

KfK 3614
Dezember 1983

Das Zeitstandverhalten von Rohren aus austenitischen Stählen bei Belastung durch Innendruck

L. Schäfer, H. Kempe
Institut für Material- und Festkörperforschung
Projekt Schneller Brüter

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Institut für Material- und Festkörperforschung
Projekt Schneller Brüter

KfK 3614

Das Zeitstandverhalten von Rohren aus austenitischen
Stählen bei Belastung durch Innendruck

L.Schäfer, H.Kempe

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Abstract

The Stress-Rupture Behavior of Tubes Made from Austenitic Stainless Steels and Ni-Based Alloys Subjected to Internal Pressure

The report outlines the stress-rupture results obtained on tubes tested as possible fuel rod cladding tubes for fast breeder reactors cooled with sodium, steam or gas. For the rupture elongations of some specimens showing a pronounced burst, higher values than in earlier reports are now indicated because of better evaluation techniques. The choice and comparisons of materials are explained, the calculations of stresses and strains are described, and reference is made to the own studies carried out to date of the parameters influencing creep-rupture behaviour. Minor modifications of the composition of an alloy and of the mechanical-thermal treatment of materials, respectively, are seen to produce clearcut changes in the stress-rupture properties.

Zusammenfassung

Es werden die Zeitstandergebnisse von Rohren berichtet, deren Eignung als Brennstab-Hüllrohre für Schnelle Brüter mit Natrium-, Dampf- bzw. Gaskühlung geprüft worden ist. Gegenüber früheren Berichten werden für die Bruchdehnungen einzelner stark aufgeplatzter Proben aufgrund besserer Auswertungsverfahren jetzt höhere Werte angegeben. Es wird die Materialauswahl erläutert und ein Materialvergleich durchgeführt. Ferner werden die Berechnungen von Spannungen und Dehnungen dargelegt, und es wird auf die bisherigen eigenen Untersuchungen der Einflußgrößen für das Zeitstandverhalten hingewiesen. Danach sind durch kleine Modifikationen der Legierungszusammensetzung bzw. der mechanisch-thermischen Materialbehandlung deutliche Änderungen des Zeitstandverhaltens erzielbar.

Inhalt

1. Einleitung
2. Materialauswahl
 - 2.1 Chemische Zusammensetzung
 - 2.2 Mechanisch-thermische Behandlung
 - 2.3 Probenart
3. Versuchseinrichtung und Versuchsdurchführung
4. Berechnung von Spannungen und Dehnungen
5. Versuchsergebnisse
 - 5.1 Allgemeines
 - 5.1.1 Zeitstandfestigkeit
 - 5.1.2 Bruchdehnung
 - 5.1.3 Metallografie
 - 5.2 Ergebnisse
 - 5.2.1 Einfluß des Werkstoffes
 - 5.2.2 Einfluß einzelner Legierungselemente
 - 5.2.2.1 Titan
 - 5.2.2.2 Molybdän
 - 5.2.2.3 Bor
 - 5.2.2.4 Silizium
 - 5.2.2.5 Sonstige (Nb, Ti+Al, Ni, Cr)
 - 5.2.3 Der Einfluß qualitativ unterschiedlicher Materialbehandlungen
 - 5.2.3.1 Allgemeines
 - 5.2.3.2 Stahl 1.4970
 - 5.2.3.3 Stahl 1.4981
 - 5.2.3.4 Stahl 1.4988
 - 5.2.4 Der Einfluß quantitativ unterschiedlicher Materialbehandlungen
 - 5.2.4.1 Lösungsglühung
 - 5.2.4.2 Kaltverformung
 - 5.2.4.3 Auslagerung
 - 5.2.5 Einfluß der Rohrabmessungen
6. Zusammenfassung
7. Literatur
8. Nomenklatur und Abkürzungen
9. Tabellen, grafische Darstellungen und metallografische Schlifffbilder

1. Einleitung

Im Rahmen des Projektes Schneller Brüter werden seit etwa 20 Jahren im Institut für Material- und Festkörperforschung (IMF II) des KfK Zeitstandversuche an Rohren mit Innendruckbelastung durchgeführt. Vor 10 Jahren ist der erste Sammelband aller damals vorhandenen Ergebnisse erschienen /1/. Der nun vorliegende zweite Sammelband enthält aus verschiedenen Gründen auch die meisten der bereits veröffentlichten Daten. Zum einen ergeben sich daraus interessante Vergleichsmöglichkeiten und zum anderen müssen einige der bisherigen Bruchdehnungen revidiert werden, weil inzwischen alle in Frage kommenden (stark aufgeplatzten) Proben nach verbesserten Auswertungsverfahren neu vermessen worden sind. In einem analogen Primärbericht /29/ sind außer den austenitischen Stählen noch fünf Nickelbasislegierungen enthalten, und es werden im Gegensatz zu dem vorliegenden Bericht auch von allen Werkstoffen die Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung grafisch dargestellt und metallografische Schliffbilder gezeigt.

Die Rohrwerkstoffe wurden nach den Anforderungen für die Brennelement-Hüllrohre eines Schnellen Brüters ausgewählt /2,3,4/. Einige Auswahlkriterien werden in dem Kapitel "Materialauswahl" diskutiert. Zur Qualifizierung der Werkstoffe als Hüllmaterial wurden u.a. die hier beschriebenen Zeitstandversuche ausgewählt. Nach neueren Erkenntnissen im IMF sind zwar die Kriechvorgänge im Reaktor im Normalbetrieb nicht thermisch aktiviert, sondern bestrahlungsinduziert oder -beschleunigt /19, 30/, aber bisher konnte angenommen werden, daß thermisches und bestrahlungsinduziertes Kriechen über die gleiche Wanderungsenergie von Leerstellen verbunden ist, so daß diese Art der Versuche sinnvoll ist. Dies gilt sogar uneingeschränkt für den Kriechvorgang nach einer Schnellabschaltung und bei hohen Temperaturtransienten.

2. Materialauswahl

An das Hüllmaterial für die Brennstäbe eines Schnellen Brüters werden folgende Anforderungen gestellt:

- 1.) Kleiner Absorptionsquerschnitt für schnelle Neutronen.
- 2.) Hohe Warmfestigkeit und Duktilität.
- 3.) Gute Resistenz gegen Porenschwellen.
- 4.) Geringes bestrahlungsinduziertes Kriechen.
- 5.) Gute Resistenz gegen Korrosion mit Natrium und Spaltprodukten.
- 6.) Gute technologische Eigenschaften (z.B. Schweißbarkeit, Warmverformbarkeit, Reproduzierbarkeit in der Herstellung usw.)
- 7.) Geringe Kosten für Material, Herstellung, Wiederaufarbeitung und Endlagerung.

2.1 Chemische Zusammensetzung

Die Forderung nach hoher Warmfestigkeit bei gleichzeitiger Verformbarkeit läßt nur Metalle und Metallegierungen als Werkstoff zu. Die meisten Metalle können nicht verwendet werden, weil sie zu teuer sind, oder weil sie einen zu hohen Neutronenabsorptionsquerschnitt haben, oder weil ihr Schmelzpunkt und damit auch die Warmfestigkeit zu niedrig liegen. In die erste Auswahl als Basismetall für eine Legierung kommen folgende Metalle: Eisen, Nickel, Chrom, Vanadium, Titan, Zirkon. Kobalt entfällt wegen der zu hohen Aktivität und Halbwertszeit des Isotopes $Co\ 60$. Die Titan- und die Zirkonlegierungen haben eine zu geringe Warmfestigkeit und die Chromlegierungen eine zu geringe Duktilität. Vanadinlegierungen verspröden durch Sauerstoffaufnahme stark. Damit verbleiben als Basismetalle für eine geeignete Legierung nur Eisen und Nickel.

Reines Eisen erfährt bei $910\ ^\circ C$ eine allotrope Umwandlung. Das Atomgitter ist oberhalb $910\ ^\circ C$ kubisch-flächenzentriert und darunter kubisch-raumzentriert. Das kubisch-flächenzentrierte Gitter hat gegenüber dem raumzentrierten nur $1/4$ der Gleitebenen und den kleineren Selbstdiffusionskoeffizient, d.h. es eignet sich besser für eine warmfeste Legierung. Die Anwendungstemperaturen der Kernkomponenten liegen unterhalb des γ -Bereiches von Eisen. Es müssen also Elemente zulegiert werden, die das γ -Gebiet zu tieferen Temperaturen erweitern. Dies ist möglich mit Nickel, Mangan, Kobalt, Kupfer und Kohlenstoff. Kupfer entfällt wegen seiner geringen Wirksamkeit und der schädlichen Nebenwirkungen auf die Warmumformbarkeit, ebenso Kobalt wegen seiner Aktivierbarkeit und Kohlenstoff wegen der geringen erzielbaren Wirkung. Nickel und Mangan sind als γ -Stabilisatoren gleichwertig und gut wirksam. Manganstähle sind allerdings nicht so warmfest wie nickellegierte Stähle, und Mangan hat einen viel höheren Absorptionsquerschnitt für schnelle Neutronen. Daher ist Nickel zur Erweiterung des γ -Bereiches vorzuziehen. Bei Berücksichtigung der Schwellresistenz sind etwa 25% notwendig. Die Festigkeit dieses Mischkristalls ist noch ungenügend. Durch Zulegieren von Elementen, die einen von der Matrix abweichenden Atomradius haben und in größeren Mengen substitutionell löslich sind, wird die Festigkeit athermisch erhöht, d.h. sie ist thermisch stabil, also auch und gerade bei hohen Temperaturen wirksam. Dafür sind die Metalle Chrom, Molybdän und Wolfram geeignet. Aus neutronenökonomischen Gründen kommt in größeren Mengen nur Chrom in Frage. Damit ist die Grundsubstanz geeigneter Legierungen der homogene γ -Mischkristall im Dreistoffsystem Fe-Ni-Cr. Die optimale Chrommenge ergibt sich aus der erwünschten

Matrixhärtung, der notwendigen Korrosionsresistenz und der Schwellneigung zu etwa 13% /5/.

Die Matrixhärtung des γ -Mischkristalls durch Chrom kann noch verstärkt werden durch Zulegieren kleiner Mengen von Molybdän oder Wolfram. Da Molybdän und Wolfram etwa gleich wirksam sind, wird im allgemeinen Molybdän vorgezogen, weil es die Korrosionsbeständigkeit erhöht, billiger ist und den niedrigeren Absorptionsquerschnitt hat. Für die relativ heißen Hüllrohre ist eine Legierungsmenge von $\sim 2\%$ Molybdän optimal, für kältere Bauteile weniger. Bei größerer Menge Molybdän würde der Absorptionsquerschnitt der Legierung so stark ansteigen, daß trotz weiter ansteigender Warmfestigkeit die Eignung für Kernkomponenten abnehmen würde.

Die bisher beschriebenen Legierungen erfüllen noch nicht die Anforderungen bezüglich der Zeitstandfestigkeit. Eine weitere Festigkeitssteigerung ist notwendig und u.a. möglich durch Ausscheidung einer neuen Phase. Die schon vorhandenen Legierungselemente bilden keine erwünschten Ausscheidungen, daher müssen neue ausscheidungsfähige Elemente hinzulegiert werden. In die engere Auswahl kommen die Karbide und Nitride von Titan, Chrom und Vanadium sowie die γ' -Phase (Ni_3Al). Die bekannten Ausscheidungen Niobkarbid und die γ'' -Phase (Ni_3Nb) sind nicht so günstig wegen des hohen Neutronenabsorptionsquerschnittes von Niob. Von den genannten Phasen ist das Titankarbid am geeignetsten, weil es am stabilsten ist und Kohlenstoff abbindet.

Die chemischen Zusammensetzungen der untersuchten Werkstoffe sind in Tabelle 61 aufgelistet. Man kann die Legierungen in folgende Gruppen einteilen: Die Legierungen Incoloy 800 mit der Werkstoff Nr. 1.4876 waren für einen dampfgekühlten Schnellen Brutreaktor ausgewählt worden und sind heute nicht mehr aktuell. Die restlichen austenitischen Stähle waren für einen natrium- bzw. gasgekühlten Schnellen Brüter vorgesehen. Ihre größte Untergruppe sind die 13 Entwicklungslegierungen, die keine Werkstoffnummer haben und deren Chargennummer mit "B" beginnt.

Die Legierungen mit der Schmelzen-Nr. B 6.. bestehen aus etwa 68% Fe, 15,5% Ni und 15,4% Cr. Bei ihnen wurde systematisch der Gehalt an Molybdän, Titan bzw. Silizium variiert, um den Einfluß dieser Elemente auf die interessierenden Materialeigenschaften untersuchen zu können. Die Legierungen mit der Schmelzen-Nr.

B 8.. stellen Abwandlungen des Stahles 1.4970 dar. Sie wurden in ihrem Nickelgehalt von etwa 15 auf 25% und in dem Chromgehalt von 9 auf etwa 15% variiert, um den Einfluß der Grundzusammensetzung auf die interessierenden Materialeigenschaften untersuchen zu können.

