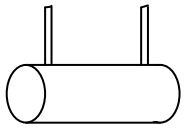
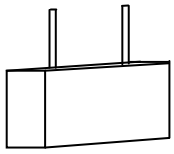
Einschluß-Test

Bei einer Stirlingmotor-Anlage mit Solar-Dish – vor allem einem Hybid-System (Kombination von Solar und Brenner) - ist eine Wärmeübertragung im Bereich von 650 bis 700°C mit einer Blei-Zinn-Schmelze aber unbedingt ratsam. Bei den Alternativen, der direkten Bestrahlung der Erhitzerrohre ist wegen des Hot-Spot-Effektes[1] die Gefahr des Durchbrennens einzelner Erhitzerrohre zu groß und ein Wärmerohr mit Natrium ist schwer beherrschbar, gefährlich und zu teuer.
Bei Stirlingmotoren in Lokomotiven benötigt man ebenfalls Metallschmelzen als Wärme-Reservoir, um die Schwungenergie beim Bremsen zu speichern.
Bei einer Metallschmelze gibt es wiederum keine Legierung, die bis zur Raumtemperaturen hinunter flüssig bleibt. Bei Stillstand der Anlage ist es daher wichtig zu wissen, dass Erhitzerrohre und andere Strukturen wie Zylinder in der erstarrenden Schmelze nicht zusammengedrückt werden. In der Literatur und im Internet sucht man vergebens nach gemessenen Werten für diese Umklammerungskräfte, die entstehen, wenn ein Körper von einer Metallschmelze eingeschlossen wird.
Der Einschluß-Test soll eine Gefährdung von eingeschlossenem Edelstahlrohren ausschließen und damit den Weg für ein derartiges Wärmeübertragungs-Konzeption freimachen.

Testkörper:

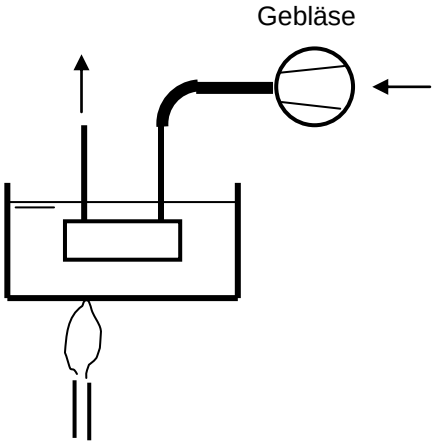


Testkörper1: beidseitig geschlossenes Edelstahlrohr mit zwei Kühlröhrchen



Testkörper2: Quader aus Edelstahlblech mit zwei Kühlröhrchen

Versuchs-Aufbau:



[1] Wenn eines der Röhrchen von der Sonne etwas stärker bestrahlt wird (z.B. durch zufällige Nebenspiegelungen), dann steigt die Temperatur in diesem Röhrchen an, was eine Viskositätsänderung in Richtung Dickflüssigkeit beim Helium zur Folge hat. Dadurch fließt das Helium in diesem Röhrchen langsamer, wodurch weniger Wärmeenergie ins Helium übernommen wird. Dadurch staut sich die Temperatur außen am Röhrchen und es tritt eine weitere Erhöhung der Temperatur im Röhrchen-Material ein. Das führt wiederum zu einer Viskositäts-Verschärfung und so weiter. Da der Edelstahl im Normalfall nur 120 bis 150 Kelvin von seinem Erweichungspunkt entfernt betrieben wird, ist dieser Punkt im betroffenen Röhrchen bald überschritten und es kommt zur Verzunderung und schließlich zum Durchschmelzen dieses Röhrchens.

Versuchs-Durchführung:

Das Metallbad wird mit einer Flamme zum Schmelzen gebracht. Der Testkörper1 wird in die Schmelze getaucht und nachdem dieser ebenfalls über die Schmelz-temperatur gebracht wurde, wird das Gebläse in Betrieb genommen und die Flamme abgestellt. Dabei wird das Metallbad mit Steinwolle isoliert, damit die wachsenden Kristalle vorrangig vom Testkörper ausgehen, so wie dies auch bei Erhitzerröhrchen der Fall sein würde. Es wird bis zu einer Temperatur von 70°C abgekühlt, die Isolierung weggenommen und wieder auf Schmelztemperatur erhitzt. Jetzt kann der Testkörper herausgenommen werden. Sieht er unversehrt aus, wird der Durchmesser alle 30Grad am Umfang in der Mitte des Testrohres gemessen. Wenn hier keine Abweichung zu den ursprünglichen Werten vorliegen, dann wird der gleiche Erstarrungs-Test noch einmal, aber bis zur Raumtemperatur durchgeführt. Kann auch dann keine Abweichung der Messwerte festgestellt werden, wird bis auf Minus 20°C abgekühlt (Stresstest, nur zur Sicherheit).
Danach werden die gleichen Abkühl-Zyklen mit dem Testkörper2 durchgeführt.

