

Superlastizität (Metalle so dehnbar wie Gummi)

Gummibänder lassen sich weit in die Länge ziehen, ohne zu zerreißen. Das weiß jedes Kind. Dass auch Stähle so dehnbar sind, dürfte verblüffen. So ist es den Werkstoffkundlern am Max-Planck-Institut für Eisenforschung in den vergangenen Jahren gelungen, Stähle herzustellen, die sich bis zu 1000 (!) Prozent dehnen lassen, ohne zu brechen. Anders als beim Gummiband ist diese Verformung freilich bleibend - plastisch, wie Experten sagen. Diese so genannte Superplastizität ist auf sehr feine und gleichmäßige Körnchen, so genannte Kristallite, im Stahl zurückzuführen. Mikroskopische Analysen der Stähle ergaben, dass sich unter bestimmten Temperaturen und Umformbedingungen gleichmäßig rundliche Kristallite in Mikrometergröße bilden. Dehnt man den Stahl, gleiten und rotieren die Kristallite leicht aneinander vorbei. Wären sie langgestreckt, würden sie sich eher blockieren.



Superplastischer Stahl

Auch hier spielen wieder verschiedene Gefügebestandteile im Stahl eine Rolle - etwa Austenite oder Karbide - besonders feste Metall-Kohlenstoffverbindungen. Denn die Gleitbewegung spielt sich vor allem an den Grenzen dieser Gefüge ab. Bislang ist die Düsseldorfer Arbeits-gruppe weltweit die einzige, die in der Lage ist, besonders feste superplastisch dehbare Stähle für den Leichtbau zu erzeugen. Denn das typische Kristallgefüge stellt sich nur bei ganz bestimmten Herstellungsprozessen und Legierungen (Metallmischungen) ein. So werden die superplastischen Stähle beispielsweise bei nur etwa 700 bis 800 Grad Celsius verarbeitet und zu Bauteilen geformt; für gewöhnlich schmiedet man bei etwa 1050 bis 1150 Grad Celsius. Darüber hinaus wird der superplastische Stahl etwas langsamer in seine Endform gepresst beziehungsweise geschmiedet. Nur so kommen die superplastischen Verformungsmechanismen voll zum Tragen. Superplastische Stähle lassen sich beispielsweise zu Getriebeteilen wie Ritzeln schmieden. Ihr Vorteil: Da sie sich so stark dehnen, können sie leichter in Form gebracht werden. Die Umformwerkzeuge verschleißern dadurch weniger schnell. Das gleiche gilt für die Nachbearbeitung an Dreh- oder Fräsmaschinen. Ein weiterer Vorzug: Dank der niedrigen Bearbeitungstemperatur lässt sich Energie sparen. Bislang nutzen Hersteller die superplastischen Stähle vor allem für den Bau von Maschinen. Inzwischen zeigen aber auch die Automobilkonzerne Interesse an dem reißfesten Hightech-Material.

Details s. nächste Seiten

Superplastizität (S.)/2

Unter **S.** ist das Auftreten einer außergewöhnlich starken plastischen Verformung ohne Einschnürung oder Bruch zu verstehen. Während die metallischen Werkstoffe im Zugversuch normalerweise bei Dehnungen von weit weniger als 100 % zu Bruch gehen, liegen beim superplastischen Verhalten Dehnungen von mehreren hundert oder sogar tausend Prozent vor, s. Graphik. (Au: A_5 ca. 60 %)



Voraussetzungen:

- kleine Korngrößen (Korndurchmesser 1 bis 10 μm),
- Temperaturen oberhalb 0,5 T_s , sowie
- niedrige Umformgeschwindigkeiten.

Sie wurde sowohl bei einphasigen als auch bei mehrphasigen Werkstoffen beobachtet, wobei im letztgenannten Fall die Phasen etwa in gleicher Menge vorliegen müssen. Daher bauen viele superplastische Legierungen auf eutektischen oder eutektoiden Systemen aus zwei Komponenten mit annähernd gleicher Schmelztemperatur auf.

Der atomistische Mechanismus der **S.** ist noch nicht völlig geklärt. In Frage kommen drei Möglichkeiten, die aber wahrscheinlich miteinander kombiniert werden müssen:

- Korngrenzengleiten;
- spannungsinduzierte Leerstellenbewegung (viskose Verformung), entweder durch das Gitter oder entlang der Korngrenzen;
- dynamische Erholungsprozesse durch ständige Rekristallisation während der Verformung.

Die ständig wachsende Zahl superplastischer Legierungen läßt vermuten, daß **S.** ein allgemeiner Werkstoffzustand ist, in den sich alle Legierungen durch eine geeignete Kombination von Gefügestand und Verformungsbedingungen bringen lassen.

Es hat sich bisher insbesondere eine Al-Zn-Legierung bewährt, die zu je etwa 50% aus kfz und hP Mischkristallen in feinkristalliner Form (Mikroduplexgefüge) besteht; aber auch feinkristalline $\alpha + \beta$ -Messing-, $\alpha + \beta$ -Titan und $\alpha + \gamma$ -Eisenlegierungen sind superplastisch verformbar.

Auch die Fähigkeit keramischer Stoffe, sich bei niedrigen Druckspannungen unter gleichzeitiger Phasenumwandlung plastisch verformen zu lassen, wird zu den Erscheinungen der **S.** gezählt.

In der Regel ist das Kriechen der Werkstoffe ein schädlicher Vorgang, der über längere Zeiträume zu Formänderung oder Ribbildung und folglich Versagen eines Bauteiles führen kann (Flugturbinen, Kraftwerke).

Absichtlich herbeigeführt wird eine zeitabhängige Verformung beim Warmumformen, speziell beim **superplastischen** Umformen. Man strebt dabei ein mechanisches Verhalten entsprechend den viskos fließenden Flüssigkeiten an. Der Werkstoff soll ohne einzuschnüren sehr hohe Verformungsgrade erlauben und durch Fertigungsverfahren, die dem Glasblasen ähnlich sind, verarbeitbar sein. Es hat sich bisher insbesondere eine Al-Zn-Legierung bewährt, die zu je etwa 50% aus kfz und hdp Mischkristallen in feinkristalliner Form (Mikroduplexgefüge) besteht; aber auch feinkristalline $\alpha + \beta$ -Messing, $\alpha + \beta$ -Titan- und $\alpha + \gamma$ -Eisenlegierungen sind superplastisch verformbar. Im makroskopischen Verformungsverhalten dient zur Kennzeichnung der Eignung einer Legierung für diesen Prozeß der Exponent

$$m = \frac{d \ln \sigma}{d \ln \dot{\varphi}} \quad (\text{s. auch „Superplastizität_2.doc"})$$

der $m = 1$ für quasi viskoses Fließen erreicht und für superplastische Legierungen $m > 0,6$ betragen sollte.

Aus Hornbogen: „Werkstoffe“