Die einfachste dieser Legierungen mit der Schmelzen-Nr. B 677 ist durch Chrommatrixgehärtet und über $M_{23}C_6$ ausscheidungshärtbar. Alle übrigen Legierungen haben eine zusätzliche Härtung der Matrix durch Mo (B 683, B 684 und B 685) oder eine zusätzliche Ausscheidungshärtung durch Si, Ti oder Nb (B 679, B 680, B 682, B 686, B 687 und B 692) oder beides (B 828, B 829 und B 830).

Die nächst größere Untergruppe besteht aus neun titanstabilisierten und bordotierten Stählen mit der Werkstoff Nr. 1.4970. Ihre chemische Zusammensetzung ist weitgehend einheitlich mit Ausnahme des erhöhten Siliziumgehaltes der Schmelze 5520/2, des erhöhten Stickstoffgehaltes der Schmelze 78419 und der unterschiedlichen Borgehalte.

Die Stähle mit der Werkstoff-Nr. 1.4401 unterscheiden sich entweder im Bor- oder im Titangehalt voneinander. Die Stähle mit der Werkstoff Nr. 1.4988 bzw. 1.4981 sind jeweils nahezu gleich zusammengesetzt. Es ist lediglich anzumerken, daß der Stickstoffgehalt der Charge 40344 unbekannt und der der Charge HV 139 etwas hoch ist.

2.2 Mechanisch-thermische Behandlung

Die mechanisch-thermische Behandlung ist in Tabelle 62 enthalten. Sie ist bei verschiedenen Werkstoffen wegen der unterschiedlichen Ausscheidungspotentiale meist auch verschieden. Mitunter wurde sie bei einem Werkstoff variiert, um bestimmte Materialeigenschaften gezielt zu beeinflussen. So hat beispielsweise die Kaltverformung der 13 Entwicklungslegierungen den Zweck, die Warmstreckgrenze und die Schwellresistenz des Materials zu erhöhen. Wenn, wie bei den meisten anderen Stählen, anschließend an die Kaltverformung ausgelagert wurde, so geschah dies mit der Absicht, feindisperse Ausscheidungen im Korn und größere an den Korngrenzen zu erzeugen, die den Kriechvorgang behindern und damit verlangsamen sollen. Gelegentlich wurde der Werkstoff auch lediglich lösungsgeglüht, womit man beabsichtigte, das Ausscheidungspotential erst bei längeren Standzeiten wirksam werden zu lassen, oder eine höhere Bruchdehnung zu erzielen. Eine Auslagerung nach der Lösungsglühung sollte Ausscheidungen an den Korngrenzen gegenüber dem

Korninneren begünstigen und dadurch die Duktilität, auch nach Bestrahlung, erhöhen. Eine anschließende Kaltverformung erhöht wiederum die Warmstreckgrenze und die Schwellresistenz.

2.3 Probenart

Das Versuchsmaterial sind nahtlose Präzisionsrohre, die im allgemeinen von der Fa. Interatom, Bergisch-Gladbach, beschafft und dem IMF zur Verfügung gestellt wurden. Die Rohre wurden vom Hersteller gemäß den allgemeinen Lieferbedingungen und vom Abnehmer nach den modernsten Methoden bezüglich Maßhaltigkeit und Fehlerfreiheit geprüft /6/. Nur fehlerfreie Rohrabschnitte wurden zu Zeitstandproben verarbeitet.

Die Probenform ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Rohrlänge ist durch Vergleichsuntersuchungen zu einem umfangreichen Bestrahlungsexperiment (Mol 2) mit 45 mm vorgegeben. Durch Vorversuche war festgestellt worden, daß bei Probenlängen ab 35 mm die gemessene Standzeit und die Bruchdehnung von der Probenlänge unabhängig sind /7/.

3. Versuchseinrichtungen und Versuchsdurchführung

Die Zeitstandanlage für Rohrinndruckversuche besteht aus einer Druckversorgungsanlage, den Zeitstandöfen mit Temperaturregelung und den Wegaufnehmern mit Schreibern zur Registrierung der Dehnung. In der Druckversorgungsanlage wird das Druckübertragungsmedium Argon in Kompressoren verdichtet und in Autoklaven gespeichert. Von dort wird jede Probe einzeln über eine Druckleitung versorgt und von je einem Manometer mit Widerstandsferngeber kontrolliert. Der Druck wird je nach der Güteklasse der Manometer auf einige atü genau gemessen und manuell geregelt.

Die Zeitstandöfen sind vertikal hängende Rohröfen mit je drei Heizwicklungen, die automatisch geregelt werden. Die Netzspannung wird mit Spannungsreglern stabilisiert, und der Laborraum ist durch eine Klimaanlage temperiert, so daß die Proben-temperatur auf ± 2 °C konstant bleibt. Die Kriechaufweitung der mit Innendruck belasteten Rohrproben wird mit der in Abbildung 1 skizzierten Dehnungsmeßeinrichtung gemessen. Der Außendurchmesser der Probe wird von zwei gegenüberliegenden und radial zur Rohrprobe angeordneten induktiven Wegaufnehmern kontinuierlich gemessen und auf einem Schreiber registriert.

Die Kriechproben werden in den kalten Ofen eingebaut, etwa 3-4 Std. bis auf Solltemperatur aufgeheizt und dann mit dem Prüfdruck belastet. Die Standzeit der Probe ist der Zeitraum zwischen der Belastung mit Druck und dem Beginn des Druckabfalles, der bei Gefügeauflockerung langsam und beim Aufplatzen des Rohres plötzlich eintritt. Die berichteten Versuche wurden an Normalatmosphäre durchgeführt.

Zur Bestimmung der Bruchdehnung wird an der abgekühlten Probe mit einer Mikrometerschraube an der Stelle der stärksten Ausbeulung der Außendurchmesser zweimal vermessen, wobei die Probe azimuthal um 90° gedreht wird. Die Dehnung wird als technische Tangentialdehnung der Rohraußenwand angegeben:

$$\varepsilon_{t,a} = \frac{\Delta d_a}{d_{a,0}} \cdot 100 [\%]$$

Manche Proben platzen am Ende der Standzeit an der Stelle mit der stärksten Ausbeulung auf. Diese Proben werden mit einer speziellen Einrichtung in Höhe ihrer größten Aufweitung azimuthal abgetastet. Dabei wird ein vergrößertes Kreisdiagramm des Probenumfangs aufgenommen, das anschließend per Computer vermessen wird. Wenn dies nicht möglich ist, weil die Probe zu bizarr aufgerissen ist, wird die vermutlich am stärksten gedehnte Probenstelle tangential mit einer Folie umklebt. Die Folie wird entlang der Aufreißkante der Probe abgeschnitten, anschließend abgezogen und auf Millimeterpapier vermessen. Früher wurden aufgeplatzte Proben am Ende des Schadensrisses wienicht aufgeplatzte vermessen. Damit wurde natürlich der am stärksten gedehnte Probenquerschnitt nicht erfaßt und die gemessene "Bruchdehnung" war zu klein. Zur Feststellung der Bruchart und des Gefügebildes wird in der Höhe der Reißmitte oder an der Stelle der größten Ausbauchung ein Querschliff der Probe metallographisch untersucht.

4. Berechnung der Spannungen und Dehnungen

In einem Rohr, das unter Innendruckbelastung steht, werden Spannungen erzeugt, die in drei senkrecht aufeinanderstehenden Hauptspannungsrichtungen zusammengefaßt werden können. Die drei Hauptspannungsrichtungen liegen entsprechend der Rohrgeometrie in tangentialer, axialer und radialer Richtung. Die drei Hauptspannungen können aus dem Innendruck und den Rohrabmessungen für jeden Ort der Rohrwand berechnet werden /8/. Damit können gleiche Belastungsfälle bei unterschiedlichen Rohrabmessungen berechnet werden. Bei den hier vorliegenden relativ dünnwandigen Rohren genügt es allerdings, die mittleren Spannungen zu berechnen und die Ortsabhängigkeit zu vernachlässigen. Je dünnwandiger ein Rohr ist, desto geringer sind bei gleicher Materialbeanspruchung die Spannungsunterschiede in der

Rohrwand. Daher sind die Spannungsumlagerungen beim plastischen Kriechen des Materials auch vernachlässigbar. Für jeden elastisch-plastischen Zustand haben die mittleren Hauptspannungen folgende Größe:

$$\text{Tangentialspannung} \quad \sigma_t = P_i \frac{d_i}{d_a - d_i}$$

$$\text{Axialspannung} \quad \sigma_{ax} = P_i \frac{1}{(d_a/d_i)^2 - 1}$$

$$\text{Radialspannung} \quad \sigma_r = -\frac{1}{2} P_i$$

(Darin bedeuten P_i - Rohrinndruck, d_a und d_i - Rohraußen- und -innendurchmesser)

Für einen Vergleich der Belastungsfälle, hier der Zeitstandfestigkeit, aus Versuchen mit unterschiedlichem Spannungszustand, beispielsweise bei Zug- und Rohrinndruckbelastung, ist es notwendig, aus den drei genannten Hauptspannungen eine Vergleichsspannung σ_V zu berechnen. Diese gibt an, welche Spannung im einaxialen Zugversuch das gleiche Materialverhalten, z.B. den Fließbeginn oder eine bestimmte Verformungsgeschwindigkeit, bewirkt wie beispielsweise in dem innendruckbelasteten Rohr, aus dessen Hauptspannungen sie berechnet wurde. Zur Berechnung der Vergleichsspannung muß eine Festigkeitshypothese ausgewählt werden, die dem Material, insbesondere seinem Bruchverhalten am besten entspricht. Nach den Beschreibungen von Wellinger und Dietmann /9/, /10/ sollte für die vorliegenden Werkstoffe die Gestaltsänderungsenergiehypothese am geeignetsten sein, da sie für verformungsfähige Werkstoffe gilt, die durch das Auftreten unzulässig großer plastischer Deformationen versagen. Für andere stabilisierte und unstabilierte austenitische Stähle ist dies nachgewiesen worden /11/. Daher wird angenommen, daß die Gestaltsänderungsenergiehypothese (von Mises yield criterion) auch hier anwendbar ist. Sie lautet in der Anwendung auf ein mit Innendruck belastetes Rohr:

$$\sigma_V = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_t - \sigma_{ax})^2 + (\sigma_t - \sigma_r)^2 + (\sigma_{ax} - \sigma_r)^2]^{1/2}$$

Mit den Vereinfachungen $\sigma_{ax} = 1/2 \cdot \sigma_t$ und $\sigma_r = 0$ ergibt sich die Näherungslösung:

$$\sigma_V = \frac{\sqrt{3}}{2} \sigma_t = \frac{\sqrt{3}}{2} P_i \frac{1}{(d_a/d_i) - 1}.$$

Analog gilt für die Vergleichsdehnung:

$$\epsilon_V = \frac{\sqrt{2}}{3} [(\epsilon_t - \epsilon_{ax})^2 + (\epsilon_t - \epsilon_r)^2 + (\epsilon_{ax} - \epsilon_r)^2]^{1/2}.$$

Die Bedingung für Volumenkonstanz $\epsilon_t + \epsilon_{ax} + \epsilon_r = 0$ und die Forderung, daß die drei Hauptscherdehnungen proportional zu den drei Hauptscherspannungen sind /12/

$$\frac{\epsilon_t - \epsilon_{ax}}{\sigma_t - \sigma_{ax}} = \frac{\epsilon_{ax} - \epsilon_r}{\sigma_{ax} - \sigma_r} = \frac{\epsilon_r - \epsilon_t}{\sigma_r - \sigma_t} = C \quad \text{bedingen, daß die}$$

axiale Kriechgeschwindigkeit bzw. Dehnung des Rohres, sofern es isotrope mechanische Eigenschaften hat, gleich Null ist, d.h. beim Kriechen wird das Rohr nicht länger /13/.

$$\epsilon_{ax} = \frac{2}{3} C [\sigma_{ax} - \frac{1}{2} (\sigma_r + \sigma_t)] = 0$$

Daraus ergibt sich, daß die tangentiale und die radiale Kriechgeschwindigkeit bzw. Dehnung gleich groß sind ($\epsilon_t = -\epsilon_r$) und daß für die Vergleichsdehnung folgende Näherungslösung gilt:

$$\epsilon_V = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \epsilon_t \cdot$$

Aus technischen Gründen kann nur die Tangentialdehnung und diese auch nur an der Rohraußenwand gemessen werden. Für genauere Berechnungen der Vergleichsdehnung kann nach Soderberg /14/ bei dünnwandigen Rohren die mittlere Tangentialdehnung $\epsilon_{t,m}$ aus der meßbaren äußeren $\epsilon_{t,a}$ berechnet werden.

$$\epsilon_{t,m} = [1 + \frac{s_0}{d_a - s_0}]^2 \cdot \epsilon_{t,a}$$

In dieser Arbeit wird die Bruchdehnung als technische Tangentialdehnung der Rohraußenwand angegeben. Ebenso wird die nominelle, d.h. die auf die Ausgangsabmessungen des Rohres bezogene Spannung verwendet, weil die wahre Spannung von der Dehnung und damit von der Zeit abhängig ist.