Protokoll:

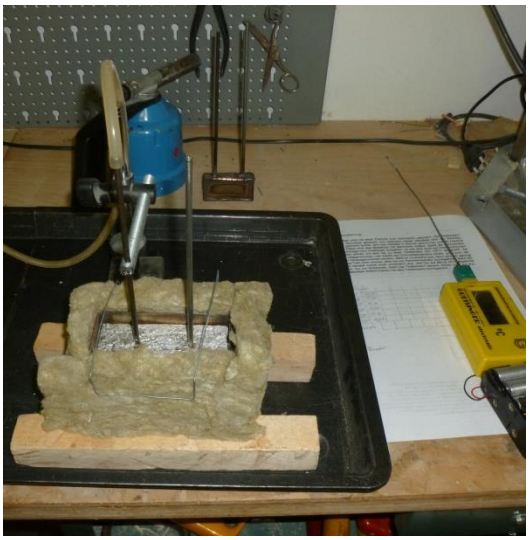
0°	15,73 mm	15,73 mm	15,75 mm	15,75 mm
30°	15,96 mm	15,94 mm	15,93 mm	15,96 mm
60°	15,94 mm	15,94 mm	15,94 mm	15,91 mm
90°	15,99 mm	15,98 mm	16,00 mm	15,99 mm
120°	15,99 mm	15,99 mm	16,01 mm	15,99 mm
150°	15,93 mm	15,91 mm	15,93 mm	15,90 mm
	70°C	20°C	-20°C	

Messmittel: Elektronische Schiebelehre mit Mess-Ungenauigkeit von 0,03 mm

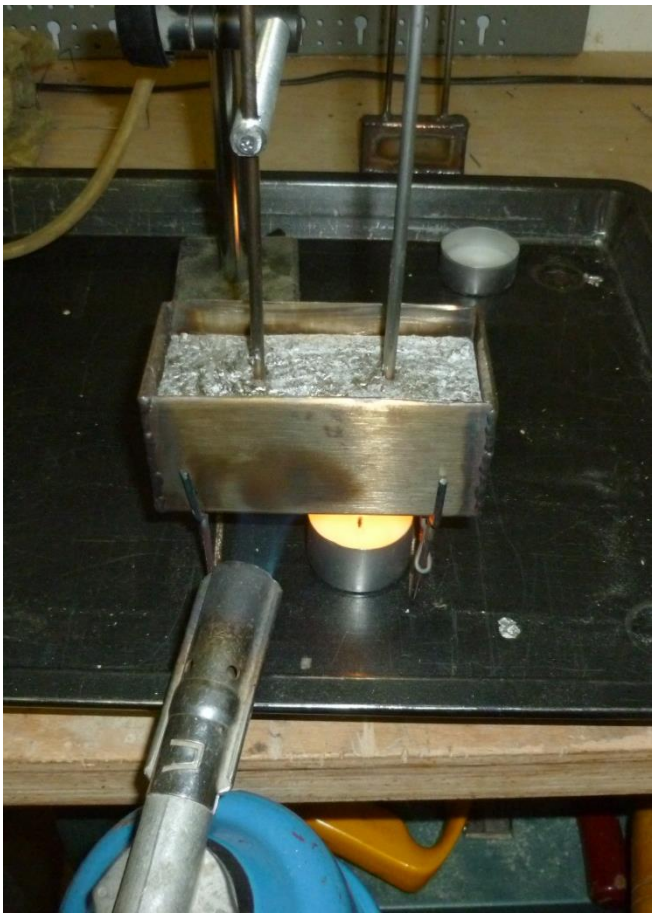
Ergebnis:

Die Umklammerungs-Kräfte reichten – sofern überhaupt vorhanden – nicht aus, um das Testrohr 16x1 zu verformen. Da man in der Praxis wesentlich dickwandigere Rohre verwendet, kann von einer Gefährdung von Edelstahl-Körper in erstarrenden Zinn-Blei-Bädern nicht die Rede sein.
Auch eine Verformung von ebenen Blechen konnte nicht nachgewiesen werden.

Bilder:



Probe bei der Erstarrung



Wiederaufschmelzung

Probe nach der Badentnahme

Probe nach Abschälen des Belags