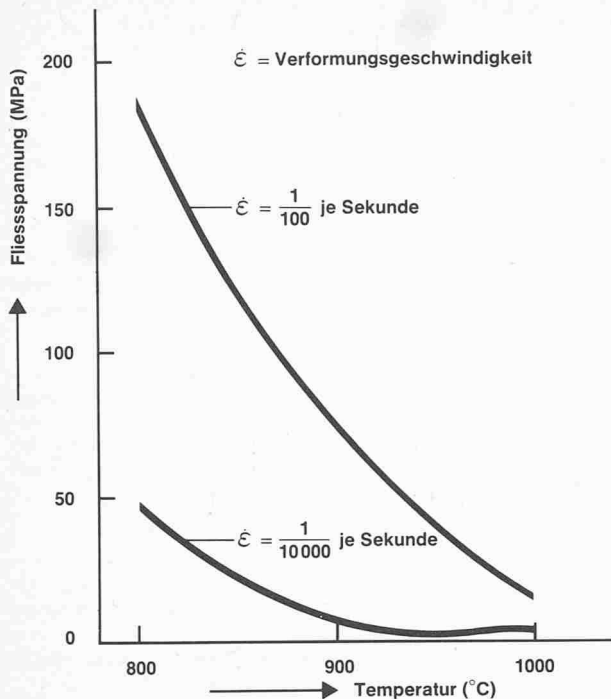


Bild 1. Flie遰pannung von Ti-6Al-4V als Funktion der Temperatur und der Verformungsgeschwindigkeit

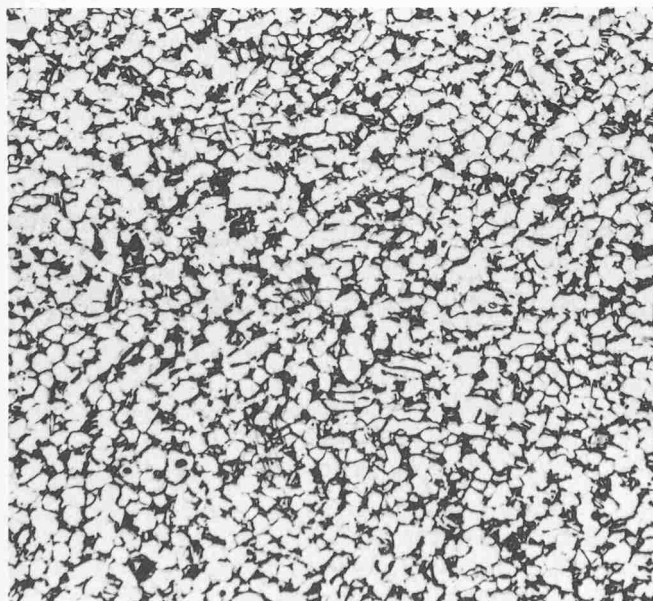
3. Durch das geringe Formänderungsvermögen vieler Hochtemperaturwerkstoffe (Beispiel: hochlegierte Nickelgusslegierungen).

4. Durch die Temperaturänderung während des Umformvorganges infolge des Wärmeflusses vom heissen Werkstück in das relativ kalte Schmiedegesenk.

5. Durch die zulässige Werkzeugbeanspruchung.

Neben diesen Randbedingungen ist zu berücksichtigen, dass die plastische Verformung eine werkstoffeigene Funktion von Druck, Temperatur und Zeit ist. In der Praxis der Warmverformung gilt es also, Werkstoffeigenschaften, Randbedingungen und Wirtschaftlichkeit unter einen Hut zu bringen. Die Suche nach einer solchen optimalen Verbindung hat in der Vergangenheit in verschiedene Richtungen geführt.

Bild 2. Schliiffbilder von Ti-6Al-V. Links: feinkörniger Zustand. Rechts: grobkörniger Zustand



a) Beim Hochgeschwindigkeitsumformen auf dem Schmiedehammer wird der Druck erhöht und zugleich die Dauer des Umformvorgangs reduziert. Nachteilig ist dabei die hohe Gesenkbeanspruchung bei der Herstellung von Präzisionsteilen.

b) Eine Erhöhung des Druckes bei kurzen und mittleren Umformzeiten wird durch immer grössere mechanische und hydraulische Pressen erreicht. Nachteile sind hohe Anlagenkosten und die Schwierigkeit, angesichts kleiner Stückzahlen, diese Anlagen auszulasten. Wegen des hohen Umformdruckes müssen die Werkzeugtemperaturen niedrig gehalten werden, und deshalb darf eine bestimmte kurze Umformzeit nicht überschritten werden. Dies ist das bisher am weitesten verbreitete Verfahren.

c) Eine Reduktion des Druckes kombiniert mit einer Reduktion der Umformgeschwindigkeit wird erzielt, wenn die Schmiedegesenke auf Temperaturen nahe der Werkstücktemperatur gebracht werden (Beispiele: «Hot-Die» Forging, Isothermes Umformen, Superplastisches Umformen).