5. Versuchsergebnisse

5.1 Allgemeines

Die Ergebnisse der Zeitstandversuche sind in den Tabellen 1 bis 60 aufgelistet und in den grafischen Darstellungen der Abbildungen 28 und 29 beispielhaft am Stahl 1.4970 dargestellt. Außerdem sind metallografische Schlifffbilder in 200-facher Vergrößerung vom Ausgangszustand und von geborstenen Proben des gleichen Materials in den Abbildungen 28 und 29 gegeben. Zur Erleichterung der Korrelation von Tabellen, grafischen Darstellungen und Schlifffbildern haben sie hier die gleichen Tabellen- bzw. Abbildungs-Nummern. Die Werkstoffe sind in folgender Reihenfolge dargestellt: 1.4961; 1.4981; 1.4970; Entwicklungslegierungen; 1.4988; 1.4401 und 1.4876. Die Reihenfolge entspricht der in den Tabellen 61, 62 und 63. Die Beschreibung des Kriechverhaltens einiger der hier behandelten Legierungen ist in folgenden Berichten enthalten: /4, 11, 18, 20, 21, 23 und 25/.

5.1.1 Zeitstandfestigkeit

Die Zeitbruchlinien sind in doppeltlogarithmischer Auftragung der mittleren nominellen Tangentialspannung gegenüber der Standzeit dargestellt. Der Grund dafür ist der Versuch, die Spannungsabhängigkeit der Kriechgeschwindigkeit entsprechend dem Norton'schen Kriechgesetz /15/ mit

$$\dot{\epsilon} = k \cdot \sigma^n$$

zu verstehen.

Über die Monkman-Grant-Beziehung /16/

$$\log t_B + m \cdot \log \dot{\epsilon} = K$$

sollte dann die Darstellung der Zeitstandfestigkeit σ über der Standzeit in doppeltlogarithmischer Darstellung Geraden mit der Neigung $1/n$ bzw. n' ergeben. Die Abbildungen zeigen, daß dies nur in kleinen Spannungsbereichen angenähert gilt.

5.1.2 Bruchdehnung

Die Bruchdehnung wurde ebenfalls in Abhängigkeit von der Standzeit dargestellt, um eine leichte Zuordnung von Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung in den grafischen Darstellungen zu ermöglichen. Die Meßwerte der Bruchdehnung streuen relativ stark. Daher konnte öfter die Zeitabhängigkeit nur für einzelne Temperaturen oder nur als Streuband aller Temperaturen oder garnicht dargestellt werden. Ein Grund für die relative Streuung liegt darin, daß die vorliegenden Standzeiten im allgemeinen nur zwei Dekaden überstreichen und zur Erkennung eindeutiger Abhängigkeiten etwa 4 bis 5 Dekaden notwendig wären. Als Verlauf der Kurven ist im allgemeinen eine Kettenlinie zu erwarten /17/, von der aber auch lediglich das abfallende, das waagerechte und/oder das ansteigende Teilstück erfaßt worden sein kann.

5.1.3 Metallografie

Die metallographischen Schlifffbilder zeigen beispielhaft am Stahl 1.4970 in 200-facher Vergrößerung das Ausgangs- und Bruchgefüge im Rohrquerschnitt. Bezüglich der Bruchart gilt auch hier ganz allgemein, daß sie mit zunehmender Verformungsgeschwindigkeit und abnehmender Temperatur vom interkristallinen über den gemischten zum transkristallinen Bruch tendiert. Daher findet man im Bruchbild mit zunehmender Temperatur immer größere interkristalline Anrisse an der Rohrrinnen- und -außenwand. Lediglich die Rohrwandmitte reißt bei Temperaturen bis etwa 650 °C am Ende der Standzeit wegen der stark angestiegenen Tangentialspannung mit hoher Verformungsgeschwindigkeit in transkristalliner Art. Bei hohen Prüftemperaturen (von z.B. 750 °C) ist die Korngrenzenfestigkeit gegenüber der Kornfestigkeit meist schon so gering, daß im gesamten Gefüge die senkrecht zur Hauptspannungsrichtung (Tangentialspannung) liegenden Korngrenzen aufreißen und eine erhebliche Gefügeauflockerung bewirken. Das liefert einen deutlichen Beitrag zur Bruchdehnung.

5.2 Ergebnisse

In Tabelle 63 und den Abbildungen 2 bis 5 sind von allen untersuchten Werkstoffen, geordnet nach der Prüftemperatur, die Zeitstandfestigkeit und die Bruchdehnung bei einer Standzeit von viertausend Stunden dargestellt, um einen Vergleich der verschiedenen Materialien, Schmelzen und Materialbehandlungszustände zu ermöglichen.

5.2.1 Einfluß des Werkstoffes

Bezüglich der Werkstoffe kann eindeutig festgestellt werden, daß der austenitische Stahl 1.4970 allen anderen in der Zeitstandfestigkeit weit überlegen ist. Gäbe man allerdings der Duktilität die überwiegende Bedeutung, dann kämen evtl. auch andere Werkstoffe wie die Stähle 1.4981 und 1.4876 in Frage. Mit dem Stahl 1.4970 vergleichbar ist die Entwicklungslegierung B 828. Sie hat allerdings eine geringere Duktilität. Aus den übrigen zweitklassigen Legierungen kann man noch einige aussondern, die bezüglich des kombinierten Kriteriums von möglichst hoher Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung als besonders ungünstig erscheinen. Dazu zählen die Entwicklungslegierungen B692, B677, B679 und B696, die absichtlich so konzipiert sind, um verschiedene Legierungsparameter zu erproben und die relativ unbekannte Schmelze SL 1918, die wohl ebenfalls einen "Versuch" darstellt.

Die übrigen Legierungen lassen sich hier nicht weiter differenzieren, weil sie infolge unterschiedlicher Schmelzen und Materialbehandlungen variieren und sich gegenseitig überdecken. Ein Vergleich der Stähle 1.4970, 1.4981 und 1.4988 ist in /4/ enthalten.

5.2.2 Einfluß einzelner Legierungselemente

5.2.2.1 Titan

Der Einfluß des Titangehaltes auf die Zeitstandeigenschaften ist an folgenden Entwicklungslegierungen in Abb. 2 erkennbar:

- B 677 (Nr. 13) mit 0% Ti
- B 679 (Nr. 12) mit 0,25% Ti
- B 680 (Nr. 11) mit 0,49% Ti
- B 687 (Nr. 4) mit 1,15% Ti

Bei der Prüftemperatur von 600 °C nehmen mit zunehmendem Titangehalt sowohl die Zeitstandfestigkeit als auch die Bruchdehnung, die zu einer Standzeit von 4.000 Stunden gehören, zu /26/. Beim Stahl 1.4401 wirkt sich der Titanzusatz bei 650 °C gemäß Abb. 3 in einer Reduktion der Bruchdehnung bei ungefähr unveränderter Zeitstandfestigkeit aus. Bei kürzeren Standzeiten erhöht Titan die Zeitstandfestigkeit deutlich /20/.

Beim Stahl 1.4970 nimmt bei den Chargen 8-21577; 71087 und 8-29052 (mit 52 bzw. 60 ppm Bor) im Zustand LG+KV+A mit zunehmendem Titangehalt die 4.000 Std.-Zeitstandfestigkeit bei 700 °C deutlich zu und die Bruchdehnung ab. Bei 600 °C ist dies nicht der Fall.

Bei den Chargen 53544 und 78419 (mit 30 ppm Bor) nimmt im Zustand LG+KV+A mit zunehmendem Titangehalt bei 600 °C die Bruchdehnung und bei 700 °C die Zeitstandfestigkeit zu.

Die Wirkung des Titan ist uneinheitlich, weil sie von vielen Faktoren, wie z.B. den Prüfbedingungen und der jeweiligen Ausscheidungskinetik, abhängt. Wenn, wie beim Stahl 1.4970, ein Zeit-Temperatur-Ausscheidungsdiagramm vorhanden ist /24/, kann der Einfluß qualitativ abgeschätzt werden.

5.2.2.2 Molybdän

Der Einfluß des Molybdängehaltes auf die Zeitstandeigenschaften ist an folgenden Entwicklungslegierungen aus Abb. 2 ablesbar:

- B 677 (Nr. 13) mit 0% Mo
- B 683 (Nr. 10) mit 0,96% Mo
- B 684 (Nr. 9) mit 2,9% Mo
- B 685 (Nr. 8) mit 4,75% Mo

Bei 600 °C nehmen mit zunehmendem Molybdängehalt bis 2,9% sowohl die Zeitstandfestigkeit als auch die Bruchdehnung zu. Die Erhöhung des Molybdängehaltes von 2,9 auf 4,75% bringt hier keine Verbesserung mehr /20/. Bei den übrigen Legierungen ist der Molybdäneinfluß nicht separierbar.

5.2.2.3 Bor

Beim Stahl 1.4981 bewirkt die Zunahme des Borgehaltes (evtl. auch Nb) bei den Chargen HV 139 und 70015 im Zustand LG bei 600 und 700 °C eine Zunahme der Bruchdehnung und bei 700 °C auch eine Abnahme der Zeitstandfestigkeit.

Beim Stahl 1.4970 bewirken die Variationen des Borgehaltes zwischen 27 und 60 ppm keine signifikanten Änderungen des Zeitstandverhaltens.

5.2.2.4 Silizium

Da Silizium zur Erhöhung der Schwellresistenz in höheren Mengen (> 0,5%) als bisher in konventionellen Stählen üblich erwünscht ist, wird sein Einfluß auf das Zeitstandverhalten untersucht.

Die Entwicklungslegierungen B 677 (Nr. 13), B 686 (Nr. 7) und B 692 (Nr. 6) haben Siliziumgehalte von Null; 0,92 bzw. 2,9%. Ihre Zeitstandfestigkeit und Duktilität ist bei 0,92% Si höher als bei Null oder 2,9% Si. Wo aber das Optimum, insbesondere bei noch komplizierteren Legierungen - liegt, ist hier nicht erkennbar.

Der Stahl 1.4970, Charge 5520/2 hat mit 0,95% besonders viel Silizium. Die vergleichbaren Chargen 52774, 8-29052 und 53790 mit weniger als halb so viel Silizium unterscheiden sich im Zeitstandverhalten nicht von ihm, also ist dieser Siliziumgehalt akzeptabel.

5.2.2.5 Sonstige

Die Zugabe von etwa 0,4% Aluminium und 0,4% Titan wirkt sich beim Stahl 1.4876 in einer Verdopplung der Zeitstandfestigkeit aus. Die Ursache ist die Ausscheidung der γ' -Phase ($\text{Ni}_3\text{Al,Ti}$) /18/.

Die Zugabe von 1,56% Nb wirkt sich bei der Entwicklungslegierung B 682 (Nr. 5) gegenüber der entsprechenden niobfreien Legierung B 677 (Nr. 13) in einer Verdopplung der Zeitstandfestigkeit und einem Anstieg der Bruchdehnung von 1 auf 10% aus. Gegenüber den übrigen Entwicklungslegierungen verbleibt ihr bei allen Prüftemperaturen ein deutlicher Duktilitätsvorsprung.

Der Gehalt an Nickel und Chrom wurde in den Entwicklungslegierungen B 828 (Nr. 3), B 829 (Nr. 2) und B 830 (Nr. 1) variiert. Die Zeitstandfestigkeit nimmt bei allen Prüftemperaturen mit zunehmendem Chrom- und Nickelgehalt zu. Die Bruchdehnung ist davon unabhängig /26/. Die überragende Konzeption des Stahles 1.4970 ist daraus ersichtlich, daß er bei sonst gleicher Zusammensetzung wie die Legierung B 828 schon mit 15 statt 25% Ni die gleiche Zeitstandfestigkeit und eine höhere Bruchdehnung hat.

Den gleichen Einfluß von Cr und Ni hätte man bei einem Vergleich der Legierungen B 686 (Nr. 7) und SL 1918 sehen können. In Abb. 2 zeigen sie aber sehr ähnliche Eigenschaften. Die Ursache liegt in der höheren Kaltverformung der Legierung B 686 (Nr. 7), die den höheren Gehalt an Cr und Ni der Schmelze SL 1918 bezüglich der Zeitstandfestigkeit bei 600 °C kompensiert.

5.2.3 Der Einfluß qualitativ unterschiedlicher Materialbehandlungen

5.2.3.1 Allgemeines

Die Wirkungen mechanisch-thermischer Materialbehandlungen auf die Zeitstandeigenschaften lassen sich allgemeingültig, d.h. für jeden Werkstoff und für jede Prüfbedingung, nur sehr pauschal angeben. Hohe Lösungsglüh-Temperaturen und lange -Zeiten bauen die Kaltverformung ab, führen zu Korngrößenänderungen, bewirken eine Homogenisierung der Matrix und erhöhen durch Auflösung von Ausscheidungen das Ausscheidungspotential des Werkstoffes. Gegenüber dem relativ stabilen Zustand LG+A, der im allgemeinen die niedrigste Zeitstandfestigkeit und höchste Bruchdehnung aller Materialbehandlungszustände aufweist, hat der rein lösungsgeglühte Zustand bei Prüfbedingungen (Temperatur und Standzeit), die zeitstandrelevante Ausscheidungen zulassen, eine niedrigere Bruchdehnung und eine höhere Zeitstandfestigkeit. Beides ist auf die während der Zeitstandbeanspruchung ablaufenden Ausscheidungen zurückzuführen. Bei Temperaturen und/oder Standzeiten, die noch keine zeitstandrelevanten Ausscheidungen zulassen, ist es umgekehrt. Der Abstand zwischen den beiden Zuständen LG und LG+A hängt dann nur von A ab. Bei relativ hohen Temperaturen, wo während der Zeitstandbeanspruchung auch im lösungsgeglühten Zustand ähnliche Ausscheidungen ablaufen wie sie beim Zustand LG+A durch die Auslagerung erzeugt wurden, gibt es keinen relevanten Unterschied im Zeitstandverhalten.