Die unter c) aufgeführten Verfahren stützen sich auf eine Eigenschaft ganz bestimmter Legierungen ab, nämlich auf die starke Abhängigkeit der Flie遰pannung von der Umformgeschwindigkeit. Diese Eigenschaft hat ihre Ursache in Phänomenen wie Kriechen – einer langsamen plastischen Werkstoffverformung bei hohen Temperaturen – und Superelastizität. Bild 1 zeigt am Beispiel der am weitesten verbreiteten Titanlegierung, einer Legierung aus Titan mit 6% Al und 4% V (Ti6Al4V), dass die Spannung, bei der bleibende plastische Verformung einsetzt, die sogenannte Flie遰pannung, sowohl mit zunehmender Temperatur als auch mit sinkender Umformgeschwindigkeit abnimmt. Dass die Flie遰pannung bei niedriger Umformgeschwindigkeit oberhalb 950°C wieder ansteigt, ist auf Kornwachstum, Phasenumwandlungen und das damit verbundene Verschwinden der Superplastizität zurückzuführen.

Die isothermen Umformverfahren beruhen in erster Linie auf dem Phänomen der Superplastizität, das beschrieben werden soll.

#### Die «Superplastizität»

Bestimmte Werkstoffe haben die Eigenschaft, dass die zur Verformung benötigte Spannung  $\sigma$  sehr klein wird, wenn die Verformung bei vergleichsweise hohen Temperaturen,



nämlich  $\sim 0,5 T_m$  ( $T_m$ ... Schmelztemperatur in Grad Kelvin) und bei geringer Umformgeschwindigkeit stattfindet. Unter solchen Bedingungen haben diese Werkstoffe auch eine *sehr hohe Duktilität*, was sich zum Beispiel im Kriechversuch in einer *Bruchdehnung* von mehreren 100% zeigt. Gebunden sind diese Eigenschaften, welche die Superplastizität ausmachen, an ein feinkörniges, bei der Umformtemperatur stabiles Gefüge mit Korngrößen unter  $10 \mu m$ . Die Superplastizität beruht nämlich auf *Korngrenzgleitmechanismen*.

Da bei den Umformtemperaturen *Kornwachstum* auftritt, müssen Massnahmen ergriffen werden, um ein feines Korngefüge zu erhalten. Dies lässt sich entweder durch einen hohen Volumenanteil von bis zu  $10 \mu m$  grossen Teilchen einer zweiten Phase oder durch einen geringen Volumenanteil einer feindispersen zweiten Phase erreichen. Viele Titan- und hochwarmfeste Nickellegierungen (Superlegierungen) erfüllen die notwendigen Bedingungen für Superplastizität von vorneherein oder lassen sich durch eine spezielle Wärmebehandlung in diesen Zustand – feines Korn – überführen. Das Schlibbild in Bild 2 zeigt eine Gegenüberstellung eines feinkörnigen, zweiphasigen und eines grobkörnigen Gefüges in Ti6Al4V.

Bild 3 gibt einen Überblick über die wesentlichen Merkmale der Superplastizität sowie die daraus folgenden Bedingungen für ein Fertigungsverfahren. Die *niedrige Fliessspannung* erlaubt die Verwendung *einfacher* und daher *billiger Pressen mit geringerer Presskraft*. *Geringe Umformgeschwindigkeit* bedeutet *lange Kontaktzeiten im Gesenk*, das daher die gleiche Temperatur haben soll wie das Werkstück. Die Werkstoffwahl für das Werkzeug richtet sich nach Umformtemperatur und Pressdruck. Bei *Temperaturen um  $1000^\circ C$*  kommen nur *Nickelsuperlegierungen mit grobkörnigem Gussgefüge* zur Erhöhung der Warmfestigkeit und *Molybdänlegierungen* in Frage. Da bei den hohen Umformtemperaturen Werkstück oder Gesenk – je nach Werkstoff – oxidieren würden, wird der *Umformvorgang* häufig im *Vakuum* oder unter *Argon* durchgeführt. Die hohe Duktilität superplastischer Legierungen erlaubt es, wesentlich feinere Details zu schmieden als mit konventioneller Warmverformung. Für die Umformung haben sich *Nickelsuperlegierungen* und *Titanlegierungen* als geeignet erwiesen.

### Das isotherme Umformen

Das isotherme Umformen ist mit konventioneller Schmiedetechnik nur schwer vergleichbar (Bild 2). Im BBC-Forschungszentrum wurde eine besondere 300-t-Pressen entwickelt, die tatsächlich mit einer konventionellen Schmiedepresse nicht mehr viel gemeinsam hat (Bild 4). Der Presszylinder und das Presswerkzeug, das induktiv erwärmt wird, sind in einem Vakuumkessel untergebracht, der mit Argon gefüllt werden kann und nur durch eine Vakuumschleuse zugänglich ist.

Mit Hilfe der Presse konnten drei wichtige, zunächst noch offene Fragen beantwortet werden:

1. Wie fließt das Material beim isothermen Umformen?
2. Welche mechanischen Eigenschaften werden im Schmiedestück erzielt; insbesondere, leiden diese Eigenschaften unter der beim Umformen unvermeidbaren Kontamination des Werkstücks?
3. Unter welchen Voraussetzungen ist das Verfahren wirtschaftlich?

#### «Superplastischer» Materialfluss

Die erste Frage war von Bedeutung, weil viele Materialkenngrößen superplastischer Legierungen lediglich aus einachsigen Zugversuchen gewonnen worden waren; es musste daher erst bewiesen werden, dass auch in einem komplizierten

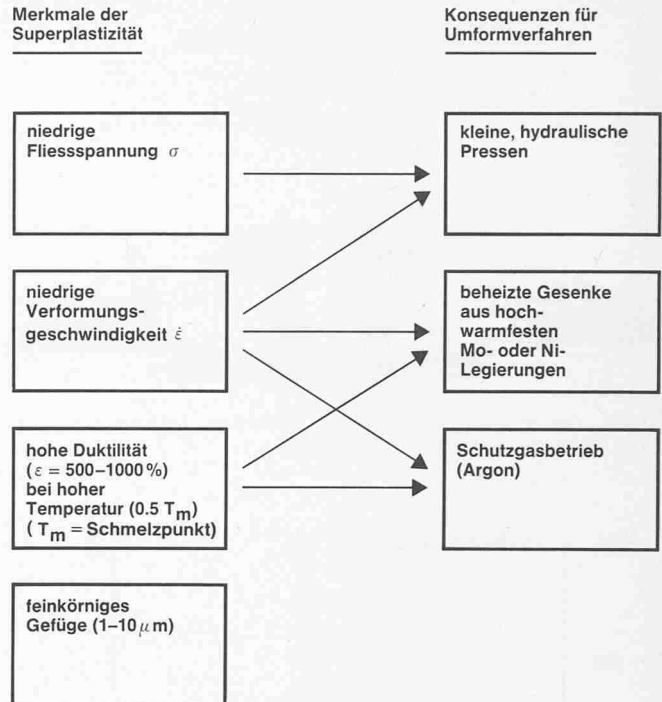
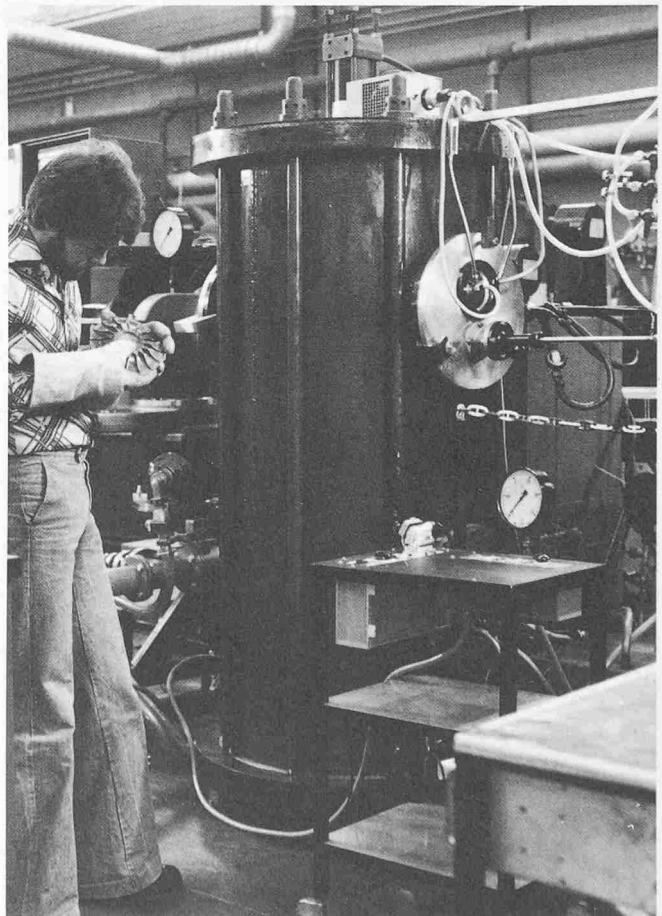