Wird der Werkstoff nach der Lösungsglühung kaltverformt, so erhöht sich die Zeitstandfestigkeit, und die Bruchdehnung nimmt ab. Das Ausmaß der Änderung ist abhängig vom Kaltverformungsgrad und von den Prüfbedingungen (Temperatur und Standzeit), die zum Abbau der Kaltverformung führen.

Eine Auslagerung nach der Kaltverformung bezweckt gezielte Ausscheidungen an den durch die Kaltverformung erzeugten Versetzungen, wodurch die Zeitstandfestigkeit erhöht werden soll. Dieses Ziel wird aber außer beim Stahl 1.4970 selten erreicht, so daß als Vorteil meist nur die höhere Korrosionsresistenz übrig bleibt /27/.

5.2.3.2 Stahl 1.4970

Die Charge 8-29052 wurde im Zustand LG+KV und LG+KV+A_{1/2} untersucht. Die Auslagerung von 800 °C-2h bewirkt bei 600, 650 und 700 °C eine Erhöhung der Zeitstandfestigkeit und bei 650 und 700 °C eine Erniedrigung der Bruchdehnung.

Die Charge 8-22075 wurde in den Zuständen LG; LG+KV;; LG+A; LG+KV+A und LG+A+KV bei 700 °C untersucht. Die Zustände LG und LG+KV sind hier erstaunlicherweise fast gleichwertig. Die Auslagerung nach der Kaltverformung bringt die erwartete Erhöhung der Zeitstandfestigkeit und Erniedrigung der Bruchdehnung. Das gleiche bewirkt eine auf den Zustand LG+A folgende Kaltverformung.

Die Auslagerung nach dem Lösungsglühen erniedrigt die Zeitstandfestigkeit, erhöht aber nicht die Bruchdehnung, d.h. die Ausscheidungen werden wohl stärker als erwünscht an den Korngrenzen liegen.

Bei Prüftemperaturen von 600, 650 und 700 °C hat der Zustand LG+KV+A gegenüber dem Zustand LG+A+KV die höhere Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung. Bei 750 °C ist dies eher umgekehrt /23/. Der Zustand LG+KV+A ist der Referenzzustand für die Brennelement-Hüllrohre des ersten Kernes des SNR-300. Er besitzt außer den hervorragenden Zeitstandeigenschaften auch eine gute Korrosionsresistenz gegenüber Spaltprodukten /27/.

5.2.3.3 Stahl 1.4981

Die Charge 70015 wurde in den Zuständen LG und LG+KV bei 600 und 700 °C untersucht. Der Zustand LG zeichnet sich durch eine sehr hohe Bruchdehnung aus. Die nachfolgende Kaltverformung erhöht bei 700 °C die Zeitstandfestigkeit und erniedrigt die Bruchdehnung bei 600 und 700 °C drastisch. Weshalb bei 600 °C die Zeitstandfestigkeit nicht erhöht ist, ist unverständlich.

Bei der Charge HV 139 sind bei 700 °C die Zustände LG und LG+A nahezu gleichwertig. Man hätte erwartet, daß der ausgelagerte Zustand eine noch etwas größere Bruchdehnung und eine geringere Zeitstandfestigkeit gezeigt hätte /28/.

5.2.3.4 Stahl 1.4988

Die Charge 25116 wurde im Zustand LG und LG+A untersucht. Die Auslagerung erbrachte bei 600 und 650 °C eine Erhöhung der Zeitstandfestigkeit und bei 700 °C eine Erniedrigung der Zeitstandfestigkeit verbunden mit einer Erhöhung der Bruchdehnung. Das Ergebnis bei 700 °C ist plausibel.

5.2.4 Der Einfluß quantitativ unterschiedlicher Materialbehandlungen

5.2.4.1 Lösungsglühung

Der Einfluß von zwei unterschiedlichen Lösungsglühtemperaturen auf die Zeitstandeigenschaften wurde beim Stahl 1.4970, Chg. 52774 und Chg. 53790 untersucht. Bei Charge 53790 ergaben sich bei 650 °C keine signifikanten Unterschiede zwischen Proben mit einer Lösungsglühtemperatur von 1100 °C - 5 min und solchen mit 1120 °C - 5 min. Bei Charge 52774 führte die höhere Lösungsglühtemperatur von 1100 °C - 5 min gegenüber der niedrigeren von 1080 °C - 5 min bei hohen Prüftemperaturen (700 und 750 °C) zu einer höheren Zeitstandfestigkeit und zu einer niedrigeren Bruchdehnung. Bei niedrigeren Prüftemperaturen (600 und 650 °C) ist es eher umgekehrt. Die Ursache für den Effekt bei hohen Prüftemperaturen liegt wahrscheinlich in dem größeren Ausscheidungspotential an M_2B und (Ti,Mo) C /24/ der höher lösungsgeglühten Proben /20, 25/.

5.2.4.2 Kaltverformung

Der Einfluß unterschiedlicher Kaltverformungsgrade auf die Zeitstandeigenschaften wurde bei zwei Schmelzen des Stahles 1.4981 untersucht. Bei der Schmelze 51857 nimmt mit zunehmender Kaltverformung bei niedrigen Temperaturen die Zeitstandfestigkeit ab und bei hohen Temperaturen die Bruchdehnung zu. Bei der Schmelze 70015 ist zwischen 12 und 18% Kaltverformung kein signifikanter Unterschied erkennbar /21, 22/.

5.2.4.3 Auslagerung

Der Einfluß unterschiedlich langer Auslagerungszeiten wurde beim Stahl 1.4970, Chg. 8-29052 untersucht. Die Auslagerung mit 800 °C - 2 Std. erzeugt gegenüber der Auslagerung mit 800 °C - 23 Std. eine höhere Zeitstandfestigkeit und niedrigere Bruchdehnung. Die Ursache liegt darin, daß die in 2 Stunden erzeugten Ausscheidungen relativ klein und fein verteilt sind, während nach 23 Std. schon mit der Ostwald-Reifung zu rechnen ist, bei der die kleinen als Versetzungshindernisse sehr wirksamen Ausscheidungen zugunsten größerer aufgezehrt werden.

Der Einfluß unterschiedlich hoher Auslagerungstemperaturen und unterschiedlich langer Auslagerungszeiten wurde beim Stahl 1.4988, Chg. 25116 untersucht. Bei 600 °C, wo im Zeitstandversuch wegen der geringen Diffusionsgeschwindigkeit noch keine Ostwald-Reifung ablaufen kann, ist die Auslagerung mit 800 °C - 1 Std. der mit 750 °C - 3 Std. überlegen. Bei höheren Temperaturen (650 und 700 °C) ist dagegen die Auslagerung mit 750 °C - 3 Std. vorteilhafter.

Bei 700 °C sind die Auslagerungen 750 °C - 20 Std., 800 °C - 1 Std. und 800 °C - 20 Std. etwa gleichwertig, aber relativ ungünstig. Eine zusätzliche Auslagerung bei 540 bis 590 °C über 135 bis 203 Tage hat keinen meßbaren Einfluß auf die Zeitstandeigenschaften bei einer Standzeit von 4.000 Std. Bei geringeren Standzeiten erzeugen die niedrigeren Auslagerungstemperaturen die höheren Zeitstandfestigkeiten.

5.2.5 Einfluß der Rohrabmessungen

Der Stahl 1.4988, Chg. 40344 wurde in den Abmessungen 5,4 mm Außendurchmesser x 0,25 mm Wandstärke und 6,3 mm Außendurchmesser x 0,38 mm Wandstärke untersucht. Nach Tab. 51 ist die Zeitstandfestigkeit beider Rohrsorten gleich. Die Bruchdehnung der dickwandigen Rohre ist aber doppelt so hoch wie die der dünnwandigen.

Beim Stahl 1.4970, Chg. 53544 kann man die Abmessungen 8,5 x 0,55 mm und 6,0 x 0,38 mm bei 700 °C vergleichen. Dort haben die dickwandigeren Rohre die höhere Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung.

Man kann daraus schließen, daß bei Versuchsbedingungen, die eine Tendenz zum interkristallinen Bruch bewirken, die Anzahl der Körner über die Rohrwanddicke eine Einflußgröße ist und daß deshalb dickwandige und feinkörnige Rohre vorteilhaft sind.

6. Zusammenfassung

Es werden die Zeitstandergebnisse von Rohren berichtet, deren Eignung als Brennelement-Hüllrohre für Schnelle Brüter mit Natrium-, Dampf- bzw. Gaskühlung geprüft worden sind. Die Materialauswahl wird erläutert, und es wird diskutiert, welche Einflußgrößen auf das Zeitstandverhalten aus dem vorgelegten Datenmaterial erkennbar sind. Danach sind durch kleine Modifikationen der Legierungszusammensetzung und/oder der mechanisch-thermischen Materialbehandlung deutliche Änderungen der Zeitstandeigenschaften erzielbar. Gegenüber früheren Berichten, die größtenteils zitiert wurden, werden für die Bruchdehnung einzelner stark aufgeplatzter Proben aufgrund besserer Auswertungsverfahren jetzt höhere Werte angegeben. Die Berechnung der Spannungen und Dehnungen sowie der Vergleichsgrößen zu Versuchen mit einaxialem Spannungszustand wird beschrieben.

Danksagung:

Die Autoren danken Herrn F. Polifka für die Durchführung eines Teiles der Zeitstandversuche, Herrn R. Schmitt für die Hilfe bei der Herstellung der Zeichnungen mittels Computer-Plot und den Angehörigen der Metallografie des IMF II.

7. Literatur

- /1/ Polifka, F., Schäfer, L., Kempe, H.
Das Zeitstandverhalten von Rohren aus austenitischen Stählen und Nickel-
basislegierungen bei Belastung durch Innendruck
KfK 1882 (1973)
- /2/ Laue, H.J.
III. Hüllmaterialauswahl
In: Beißwenger, H. et al: Die Entwicklung von Brennelementen Schneller
Brutreaktoren
KfK 700 (1967)
- /3/ Böhm, H. (Hrsg)
Hüllwerkstoffe für Schnelle Brutreaktoren
KfK 985 (1969)
- /4/ Closs, K.D., Schäfer, L., Schirra, M., Wassilew, C.
VII. Einfluß der Bestrahlung auf die Festigkeitseigenschaften von Hüllwerk-
stoffen
In: Böhm, H., Dienst, W., Kummerer, K.: Arbeiten zur Brennelement-Ent-
wicklung für den Schnellen Brutreaktor SNR-300
KfK 1999 (1974), S. 119-148
- /5/ Schäfer, L.
(1978) unveröffentlichter Bericht
- /6/ Vollath, D., Jacobi, O.
XV. Qualitätskontrolle an Brennstoffen, Hüllrohren und Brennstäben
In: Böhm, H., Dienst, W., Kummerer, K. (Hrsg): Arbeiten zur Brennelement-
entwicklung für den schnellen Brutreaktor SNR-300
KfK 1999 (1974), S. 251-270
- /7/ Schäfer, L.
(1980) unveröffentlichter Bericht

- /8/ Lamé, G.
Lecons sur la Théorie Mathématique de L'Elasticité des Corps Solides
Paris: Bachelier 1852
- /9/ Wellinger, K., Dietmann, H.
Festigkeitsberechnungen
Stuttgart: Alfred Kröner 1966
- /10/ Dietmann, H.
Spannungszustand und Festigkeitsverhalten
MPA Stuttgart, Techn.-wiss. Bericht, Heft 68-04 (1968)
- /11/ Closs, K.D., Schäfer, L.
Untersuchungen über das Zeitstand- und Kriechverhalten von Hüllrohrproben mit und ohne Bestrahlung
In: Dalle Donne, M., Kummerer, K., Schroeter, K. (Hrsg): Proceedings of an International Meeting on Fast Reactor Fuel and Fuel Elements, Karlsruhe, September 28-30, 1970
Karlsruhe: Gesellschaft für Kernforschung mbH. 1970, S. 675-698
- /12/ Soderberg, C.R.
The Interpretation of Creep Tests for Machine Design
Transactions of the ASME, 58 (1936) S. 733
- /13/ Finnie, I., Heller, W.R.
Creep of Engineering Materials
New York: McGraw-Hill 1959
- /14/ Soderberg, C.R.
Interpretation of Creep Tests on Tubes
Transactions of the ASME, 63 (1941) S. 737-748
- /15/ Norton, F.H.
The Creep of Steel at High Temperatures
McGraw-Hill Publ. Co. Ltd. 1929
- /16/ Monkman, F.C., Grant, N.J.
An Empirical Relationship between Rupture Life and Minimum Creep Rate in Creep-Rupture Tests
Proc. ASTM 56 (1956) S. 593 - 620