Bild 3. Merkmale der Superplastizität und Konsequenzen für Umformverfahren

Bild 4. 300-t-Versuchspresse zum isothermen Umformen von Titanlegierungen. Der Hauptvorteil dieses Verfahrens liegt in der grösseren Wirtschaftlichkeit gegenüber Konkurrenzverfahren. Isothermes Umformen bietet sich an für Werkstoffe, die teuer zu zerspanen sind, sowie für Schmiedeteile von grosser Komplexität



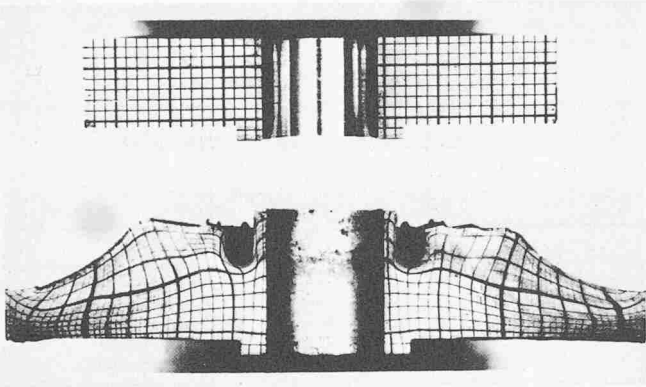


Bild 5. Verformungsraster vor und nach dem isothermen Formen eines PbSn-Verdichterrades ( $\phi$  120 mm)

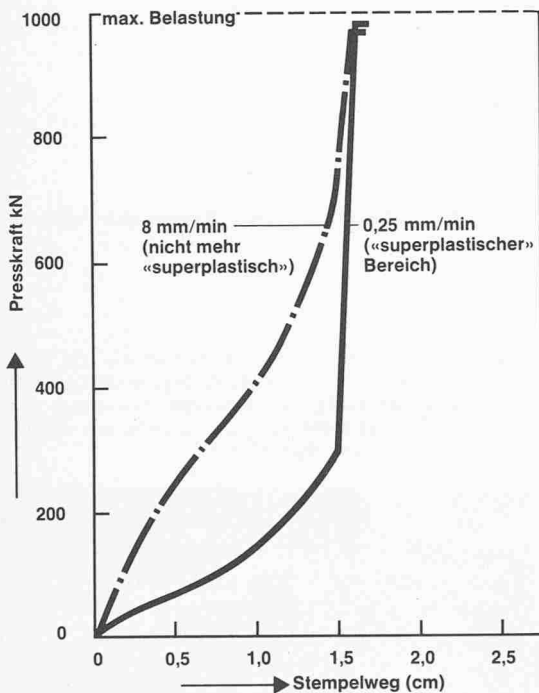
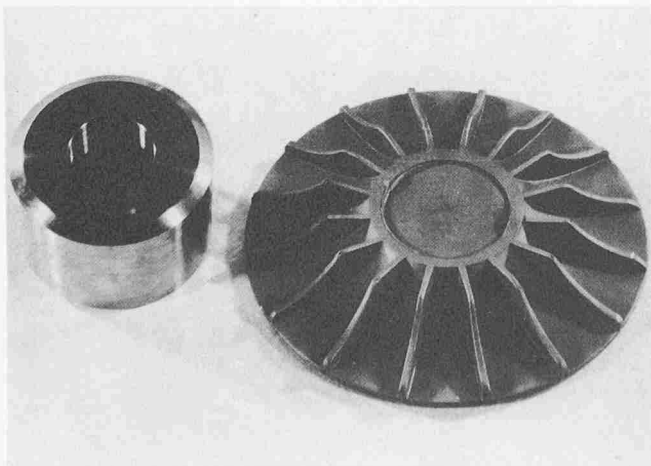