- /17/ Ilschner, B.
Hochtemperatur-Plastizität
1. ed. Berlin: Springer-V. 1973, S. 177-182
- /18/ Closs, K.D., Schäfer, L.
Das in-pile Zeitstand- und Kriechverhalten der Legierung Incoloy 800
KfK 1599 (1972)
- /19/ Wassilew, C.
(1983) unveröffentlichter Bericht
- /20/ Schäfer, L., Kempe, H.
(1983) unveröffentlichter Bericht
- /21/ Schäfer, L., Polifka, F., Kempe, H.
Das Zeitstand- und Kriechverhalten von Rohren aus dem austenitischen
Stahl X8 CrNiMoNb 1616 (Werkstoff-Nr. 1.4981) bei Belastung durch Innen-
druck
KfK 2773 (1979)
- /22/ Closs, K.D., Schäfer, L.
Influence of Cold Work on the In-Pile Stress Rupture Strength of 16
Chromium-16 Nickel-Niobium Austenitic Stainless Steels
Journal of Testing and Evaluation, JTEVA, Vol. 5, No. 3, May 1977,
pp. 201-209
- /23/ Schäfer, L., Polifka, F., Kempe, H.
Das Zeitstand- und Kriechverhalten von Rohren aus dem Stahl X10 NiCrMoTiB
15 15 (Werkst. Nr. 1.4970) bei Belastung mit Innendruck
KfK 2543 (1978)
- /24/ Padilha, A.F., Schanz, G., Anderko, K.
Ausscheidungsverhalten des titanstabilisierten austenitischen Stahls
15% Cr-15%Ni-1%Mo-Ti-B (DIN-Werkstoff-Nr. 1.4970)
Journal of Nuclear Materials 105 (1982) 77-92

- /25/ Schäfer, L., Kempe, H., Polifka, F.
(1980) unveröffentlicher Bericht
- /26/ Schäfer, L., Kempe, H.
(1982) unveröffentlicher Bericht
- /27/ Schäfer, L., Hofmann, P.
Tensile Properties of 1.4970 Austenitic Stainless Steel after Corrosion Caused by Uranium Dioxide and Simulated Fission Products
Journal of Nuclear Materials 115 (1983) 169-177
- /28/ Böhm, H., Schirra, M., Solano, R., Garcia, R.
Das Zeitstand- und Kriechverhalten der Legierung X8CrNiMoNb 1616 in verschiedenen Vorbehandlungszuständen
KfK 1512 (1971)
- /29/ Schäfer, L., Kempe, H.
(1983) unveröffentlicher Bericht
- /30/ Wassilew, C., Anderko, K., Schäfer, L.
Bestrahlungsinduziertes Kriechen oberhalb $0,5 T_S$ bei stabilisierten austenitischen Stählen. In: Poirier, J., Dupouy, J.M. (Hrsg.): Bestrahlungsverhalten metallischer Hüll- und Strukturwerkstoffe für Schnelle Brutreaktoren
Ajaccio, 4.-8. Juni 1979. Gif-Sur-Yvette: CEA-DMECN 1979, S. 420-425

8. Nomenklatur und Abkürzungen

<u>Symbole</u>		<u>Indizes</u>			
d	-	Durchmesser des Rohres	o	-	Anfangsbedingungen, Nominalwerte
P	-	Druck			
s	-	Wandstärke	a	-	auf die Außenwand bezogen
σ	-	Spannung			
ϵ	-	Dehnung	i	-	auf die Innenwand bezogen
$\dot{\epsilon}$	-	Kriechgeschwindigkeit			
K	-	Konstante	m	-	auf die Wandmitte bezogen
δ	-	Bruchdehnung			
t	-	Zeit	ax	-	axial
n	-	Spannungsexponent	t	-	tangential
k	-	Kriechgeschwindigkeit bei $\sigma = 1$	r	-	radial
m	-	Monkman-G.-Exponent	V	-	Vergleichs-
			j	-	beliebige Zahl
			B	-	Bruch

Abkürzungen

IMF	-	Institut für Material- und Festkörperforschung
KfK	-	Kernforschungszentrum Karlsruhe
LG	-	lösungsgeglüht
kv	-	kaltverformt
A	-	Auslagerung (Glühung)
MRW	-	Mannesmann- Röhrenwerke
DEW	-	Deutsche Edelstahlwerke
Chg.	-	Charge, Schmelze

9. Tabellen, grafische Darstellungen und metallografische Schlifffbilder

Tabelle 1 :

Werkstoff: 1.4961

Charge: 33577

Zustand: lg + \leq 12% Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ_t (MPa)	t _B (h)	δ_t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com- puter	Klebe- streif.	Mikro- meter
600	325	400	270	812	4,7			X
"	330	440	297	30	6,7			X
"	331	350	237	704	3,85			X
"	332	370	250	457	4,17	X		
"	358	300	203	1587	5,17			X
650	318	300	203	154	5,0	X		
"	323	250	169	508	4,8	X		
"	324	340	230	50	5,66			X
"	328	220	149	778	3,66	X		
"	343	160	108	2105	6,8			X
700	320	170	115	242	10,0			X
"	321	250	169	40	6,7	X		
"	322	200	135	131	6,3	X		
"	326	150	101	377	9,0			X
"	327	120	81	696	12,15			X
"	337	100	68	1543	15,3			X
"	340	75	51	3300	16,3			X

Tabelle 2 :

Werkstoff: 1.4981
Zustand: lg + ~ 7% Kv

Charge: 70015
Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf- temp. (°C)	Ver- such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com- puter	Klebe- streif.	Mikro- meter
600	801	450	304	7	15,7	X		
"	804	400	270	500	8,54			X
"	805	420	284	69				
"	819	350	237	2084	9,24	X		
"	821	450	304	110	10,4	X		
"	822	420	284	427	13,4	X		
"	826	480	324	20	8,8	X		
"	827	380	257	672	6,54			X
"	830	400	270	433	22,69	X		
"	939	400	270	601	18,1	X		
700	699	300	203	2	15,3	X		
"	700	200	135	104	9,34	X		
"	701	250	169	16	17,8	X		
"	702	180	122	121	24,0			X
"	703	150	101	454	23,3			X
"	716	120	81	1057	22,5			X
"	723	180	122	73	15,2			X
"	724	150	101		13,5			X
"	748	160	108	245	16,18			X
"	782	200	135	129	22,08	X		
"	789	230	155	38	12,15	X		
"	817	250	169	85	11,7	X		

Tabelle 3a :

Werkstoff: 1.4981

Charge: 70015

Zustand: lg + 12 % Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf- temp. (°C)	Ver- such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnmessmethode		
						Com- puter	Klebe- streif.	Mikro- meter
600	779	450	304	479	6,69	X		
"	783	300	203		5,04	X		
"	784	320	216					
"	792	500	338	250	5,3	X		
"	793	420	284	616	5,2	X		
"	794	400	270	907	4,3	X		
"	796	550	372	146	1,3			X
"	799	600	406	84	8,49	X		
"	800	480	324	288	9,45	X		
"	809	700	473	10	0,85	X		
"	814	450	304	587	2,17			X
"	818	360	243	1619	4,26			X
"	864	450	304	589	9,0	X		
"	896	600	406	89	8,44	X		
"	928	450	304	135	16,6	X		
"	931	400	270	183	3,17			X
"	932	480	324	91	2,17			X
"	937	600	406	3	nicht	auswertbar		
"	938	450	304	131	6,16	X		
"	965	480	324	97	3,08	X		
"	1025	480	324	329	6,26	X		
"	1047	550	372	43	23,35	X		
"	1048	400	270	988	1,17			X
"	1049	450	304	667	4,7	X		
"	1050	500	338	115	6,85	X		
"	1065	500	338	117	7,48	X		
"	1082	500	338	129	6,95	X		
"	1087	550	372	15	5,94	X		
"	1893	700	473	5	6,3	X		

Tabelle 3b :

Werkstoff: 1.4981

Charge: 70015

Zustand: lg + 12 % Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf- temp. (°C)	Ver- such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnmessmethode		
						Com- puter	Klebe- streif.	Mikro- meter
650	678	250	169	306	nicht auswertbar			
700	704	250	169	188	1,3			X
"	714	280	189	34	9,66	X		
"	715	230	155	108	7,2	X		
"	717	220	148	115	1,3			X
"	720	200	135	189	1,3			X
"	721	230	155	120	11,46	X		
"	722	200	135	625	18,1	X		
"	726	250	169	74	1,3			X
"	745	160	108	710	1,0			X
"	780	280	189	54	4,99	X		
"	781	200	135	282	1,17			X
"	786	180	122	395	5,2	X		
"	795	222	150	135	2,0			X
"	797	310	210	80	5,5			X
"	848	200	135	954	4,3			X
"	850	160	108	2064	3,66			X
"	885	200	135	203	nicht auswertbar			
"	966	230	155	64	7,75	X		

Tabelle 4 :

Werkstoff: 1.4981

Charge: 70015

Zustand: lg + ~ 18% Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	1141	380	257	704	3,34			X
"	1144	400	270	642	6,69	X		
"	1148	420	284	552	6,9	X		
"	1154	450	304	146	9,55	X		
"	1156	480	322	268	6,05	X		
"	1157	360	242	445	1,5			X
"	1163	580	392	61	nicht auswertbar			
"	1171	360	243	983	nicht auswertbar			
"	1226	500	338	258	5,36	X		
"	1227	320	216	2131	2,5			X
650	1110	400	270	11	1,0			X
"	1111	350	236	136	6,16	X		
"	1113	330	223	164	5,35	X		
"	1114	300	203	274	2,84			X
"	1118	230	155	784	2,66			X
"	1121	260	175	492	2,5			X
"	1127	200	135	732	2,84			X
"	1143	200	135	593	3,66			X
"	1155	210	142	1524	3,17			X
700	842	200	135	537	6,8			X
"	1104	280	189	81	10,0	X		
"	1105	300	203	65	6,95	X		
"	1106	250	169	164	5,0			X
"	1108	230	155	252	4,17			X
"	1109	200	135	659	4,5			X
"	1119	180	122	881	6,5			X
"	1142	160	108	1464	5,0			X

Tabelle 5a :

Werkstoff: 1.4981

Charge: 51857

Zustand: lg + 10% Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	1043	400	270	890	4,0			X
"	1067	360	243	1260	2,16			X
"	1068	450	304	314	12,15	X		
"	1069	500	338	42	7,3			X
"	1071	480	322	51	9,1	X		
650	969	350	236	182	8,8	X		
"	970	300	203	349	4,67			X
"	971	280	189	379	6,5			X
"	989	230	155	819	5,07			X
"	990	200	135		6,16			X
"	991	400	270	24	9,8	X		
"	1175	380	257	190	1,8			X
"	1192	300	203	398	0,8			X
"	1199	380	257	131	4,14	X		
"	1204	350	236	299	3,17			X
"	1208	400	270	127	11,68	X		
"	1218	420	284	86	11,84	X		
"	1222	320	236	329	1,3			X
"	1233	260	175	964	2,0			X
"	1298	400	270	43	16,4	X		
"	1350	250	169	1504	2,0			X
"	1362	400	270	113	10,4	X		
"	1366	460	311	32	8,1	X		
"	1462	200	135	1231	7,66			X
700	950	250	169	135	17,8	X		
"	951	170	115	1474	9,5			X
"	952	200	135	232	16,15			X
"	962	280	189		16,77	X		

Tabelle 5b :

Werkstoff: 1.4981

Charge: 51857

Zustand: lg + 10% Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf- temp. (°C)	Ver- such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com- puter	Klebe- streif.	Mikro- meter
700	1000	150	101	781	4,66			X
"	1005	190	128	648	9,84			X
"	1859	300	203	98	2,5			X
750	1378	200	135	96	2,17			X
"	1383	180	122	224	2,8			X
"	1392	150	101	622	3,3			X
"	1396	100	67	973	3,3			X
"	1405	230	155	63	10,4	X		
"	1449	130	87	661	4,16			X
"	1451	250	169	50	3,3			X
"	1485	150	101	289	2,66			X
"	1486	130	87	528	2,7			X
"	1506	150	101	233	2,16			X
"	1529	90	60	1752	2,3			X

Tabelle 6a :