Bild 6. Abhängigkeit der Presskraft vom Stempelweg beim Pressen eines PbSn-Rades bei zwei verschiedenen Umformgeschwindigkeiten

Bild 7. Vorform- und Endgeometrie eines 160-mm- $\phi$ -Verdichterrades aus Ti-6Al-4V



Werkstück der Materialfluss mit den gleichen niedrigen Geschwindigkeiten abläuft, da ja andernfalls die Umformkraft wesentlich grösser sein müsste. Die Antwort wurde am Beispiel einer bei Raumtemperatur superplastischen Legierung, dem *Eutektikum aus PbSn*, gesucht, indem die Verformung eines photochemisch aufgetragenen Rasters kontinuierlich verfolgt wurde. Bild 5 zeigt, dass bei geeigneter Wahl des Durchmessers der zylindrischen Vorform die Verformung des Rasters ausreichend gleichmässig erfolgt. Eine punktwise durchgeführte Messung der lokalen Umformgeschwindigkeit ergab, dass alle Volumenelemente im Geschwindigkeitsbereich der Superplastizität liegen, wenn die Stempelgeschwindigkeit konstant (gleichbedeutend mit zunehmender Umformgeschwindigkeit) ist. Bild 6 zeigt die Abhängigkeit der Presskraft von dem Weg, den der Oberstempel beim Pressen des in Bild 5 gezeigten PbSn-Modellrades zurücklegt. Die Abhängigkeit wurde bei zwei verschiedenen Umformgeschwindigkeiten bestimmt, wobei die niedrigere Geschwindigkeit die Verformung im superplastischen Bereich beschreibt. Als Vorform diente ein Hohlzylinder mit kleinerer Querschnittsfläche als jener des gepressten Rades. Da bei der Bewegung des Pressstempels die Vorform gestaucht und dadurch die Querschnittsfläche vergrößert wird, nimmt die Presskraft mit dem Weg des Stempels zu, wobei die Stempelgeschwindigkeit so lange konstant bleibt, bis die maximale vorgegebene Presskraft erreicht ist.

Die am PbSn-Eutektikum gefundenen geometrischen Beziehungen gelten auch für die isotherme Umformung der Titanlegierung aus Ti6Al4V, da bei allen superplastischen Legierungen die Formänderungen und die Fließspannung durch dieselbe Gesetzmässigkeit verknüpft sind; selbstverständlich kommen wegen der hohen Umformtemperatur von 950°C hier einige technische Probleme (Werkzeugherstellung, Schmiermittelwahl) hinzu. Bild 7 zeigt nebeneinander Vorform- und Endgeometrie eines 160 mm  $\phi$ -Verdichterrades aus Ti6Al4V, das als Beispiel einer möglichen Anwendung im Turbinenbau gewählt wurde, das in einem Arbeitsgang in einem beheizten Molybdänstahlgesenk hergestellt wurde. Die Verformung erfolgte bei 950°C unter Argon-Schutzgas und war nach 20 Minuten abgeschlossen.

#### Erhaltung der mechanischen Eigenschaften

Nun zur zweiten Frage, der nach den mechanischen Eigenschaften. Wegen der hohen Affinität von Sauerstoff zu Titan bei 950°C ist, selbst bei Umformoperationen in Vakuum oder Argon, die Bildung eines dünnen Oxidfilms nicht zu verhindern. Es ist bekannt, dass eine solche «Schmiedehaut» die Ermüdungsfestigkeit beispielsweise von Ti6Al4V im Vergleich zu einer zerspannten Oberfläche stark reduzieren kann. Damit würde aber die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens in Frage gestellt sein. In systematischen Versuchen haben wir eine Oberflächenbehandlung gefunden, die diesen «Schmiedehaut»-Effekt völlig beseitigt. Damit ist auch das schwierigste Hindernis bei «Genauschmieden» von Titan überwunden.