Werkstoff: 1.4981

Charge: 51857

Zustand: lg + 15% Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf- temp. (°C)	Ver- such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com- puter	Klebe- streif.	Mikro- meter
600	1072	480	322	89	3,9	X		
"	1073	420	284	416	6,58	X		
"	1074	450	304	374	2,44	X		
"	1092	400	270	230	7,59	X		
"	1100	400	270	247	5,15	X		
"	1112	400	270	258				
"	1117	360	243	405	11,5	X		
"	1261	460	311	216	6,69	X		
"	1276	500	338	101	5,6	X		
"	1277	420	284	264	4,0	X		
"	1278	380	257	375	9,55	X		
"	1285	540	365	48	6,48	X		
"	1286	420	284	192	5,84	X		
"	1290	340	229	996	10,14	X		
"	1357	310	209	1218	1,66			X
650	993	300	203	274	2,84			X
"	994	400	270	47	7,2	X		
"	995	240	162	727	2,3			X
"	1216	350	236	110	7,4	X		
"	1220	270	182	330	4,7	X		
"	1228	220	148	1058	2,66			X
"	1235	380	257	79	11,8	X		
"	1242	320	216	147	1,5			X
"	1360	400	270	79	6,4	X		
"	1364	400	270		8,86	X		

Tabelle 6b :

Werkstoff: 1.4981

Charge: 51857

Zustand: lg + 15% Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf- temp. (°C)	Ver- such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnmessmethode		
						Com- puter	Klebe- streif.	Mikro- meter
700	961	280	189	76	2,5			X
"	964	300	203	60	7,2	X		
"	967	250	169	127	5,15	X		
"	968	280	189	44	3,8			X
"	974	220	148	209	3,16			X
"	975	200	135	433	3,5			X
"	988	160	108	695	4,34			X
"	1030	220	148	211	2,16			X
"	1031	220	148	200	3,66			X
"	1032	180	122	614	3,17			X
"	1033	180	122	472	3,0			X
"	1060	150	101	1763	7,5			X
"	1061	150	101	1176	4,16			X
"	1299	150	101	1171	4,0			X
"	1361	160	108	1588	5,0			X
750	1115	200	135	68	8,34			X
"	1116	150	101	225	8,5			X
"	1120	130	88	418	7,18			X
"	1123	100	67	950	6,3			X
"	1146	80	54	1434	11,0			X
"	1468	220	148	50	4,17			X
"	1469	170	114	156	4,66			X
"	1507	90	60	940	6,0			X

Tabelle 7a:

Werkstoff: 1.4981

Charge: 51857

Zustand: lg + 20% Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	1122	460	311	59	6,95	X		
"	1126	440	297	76	12,0	X		
"	1129	400	270	102	8,97	X		
"	1145	350	236					
"	1165	300	203	1000	5,4	X		
"	1291	400	270	169	0,8			X
"	1292	340	229	448	0,66			X
"	1302	320	216	781	6,4	X		
"	1355	280	189	1750	2,16			X
"	1535	500	338	89	6,16	X		
"	1544	520	351	71	8,9	X		
650	992	400	270	72	6,16	X		
"	997	350	236	124	8,55	X		
"	998	300	203	234	7,2	X		
"	999	250	169	549	4,3			X
"	1149	380	257	118	6,26	X		
"	1247	320	236	84	5,1	X		
"	1248	280	189	180	0,8			X
"	1250	220	148	529	1,17			X
"	1275	180	122	1778	1,17			X
"	1356	380	257	53	9,66	X		
"	1478	180	122	1515	4,0			X

Tabelle 7b:

Werkstoff: 1.4981

Charge: 51857

Zustand: lg + 20% Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf- temp. (°C)	Ver- such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com- puter	Klebe- streif.	Mikro- meter
700	981	300	203	39	6,48	X		
"	982	250	169	110	11,84	X		
"	984	200	135	315	5,0			X
"	985	180	122	268	6,16			X
"	996	160	108	877	7,0			X
"	1006	330	223	41	9,34	X		
"	1007	190	128	363	6,5			X
"	1059	130	88	1692	7,84			X
750	1375	200	135	61	7,0			X
"	1376	130	88	159	9,0			X
"	1377	100	68	466	5,5			X
"	1391	150	101	190	9,84			X
"	1395	80	54	1624	15,0			X
"	1450	250	169	24	5,5			X
"	1456	120	81	380	18,1	X		

Tabelle 8a:

Werkstoff: 1.4981

Charge: HV 139

Zustand: lg + \leq 5% Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf- temp. (°C)	Ver- such Nr.	P _i (atü)	σ_t (MPa)	t _B (h)	δ_t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com- puter	Klebe- streif.	Mikro- meter
600	350	500	338	84	13,7			X
"	353	300	203	6759	6,5			X
"	357	370	250	1475	7,84			X
"	359	450	304	310	11,5			X
"	741	480	324	173	14,8	X		
"	742	450	304	318	8,49	X		
"	743	400	270	489	8,9	X		
"	744	530	358	26	nicht	auswertbar		
"	750	480	324	118	3,9	X		
650	344	300	203	516	6,66	X		
"	349	400	270	48	13,7	X		
"	351	350	237	154	8,34	X		
"	352	200	135	3205	19,3			X
"	354	250	169	1624	8,0			X
"	713	370	250	71	13,3	X		
"	1083	320	216	15	9,75			X
"	1085	320	216	116	18,4			X
"	1088	320	216	150	28,45	X		
"	1102	320	216	17	15,5	X		
700	345	200	135	296	13,65			X
"	346	300	203	32	11,7			X
"	347	250	169	132	12,5			X
"	348	150	101	1435	22,85			X
"	356	100	68	4635	19,0			X
"	404	240	162	180	13,3			X
"	407	260	176	126	14,0			X
"	707	250	169	107	4,3			X
"	711	300	203	26	12,15	X		
"	712	200	135	369	5,0			X
"	727	180	122	328	3,66			X

Tabelle 8b:

Werkstoff: 1.4981

Charge: HV 139

Zustand: lg + \leq 5%Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf- temp. (°C)	Ver- such Nr.	P _i (atü)	σ_t (MPa)	t _B (h)	δ_t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com- puter	Klebe- streif.	Mikro- meter
700	777	300		24	16,0	X		
"	828	300	203	30	nicht	auswertbar		
"	829	250	169	170	11,85			X
"	834	250	169	67	9,5			X
"	845	200	135	279	22,3			X
"	846	200	135	181	nicht	auswertbar		
"	858	200	135	237	14,0			X
800	1701	60	41	741	9,87			X
"	1712	80	54	136	7,35			X
"	1721	100	68	71	10,5			X
900	1763	50	34	29	20,9			X
1000	1727	10	6,8	186	35,3			X
"	1744	13	8,8	96	30,5			X

Tabelle 10a:

Werkstoff: 1.4970

Charge: 8-22075

Zustand: LG + A + Kv

Abmessung: 7.6 x 0.5 mm

(1120 °C 5' + 800 °C 2h

+ 14% Kv)

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	1549	520	336	23	2,2	X		
"	1553	450	291	506	1,8	X		
"	1570	480	311	50	1,4	X		
"	1621	470	304	697	3,0	X		
"	1670	470	304	355	2,8	X		
"	1722	430	278	1578	1,84			X
"	1757	440	285	912	1,4	X		
650	1289	350	226	950	2,2	X		
"	1296	400	259	293	5,9			X
"	1301	450	291	41	2,6	X		
"	1345	300/ 350	194/ 226	648/ 1001	4,1	X		
"	1369	320	207	2438	2,6			X
"	1412	420	272	72	2,2	X		
"	1584	460	298	7	6,0	X		
"	1587	400	259	113	3,2	X		
"	1596	360	233	270	4,07			X
"	1624	360	233	362	2,6	X		
"	1675	340	220	1975	5,1			X
"	1749	350	226	1748	6,3			X
"	1990	300	194	2508	1,06			X
"	1991	270	175	6016	1,16			X
700	1262	350	226	27	7,6	X		
"	1267	320	207	41	7,8	X		
"	1268	280	181	243	3,9	X		
"	1273	250	162	392	6,7			X
"	1281	300	194	100	6,3			X

Tabelle 10b:

Werkstoff: 1.4970

Charge: 8-22075

Zustand: Lg + A + Kv

Abmessung: 7.6 x 0.5 mm

(1120 °C 5' + 800 °C 2h

+ 14% Kv)

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
700	1287	230	149	996	9,5			X
"	1303	350	226	18	6,8	X		
"	1306	290	188	177	8,4			X
"	1348	250	162	532	8,1	X		
"	1363	230	149	1464	6,7			X
"	1371	200	129		6,45			X
"	1709	340	220	28	3,9	X		
"	1710	300	194	141	6,84			X
"	1711	280	181	368	7,6			X
"	1719	260	168	312	10,6	X		
"	1720	240	155	585	10,99	X		
"	1749	350	226	1748	6,3			X
"	1753	240	155	1248	7,5			X
<hr/>								
750	1461	280	181	10	8,9	X		
"	1465	260	168	27	13,18			X
"	1466	240	155	66	9,5	X		
"	1471	220	142	78	13,8			X
"	1472	200	129	165	8,95			X
"	1479	220	142	80	10,8			X
"	1480	140	91	774	8,55			X
"	1481	180	116	308	11,05			X
"	1482	160	104	716	10,26			X
"	1484	170	110	378	11,99			X
"	1498	150	97	1121	11,45			X
"	1499	150	97	517	9,34			X
"	1504	140	91	871	6,7			X
"	1525	140	91	743	11,98			X
"	1548	120	78	1208	11,05			X
"	1583	100	65	2050	5,4			X

Tabelle 11a:

Werkstoff: 1.4970

Charge: 8-22075

Zustand: LG + Kv + A

Abmessung: 7.6 x 0.5 mm

(1120 °C 5' + 14% Kv
+ 800 °C 2h)

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	1552	580	375	99	2,2	X		
"	1555	620	401	12	3,5	X		
"	1561	540	349	592	2,4			X
"	1572	560	362	277	2,2	X		
"	1578	520	336	1165	3,5	X		
"	1642	520	336	168	4,7	X		
"	1662	520	336	1757	2,9			X
650	1370	500	324	35	4,7	X		
"	1372	450	291	192	3,9	X		
"	1373	400	259	1249	7,1			X
"	1427	450	291	203	2,6	X		
"	1436	400	259	1643	4,34			X
"	1455	400	259	43	4,3	X		
"	1464	470	304	122	2,0	X		
"	1475	420	272	912	4,7	X		
"	1574	500	324	39	4,7	X		
"	1576	420	272	1030	6,8	X		
"	1581	440	285	201	3,68			X
"	1582	420	272	691	5,79			X
"	1618	400	259	1049	2,6			X
"	1628	460	298	216	4,74			X
"	1672	390	252	1141	4,47			X
"	1692	420	272	31	7,6	X		
"	1695	420	272	113	8,1	X		
700	1758	390	252	48	6,0	X		
"	1834	320	207	400	6,44			X

Tabelle 11b:

Werkstoff: 1.4970

Charge: 8-22075

Zustand: LG + Kv + A

Abmessung: 7.6 x 0.5 mm

(1120 °C 5' + 14% Kv

+ 800 °C 2h)

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
700	1936	300	194	567	4,7		X	
"	1937	300	194	552	11,98			X
"	1938	300	194	459	6,45			X
"	1939	300	194	368	7,2			X
"	1948	300	194	446	11,45			X
"	1949	300	194	446	9,3			X
"	1951	300	194	601	12,3			X
"	1955	300	194	541	8,4			X
"	1981	300	194	563	5,1		X	
"	1982	300	194	437	5,5			X
"	1282	300	194	420	9,46			X
"	1283	280	181	821	6,3			X
"	1284	350	226	256	9,46			X
"	1288	400	259	10	4,7	X		
"	1293	380	246	25	5,26			X
"	1349	340	220	208	4,7	X		
"	1353	460	298	4	6,4	X		
"	1354	300	194	519	5,5	X		
"	1387	260	168	1356	6,58			X
"	1432	360	233	123	4,7			X
"	1467	320	207	182	10,2	X		
"	1629	250	162	1520	9,47			X
"	1725	370	239	75	6,0	X		
"	1732	340	220	320	3,9	X		
"	1736	280	181	778	7,64			X
"	1737	320	207	303	2,24			X
"	1743	390	252	90	5,79			X
"	1989	300	194	485	7,1			X
"	2014	300	194		11,3			X
"	2015	300	194	346	6,3		X	

Tabelle 11c:

Werkstoff: 1.4970

Charge: 8-22075

Zustand: LG + Kv + A

Abmessung: 7.6 x 0.5 mm

(1120 °C 5' + 14% Kv
+ 800 °C 2h)

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
700	2017	300	194	424	5,1		X	
"	2020	300	194	394	9,2			X
750	1487	220	142	165	13,8			X
"	1526	200	129	225	10,1			X
"	1527	150	97	819	8,16			X
"	1533	300	194	25	8,1	X		
"	1534	150	97	747	9,47			X
"	1556	180	116	469	9,2			X
"	1562	120	78	1668	8,39			X
"	1850	40	26					

Tabelle 12 :

Werkstoff: 1.4970

Charge: 8-22075

Zustand: Lg + Kv

Abmessung: 7.6 x 0.5 mm

(1120 °C 5' + 14% Kv)

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
700	1960	380	246	144	3,69			X
"	1966	350	226	279	5,9			X
"	1970	300	194	596	6,06			X
"	1973	480	311	13	5,1	X		
"	1974	270	175	1224	7,9			X
"	1975	230	149	2261	9,59			X
"	1978	480	311	11	11,5	X		
"	1980	460	298	18	3,0	X		
"	1987	440	285	52	5,1	X		