Die *mechanischen* Eigenschaften des fertigen Schmiedestücks werden aber auch erheblich von seiner *Korngrösse* bestimmt. Das isotherme Umformen setzt ja Superplastizität, d.h. feines Korn, voraus; ein isotherm verformtes Schmiedestück bleibt daher bei der Umformtemperatur superplastisch, also verhältnismässig «weich». Liegt nun die spätere Betriebstemperatur ebenfalls im Bereich der Umformtemperatur und ist dabei das Material zu weich für die Betriebsbedingungen, dann muss das Korn in einer Wärmebehandlung vergrößert werden. Das ist bei Schmiedestücken aus Nickelsuperlegierungen der Fall. Werkstücke aus Titanlegierungen dagegen werden bei Temperaturen weit unter der Umformtemperatur eingesetzt und brauchen deshalb unter Umständen gar keine

nachträgliche Wärmebehandlung. Bei konventionell geschmiedeten Teilen ist dagegen immer eine Nachbehandlung nötig (Bild 8); in dieser Hinsicht ist das isotherme Verfahren – zumindest bei Titanlegierungen – wirtschaftlicher.

#### Die Wirtschaftlichkeit

Um jedoch die Wirtschaftlichkeit des Gesamtverfahrens beurteilen zu können, müssen alle Aspekte von vier verschiedenen Verfahren miteinander verglichen werden. Beim konventionellen Freiformschmieden kann man von Materialeinsparung gar nicht sprechen, man kann jedoch auf Gesenke weitgehend verzichten. Schon beim konventionellen Fertigschmieden wird eine nennenswerte Materialersparnis erzielt, jedoch sind Zugaben an der gesamten Oberfläche und bei feinen Details erforderlich. Der Zerspanungsanteil ist zwar geringer als beim Freiformschmieden, jedoch immer noch sehr hoch. Da konventionelle Stahlgesenke eingesetzt werden, liegen die Werkzeugkosten in mittlerer Höhe.

Beim isothermen Umformen mit Zugabe ist eine weitere Materialersparnis möglich, doch muss die gesamte Oberfläche nachbearbeitet werden. Die Werkzeugkosten steigen stark an, weil als Gesenkwerkstoff Hochtemperaturlegierungen verwendet werden müssen. Beim isothermen Umformen mit wendel werden müssen. Beim *isothermen Umformen mit möglichst grosser Annäherung an die Endform* ist die Materialersparnis am grössten; auch brauchen wichtige Oberflächenpartien nicht mehr nachbearbeitet zu werden. Werkzeugbeanspruchung bzw. Werkzeugkosten sind im Vergleich zu allen anderen Verfahren am höchsten. Analysiert man die Summe der Material-, Umform-, Werkzeug- und Nachbearbeitungskosten, so sind Einsparungsmöglichkeiten nur sichtbar, wenn der teure Zerspanungsanteil und der hohe Materialkostenanteil so niedrig gehalten werden können, dass der Anteil der Werkzeugkosten in der Summe nicht überwiegt. Bei vielen Schmiedestücken aus Titan- und Nickellegierungen zeigt ein solcher Kostenvergleich, dass isothermes Umformen unter allen Verfahren das billigste ist.

#### Konkurrenz und Ergänzung: die Pulvermetallurgie

Dennoch ist das Verfahren der isothermen Umformung nicht konkurrenzlos. Besonders bei Nickelsuperlegierungen haben sich pulvermetallurgische Herstellungsmethoden wie *heissisostatisches Pressen* (HIP) in den Vordergrund geschoben. Zwar sind Superlegierungspulver wesentlich teurer als gegossenes Material, wie es als Vorform für konventionelle Umformverfahren üblicherweise verwendet wird, doch lässt sich mit der HIP-Technik die Makroseigerung, d.h. ein möglicher Konzentrationsunterschied bei hochlegierten Nickellegierungen auf den Massstab des Pulverdurchmessers ( $\sim 50\text{--}100\ \mu\text{m}$ ) vermindern. Zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften wird eine HIP-Vorform häufig in isothermen Formgebungsverfahren weiterverformt. Das Ziel der weiteren Entwicklungen ist es, das Umformverfahren zu sparen.

Anders sieht es bei Titanlegierungen aus. Einerseits ist der Preis von Titanlegierungspulver sehr hoch, andererseits aber die Verformbarkeit von konventionellen Titanlegierungen unter isothermen Bedingungen so gut, dass nur in ganz wenigen Sonderfällen der Umweg über die Pulvermetallurgie eine Kostenreduktion verspricht.