Tabelle 13 :

Werkstoff: 1.4970

Charge: 8-22075

Zustand: lg + Kv + lg

Abmessung: 7.6 x 0.5 mm

(1120 °C 5' + 14% Kv + 1120 °C 5')

Prüf- temp. (°C)	Ver- such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com- puter	Klebe- streif.	Mikro- meter
700	1945	280	181	257	18,3	X		
"	1956	250	162	1180	9,6			X
"	1957	300	194	121	14,3	X		
"	1967	250	162	356	16,9	X		
"	1968	320	207	40	15,2	X		
"	1972	240	155	1105	11,85			X
"	1976	270	175	166	12,45	X		
"	1986	300	194	161	18,1	X		
"	1995	240	155	780	7,2	X		
"	1996	270	175	394	10,9			X
"	2002	240	155	774	10,5			X
"	2036	230	149	1142	20,5			X

Tabelle 14 :

Werkstoff: 1.4970

Charge: 8-22075

Zustand: lg + Kv + lg + A

Abmessung: 7.6 x 0.5 mm

(1120 °C 5' + 14% Kv

+ 1120 °C 5' + 800 °C 2h)

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
700	1946	350/ 300	226/ 194	8	24,8	X		
"	1950	250	162	168	29,8	X		
"	1958	220	142	361	21,1	X		
"	1959	270	175	189	16,4	X		
"	1969	300	194	18	11,8	X		
"	1971	200	129	2434	11,3			X
"	1977	270	175	74	20,2	X		
"	1979	180	116	3350	9,34			X
"	1993	240	155	319	13,29			X
"	1994	220	142	576	12,3	X		
"	1997	230	149	443	8,8			X
"	2178	250	162	115	4,34		X	

Tabelle 15 :

Werkstoff: 1.4970

Charge: 8-22075

Zustand: 800 °C 2h

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
700	1385	350	237	80	7,34			X
"	1388	300	203	325	7,8			X
"	1390	350	237	96	14,86	X		
"	1404	350	237	111	4,5			X
"	1413	300	203	425	6,3			X
"	1414	300	203	548				

Tabelle 16a:

Werkstoff: 1.4970

Charge: 8-29052

Zustand: 1g + ~ 16% Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf- temp. (°C)	Ver- such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com- puter	Klebe- streif.	Mikro- meter
600	687	450	305	7400	nicht	auswertbar		
"	647	650	439	8	nicht	auswertbar		
"	648	600	406	24	nicht	auswertbar		
"	660	550	372	23	"	"		
"	661	500	338	77	0,3	X		
"	671	480	324	70	0,5	X		
"	675	480	324	131	2,67			X
"	677	480	324	277	2,3			X
"	759	550	372	135	nicht	auswertbar		
"	910	540	365	246	2,0			X
"	1013	500	338	55	7,96	X		
"	1015	500	338	264	12,0	X		
"	1021	600	406		6,4	X		
650	308	500	338	32	3,17	X		
"	309	450	304	71	2,17			X
"	310	475	321	26	3,17	X		
"	313	425	287	197	2,5	X		
"	314	400	270	391	2,7	X		
"	319	350	237	1793	2,0			X
"	397	480	324	177	5,0	X		
"	406	440	297	229				
"	649	550	372	3	nicht	auswertbar		
"	650	500	338	10	"	"		
"	662	450	304	53	3,18	X		
"	676	370	250	1176	3,2			X
"	688	460	311	32	2,5			X
700	296	300	203	408	6,8			X
"	297	330	223	368	2,0	X		
"	298	400	270	6	2,7	X		
"	299	370	250	12	7,0			X
"	300	350	237	98	6,7			X
"	303	280	189	538	6,7			X
"	315	270	183	1697	3,85			X

Tabelle 16b:

Werkstoff: 1.4970

Charge: 8-29052

Zustand: lg + ~ 16% Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
700	483	320	216	468	12,37	X		
"	506	380	257	96,5	2,17			X
"	389	400	270	31	2,0			X
"	390	350	237	311	2,5			X
"	391	375	253	167	1,67			X
"	392	400	270	34				
"	445	350	237	50	5,3			X
"	803	420	284	29	4,7			X
"	808	360	243	168	1,5			X
"	811	320	216	732	2,5			X
"	813	380	257	92	5,7	X		
750	301	250	169	100	7,0			X
"	302	200	135	490	6,7			X
"	306	225	152	219	4,0			X
"	307	275	186	68	6,7			X
"	312	160	108	615	2,7			X
"	342	150	101	960	2,5			X
"	355	130	88	2366	7,0			X
800	1762	100	68	524	2,17			X

Tabelle 17 :

Werkstoff: 1.4970

Charge: 8-29052

Zustand: lg + ~ 16% Kv + 800°C 2h Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf- temp. (°C)	Ver- such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnmessmethode		
						Com- puter	Klebe- streif.	Mikro- meter
600	709	550	372	1128	1,5			X
"	760	600	406	339	5,2	X		
"	1009	600	406	58	1,3			X
"	1010	530	358	2044	2,8			X
650	718	650	439	211	4,1	X		
"	947	460	311	932	3,3			X
"	948	500	338	68	0,7			X
"	949	430	291	2723	2,7			X
"	983	520	352	64	7,48	X		
700	665	400	270	123	13,48	X		
"	666	350	237	435	2,5			X
"	674	430	291	54	6,16	X		
"	689	320	216	477	4,16			X
"	693	320	216	408	3,5	X		
"	698	370	250	238	6,4	X		
"	705	320	216	1045	2,5			X
"	706	450	304	34	6,95	X		
"	764	470	318	221	11,57	X		
800	1263	200	135	28	2,0			X
"	1264	180	122	38	16,5	X		
"	1266	150	101	126	4,17			X
"	1271	100	68	162	2,5			X
"	1274	120	81	310	8,5			X
"	1280	100	68	175	17,6			X
"	1411	90	61	1114	6,5			X

Tabelle 18 :

Werkstoff: 1.4970

Charge: 8-29052

Zustand: lg + ~ 16% Kv + 800^o23h

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	555	570	385	4				
"	556	540	365	12	4,66			X
"	557	520	352	22	3,34			X
"	558	500	338	82	5,0			X
"	559	470	318	319	4,17			X
"	562	440	297	1375	4,16			X
"	563	420	284	2995	5,5			X
"	604	380	257		4,0			X
650	565	400	270	156	3,16			X
"	569	450	304	18	5,3			X
"	570	360	243	1078	3,84			X
"	606	420	286	51	5,34			X
700	505	350	237	71	3,84	X		
"	507	330	223	124	4,15			X
"	508	310	210	248	3,3			X
"	510	280	189	1054	2,7			X

Tabelle 19 :

Werkstoff: 1.4970

Charge: 8-21577

Zustand: 1120°C 6' + 14% Kv + 800°C 2h Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
700	2012	250	169	5	27,76	X		
"	2016	200	135	62	16,7	X		
"	2019	150	101	1649	5,5			X
"	2023	180	122	263	25,15			X
"	2037	160	108	921	16,18			X

Tabelle 20 :

Werkstoff: 1.4970

Charge: 78419

Zustand: 1100°C 5' + 13 % Kv + 800°C 2h Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	2121	600	406	15	3,4	X		
"	2122	550	372	157	6,26	X		
"	2129	500	338	1656	7,38	X		
"	2130	580	392	44	3,6	X		
700	1384	350	237	200	2,5			X
"	1399	380	257	106	4,17			X
"	1409	280	189		1,17			X
"	1417	380	257	95	1,5			X
"	1420	420	284	29	1,5			X
"	1424	320	216	596	3,5			X
"	1440	300	203	577	2,5			X

Tabelle 21 :

Werkstoff: 1.4970

Charge: 71087

Zustand: 1150 °C 30' + 10% Kv +
800 °C 23 h

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	1407	450	304	579	4,25	X		
"	1408	480	324	63	1,5	X		
"	1416	430	291	631	4,8	X		
"	1425	470	318	77	6,48	X		
"	1437	470	318	46	3,9	X		
"	1438	460	311	324	6,3	X		
"	1443	420	284	742	5,94	X		
"	1444	450	304	519	2,76	X		
"	1470	470	318	154				
"	1488	440	297	372	1,3	X		
"	1756	400	270		11,6	X		
700	1386	350	237	18	8,17	X		
"	1389	300	203	89	3,17			X
"	1439	230	155	1720	3,0			X

Tabelle 22 :

Werkstoff: 1.4970

Charge: 71087

Zustand: 1150 °C 30' + 15% Kv
+ 800 °C 23 h

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
700	1089	350	237	10min	9,6	X		
"	1090	250	169	84	9,77	X		
"	1091	300	203	34	9,98	X		
"	1094	280	189	3	21,0	X		
"	1097	220	149	152	6,6	X		
"	1098	200	135	185	11,38	X		
"	1099	180	122	230	6,0			X

Tabelle 23 :

Werkstoff: 1.4970

Charge: 52774

Zustand: 1080°C5' +12% Kv

Abmessung: 7,6x0,5mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	1870	560	362	93	1,0	X		
"	1873	480	311	1436	3,68			X
"	1877	540	349	248	1,8	X		
"	1883	500	323	756	2,2	X		
"	1889	520	336	757	2,6	X		
"	1894	600	388	38	2,2	X		
"	1904	520	336	538		X		
650	1804	450	291	369	4,87			X
"	1806	400	259	1169	5,39			X
"	1869	460	298	440	2,4	X		
"	1882	440	285	1127	3,4			X
"	1896	480	311	106	3,9	X		
"	1911	420	272	525	1,4	X		
"	1919	380	245	1624	3,15			X
700	1783	400	259	77	2,6			X
"	1784	350	226	188	5,26			X
"	1795	300	194	578	6,0	X		
"	1800	280	181	1073	4,07			X
"	1818	250	162	1608	6,19			X
"	1907	230	149	2550	1,97			X
750	1772	250	162	112	5,1			X
"	1773	200	129	214	3,6			X
"	1775	150	97	533	3,0			X
"	1776	170	110	408	3,68			X
"	1777	280	181	50	8,15			X
"	1782	130	84	703	1,45			X
"	1814	110	71	2938	5,39			X
"	1890	130	84	1056	6,3			X

Tabelle 24a:

Werkstoff: 1.4970

Charge: 52774

Zustand: 1100 C 5'+12% Kv

Abmessung: 7.6 x 0.5 mm

Prüf- temp. (°C)	Ver- such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com- puter	Klebe- streif.	Mikro- meter
600	1830	600	388	52	1.4	X		
"	1833	550	356	127	2.6	X		
"	1837	500	324	1131	4.34			X
"	1838	450	291	3240	1.97			X
"	1839	480	311	1362	2.2	X		
"	1879	540	349	169	2.2	X		
"	1888	520	336	311	4.6			X
"	1901	510	330	593	2.37			X
650	1785	500	324	74	6.8	X		
"	1786	450	291	256	6.45			X
"	1801	400	259	832				
"	1819	380	246	1538	3.29			X
"	1865	480	311	70	6.8	X		
700	1760	380	246	246	5.79			X
"	1761	320	207	739	1.49			X
"	1767	380	246	189	3.55			X
"	1768	420	272	89	2.6	X		
"	1770	300	194	674	1.45			X
"	1771	330	214	765	1.45			X
"	1799	300	194	450	5.66			X
"	1817	290	188	894	4.7			X
"	1847	400	259	64	6.3			X
"	1878	300	194	360	3.94			X
"	1887	350	226	160	4.2			X
"	1900	270	175	595	4.86			X
"	1906	270	175	1044	3.4			X

Tabelle 24b :

Werkstoff: 1.4970

Charge: 52774

Zustand: 1100°C 5'+12% Kv

Abmessung: 7.6 x 0.5 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
750	1508	300	194	66	4,87			X
"	1518	280	181	73	1.97			X
"	1524	250	162	130	1.97			X
"	1530	200	129	387	2.6			X
"	1532	150	97	939	2.8			X
"	1539	150	97	1529	5.3			X
"	1542	170	110	574	1.19			X

Tabelle 25 :

Werkstoff: 1.4970

Charge: 53790

Zustand: 1100 ° C 5 ' + 20 % Kv

Abmessung: 6,55 x 0,45 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
650	2342	320	197					
"	2354	420/ 470	259/ 289	1104/ 1492	3,7		X	
"	2356	550	339	334	4,7		X	
"	2364	650	400	22	4,5		X	
"	2373	500	308	710	2,6			X

Tabelle 26 :

Werkstoff: 1.4970 Charge: 53790
 Zustand: 1120 ° C 5 ' + 20 % Kv Abmessung: 6,55 x 0,45 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
650	2344	320	197	9955	3,7			x
"	2359	550	339	447	1,2			x
"	2366	480	295	1587	2,3			x
"	2368	650	400	56	4,0		x	
"	2369	600	369	125	5,4		x	
"	2374	520	320	1056	1,2			x

Tabelle 27 :