Eine interessante Ergänzung des isothermen Umformens ist sicher das *Heisspressen von Pulver in einer isothermen Schmiedepresse*. Seine Entwicklung wird im BBC-Forschungszentrum zunächst anhand von Prinzipversuchen verfolgt. Dieses Verfahren sollte in vielen Fällen die teure Operation des heissisostatischen Pressens überflüssig machen.

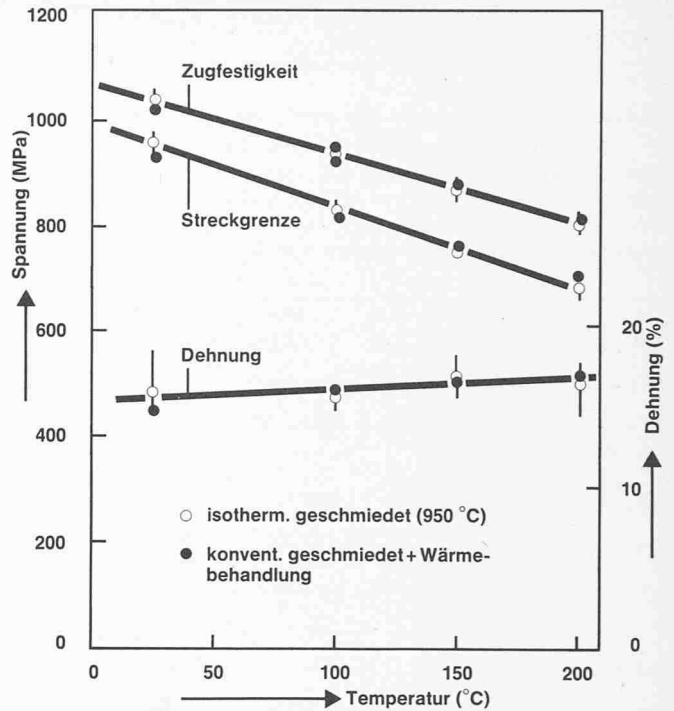


Bild 8. Mechanische Eigenschaften von konventionell und isotherm geschmiedetem Ti-6Al-4V

#### Zusammenfassung

Langjährige Versuche im BBC-Forschungszentrum haben ergeben, dass isothermes Umformen bei bestimmten Legierungen ein kostengünstiges Schmiedeverfahren ist. Das Verfahren beruht auf der Verwendung von beheizten Schmiedegesenken, welche die gleiche Temperatur haben wie das Werkstück; es nützt den niedrigen Formänderungswiderstand dieser Legierungen bei niedrigen Umformgeschwindigkeiten aus. Der Hauptvorteil des Verfahrens liegt in der grösseren Wirtschaftlichkeit gegenüber Konkurrenzverfahren. Isothermes Umformen bietet sich an für Werkstoffe, die teuer zu zerspanen sind, sowie für Schmiedeteile von grosser Komplexität. Der von BBC eingeschlagene Weg zur Herstellung von Schmiedeteilen, die kaum mehr nachbearbeitet werden müssen, erbringt bei Schmiedeteilen aus Titanlegierungen mechanische Eigenschaften, die mindestens gleich gut sind wie jene von konventionell geschmiedeten und dann wärmebehandelten Legierungen.

#### Vorteile des isothermen Umformens gegenüber «klassischen» Verfahren

1. Präzisionsschmiedeooperation, die mit wenigen Gesenken (im Optimalfall einem) durchführbar ist.
2. Niedriger Pressdruck, daher: einfache, kompakte Pressen, oder Herstellung grösserer Teile auf herkömmlichen Anlagen.
3. Infolge der homogenen Verformungsverteilung: homogene mechanische Eigenschaften des Produktes.
4. Weniger Schmiedefehler (Ausschuss), daher geringerer Prüfaufwand.
5. Keine Oberflächenrisse.
6. Vereinfachung oder sogar Wegfall der Wärmebehandlung nach dem Schmieden.
7. Bessere Einhaltung von Toleranzen.

#### Nachteile

Hohe Gesenkkosten: Um sie zu amortisieren, muss eine Mindeststückzahl von 70 bis 100 geschmiedeten Teilen gewährleistet sein.

Adresse des Verfassers: Dr. G.H. Gessinger, BBC-Forschungszentrum, 5405 Baden-Dättwil.