Werkstoff: 1.4970 Charge: 5520/2
 Zustand: 1120 ° C 5 ' + 20 % Kv Abmessung: 6,55 x 0,45 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
650	2360	320	197					
"	2375	650	400	22	5,7		x	
"	2378	600	369	105	3,3		x	
"	2384	550	339	304	4,7		x	
"	2391	510	314	408	6,9		x	
"	2392	490	302	619	1,5			x
"	2412	420	259	1782	1,8			x

Tabelle 28:

Werkstoff: 1.4970

Charge: 53544

Zustand: lg + Kv + A

Abmessung: 8.5 x 0.55 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
500	2044	720	475	3705	1.9	X		
"	2072	780	514	744	1.9	X		
"	2085	800	528	166	4.24			X
"	2092	850	561	1'	3.0	X		
"	2094	830	547	52	1.5	X		
600	2004	500	330	3457	1.5	X		
"	2022	600	396	124	3.8	X		
"	2025	580	383	205	2.6	X		
"	2027	550	363	1118	2.3	X		
"	2045	620	409	54	4.3	X		
"	2051	560	369	647	2.6	X		
700	2003	350	231	194	7.29			X
"	2001	400	264	25	4.1	X		
"	2013	300	198	303	0.1			X
"	2021	280	185	767	10.2			X
"	2035	350	231	78	0.94			X
"	2046	250	165	1009	11.16			X
"	2059	250	165	919	8.94			X

Tabelle 29a :

Werkstoff: 1.4970

Charge: 53544

Zustand: lg + 16% Kv + 800°C 2h

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
650	2060	440	297	289	1.8			X
"	2061	400	270	1868	2.8			X
"	2082	500	338	55	10.08	X		
"	2084	380	257	2462	2.0			X
"	2089	420	284	974	6.58	X		
700	2372	300	203	324	8.75		X	
"	2376	350	237	101	7.69		X	
"	2377	320	216	186	7.5			X
"	2380	450	304	5	11.1		X	
"	2381	400	270	33	8.75		X	
"	2382	260	176	910	4.17			X
"	2383	280	189	442	6.16			X
"	2386	230	155	1301	nicht auswertbar			
"	2402	430	291	5	7.96		X	
"	2403	430	291	12	7.16		X	
"	2411	230	155	1238	6.7			X
"	2445	435	294	7	3.8			X
"	2454	435	294	5	10.6		X	
"	2456	435	294	6	6.1		X	
"	2457	350	237	82	9.8			X
"	2459	255	172	734	5.8			X

Tabelle 29b:

Werkstoff: 1.4970

Charge: 53544

Zustand: lg + 16% Kv + 800°C 2h

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf- temp. (°C)	Ver- such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com- puter	Klebe- streif.	Mikro- meter
750	2062	300	203	55	3.5			X
"	2064	300	203	85	9.1	X		
"	2081	250	169	162	2.66			X
"	2083	200	135	423	2.0			X
"	2091	180	122	320	1.3			X
"	2095	150	101	1260	2.0			X
"	2119	180	122	460	1.66			X
800	2065	250	169	10	7.0			X
"	2069	200	135	25	2.17			X
"	2074	100	68	203	2.3			X
"	2080	50	34	8082	2.0			X
"	2125	80	54	1305	2.8			X
"	2435	125	84	181	3.7			X

Tabelle 29c:

Werkstoff: 1.4970

Charge: 53544

Zustand: 1g + 16% Kv + 800°C 2h

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (min)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
850	2066	200	135	60	2.7			X
"	2070	150	101	31	21.3			X
"	2075	100	68	1440	3.5			X
"	2079	50	34	29640	4.3			X
"	2098	140	95	1020	3.5			X
"	2099	80	54	2880	3.3			X
"	2126	60	41	7800	3.7			X
"	2438	140	95	780	12.2			X
900	2067	150	101	7.3	24.7	X		
"	2077	80	54	300	7.16			X
"	2078	50	34	6360	5.0			X
"	2439	45	30	5010	4.8			X
950	2068	100	68	5	18.0			X
"	2076	50	34	705	10.7			X
"	2440	45	30	810	7.3			X
1000	2071	70	47	4.5	23.0			X
"	2073	50	34	52	9.8			X

Tabelle 30 :

Werkstoff: Eisenbasislegierung 15Cr15Ni Charge: B 677

Zustand: lg + 20% Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf- temp. (°C)	Ver- such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com- puter	Klebe- streif.	Mikro- meter
600	2142	500	338	2	7,2	X		
"	2145	400	270	6	11,94	X		
"	2149	300	203	64	0,8			X
"	2159	250	169	216	4,7	X		
"	2164	220	149	465	1,0			X
"	2170	200	135	921	1,0			X
"	2171	180	122	1441	1,0			X

Tabelle 31 :

Werkstoff: Eisenbasislegierung 15Cr15Ni Charge: B 679

Zustand: lg + 20% Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf- temp. (°C)	Ver- such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com- puter	Klebe- streif.	Mikro- meter
600	2109	500	338	34	5,84	X		
"	2112	400	270	110	4,6	X		
"	2115	350	237	264	6,16	X		
"	2118	300	203	526	4,46	X		
"	2133	260	176		3,5	X		
"	2153	250	169	2375	1,7			X

Tabelle 32 :

Werkstoff: Eisenbasislegierung 15Cr15Ni Charge: **B** 680

Zustand: 1g + 20% Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	2114	500	338	21	5,25	X		
"	2116	400	270	128	4,99	X		
"	2124	350	237	202	7,38	X		
"	2128	300	203	1351	3,7			X
"	2154	350	237	360	2,34	X		

Tabelle 33 :

Werkstoff: Eisenbasislegierung 15Cr15Ni Charge: **B** 683

Zustand: 1g + 20% Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	2232	300	203	689	0,8			X
"	2258	400	270	79	2,7		X	
"	2263	250	169		3,77		X	
"	2292	440	297	52	1,9		X	
"	2295	350	237	244	7,2		X	
"	2296	270	183	7389	2,0			X

Tabelle 34 :

Werkstoff: Eisenbasislegierung 15Cr15Ni Charge: B 682

Zustand: 1g + 20% Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	2113	500	338	48	6,1	X		
"	2117	400	270	460	5,0		X	
"	2127	450	304	161	4,5		X	
"	2131	360	243	1030	9,9	X		
650	2223	400	270	38	17,36	X		
"	2225	350	237	138	6,9	X		
"	2226	300	203	296	11,9	X		
"	2230	280	189	616	7,66			X
"	2237	250	169	1399	14,1		X	
700	2281	340	230	17	5,7			X
"	2304	280	189	169	6,16			X
"	2307	300	203	66	14,38		X	
"	2308	250	169	214	13,3		X	
"	2313	200	135	642	5,7			X
"	2314	220	149	550	8,75		X	
"	2348	180	122	1630	6,0			X
750	2180	250	169	33	18,05	X		
"	2182	250	169	30	6,85	X		
"	2205	150	101	495	6,16			X
"	2204	200	135	102	6,3			X
"	2224	130	88	371	6,5			X
"	2229	130	88	521	3,0			X
"	2242	100	68	1093	4,3			X

Tabelle 35:

Werkstoff: Eisenbasislegierung 15Cr15Ni Charge: B 684

Zustand: lg + 20% Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	2233	300	203					
"	2249	450	304	246	2,66		X	
"	2256	500	338	79	1,84		X	
"	2257	400	270	971	1,7			X
"	2261	350	237	5044	10,0			X
"	2272	550	372	23	nicht auswertbar			

Tabelle 36:

Werkstoff: Eisenbasislegierung 15Cr15Ni Charge: B 685

Zustand: lg + 20% Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	2240	450	304	476	2,1		X	
"	2250	500	338	48	2,18		X	
"	2255	420	284	807	9,87		X	
"	2262	400	270	1295	2,4		X	
"	2306	450	304	555	0,8		X	
"	2315	470	318	303	2,1			X

Tabelle 37 :

Werkstoff: Eisenbasislegierung 15Cr15Ni Charge: B 686

Zustand: 1g + 20% Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	2136	500	338	4	12,0	X		
"	2137	450	304	7	5,2	X		
"	2138	400	270	29	3,7	X		
"	2140	350	237	46	6,58	X		
"	2146	300	203	111	8,86	X		
"	2147	200	135	5003	1,0			X
"	2163	250	169	2304	2,7		X	
"	2197	300	203	312	6,4	X		
"	2200	350	237	87	6,16	X		

Tabelle 38:

Werkstoff: Eisenbasislegierung 15Cr15Ni Charge: B 692

Zustand: 1g + 20% Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	2141	500	338	5	7,1	X		
"	2148	400	270	22	9,0	X		
"	2151	300	203	131	1,17			X
"	2155	200	135	572	1,0			X
"	2157	250	169	156	1,0		X	
"	2158	250	169	260	1,0			X
"	2162	150	101	2472	1,17			X

Tabelle 39 :

Werkstoff: Eisenbasislegierung 15Cr15Ni Charge: B 687

Zustand: lg + 20% Kv

Abmessung: 6,0 x 0,38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	2135	500	338	64	6,16	X		
"	2139	450	304	489	9,18	X		
"	2156	550	372	4	1,3		X	
"	2168	480	324	294	3,8	X		
"	2174	460	311	50	6,16	X		
"	2177	460	311	20	6,69	X		
650	2227	450	304	7	6,95	X		
"	2228	420	284	10	9,0		X	
"	2243	350	237	200	9,6		X	
"	2244	300	203	588	2,5			X
"	2265	250	169	1710	2,8			X
700	2288	350	237	8	7,2		X	
"	2291	300	203	42	7,0			X
"	2293	250	169	197	1,5			X
"	2301	200	135	429	3,3			X
"	2302	220	149	329	3,17			X
"	2310	170	115	508	2,3			X
"	2319	150	101	629	1,7			X
"	2347	130	88	623	8,17			X
"	2353	110	74	1536	2,3			X
750	2179	250	169	12	10,3	X		
"	2181	250	169	9	4,85			X
"	2189	150	101	34	3,8			X
"	2190	150	101	36	3,7			X
"	2191	130	88	63	5,3			X
"	2192	100	68	103	4,19	X		
"	2195	70	47	144	2,8		X	
"	2196	50	34					
"	2266	60	41					
"	2187	230	155	11	8,7	X		

Tabelle 40 :

Werkstoff: Eisenbasislegierung 15Cr25Ni Charge: B 828

Zustand: 1g + 20% Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	2100	600	406	32	6,2	X		
"	2106	550	372	43	1,96	X		
"	2107	400	270	14331	2,17			X
"	2132	500	338	150	2,97	X		
"	2134	450	304	1530	1,59	X		
"	2167	480	324	1251	1,8		X	
650	2209	500	338	91	2,3			X
"	2218	520	352	9	3,7		X	
"	2219	450	304	357	5,16			X
"	2221	400	270	700	3,7			X
"	2236	430	291	979	4,3			X
"	2241	400	270	1478	1,66			X
700	2284	420	284	39	6,0			X
"	2294	380	257	36	2,7			X
"	2300	380	257	41	1,7			X
"	2303	350	237	66	1,66			X
"	2316	320	216	323	2,17			X
"	2317	300	203	408	2,17			X
"	2318	270	183	1103	1,5			X
"	2350	330	223	278	4,5			X
750	2183	250	169	163	2,0			X
"	2193	280	189	63	1,66			X
"	2194	200	135	445	1,66			X
"	2198	150	101	1061	1,66			X
"	2201	130	88	1274	4,0			X
"	2264	100	68	8251	2,0			X

Tabelle 41 :

Werkstoff: Eisenbasislegierung 10Cr25Ni Charge: B 829

Zustand: 1g + 20% Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	2101	600	406	15	5,68	X		
"	2103	550	372	17	2,18	X		
"	2104	450	304	50	6,4	X		
"	2110	300	203	8229	2,0			X
"	2111	200/ 300	135/ 203	6850	10,88	X		
"	2150	400	270	1625	3,77	X		
"	2166	430	291		5,2	X		
"	2176	500	338	42	4,94	X		
650	2211	480	324	48	3,7		X	
"	2213	350	237	1208	1,7			X
"	2220	400	270	498	3,0			X
"	2235	500	338	16	4,7	X		
700	2277	400	270	14	9,6		X	
"	2278	350	237	137	2,0			X
"	2279	300	203	182	1,8			X
"	2285	300	203	234	1,7			X
"	2297	350	237	41	1,8			X
"	2298	250	169	754	1,3			X
"	2312	230	155	707	2,17			X
"	2351	220	149	1213	1,0			X
"	2355	210	142	1161	1,0			X
750	2210	150	101	109	2,16			X
"	2214	130	88	823	2,0			X
"	2186	250	169	49	2,3		X	
"	2207	200	135	88	2,0			X
"	2239	150	101	233	1,7			X
"	2245	100	68	807	2,0			X
"	2267	100	68	1447	2,0			X

Tabelle 42:

Werkstoff: Eisenbasislegierung 9Cr15Ni Charge: B 830

Zustand: 1g + 20% Kv

Abmessung: 6.0 x 0.38 mm

Prüf- temp. (°C)	Ver- such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com- puter	Klebe- streif.	Mikro- meter
600	2102	600	406	29	4,5	X		
"	2105	500	338	76	6,58	X		
"	2108	400	270	254	3,0	X		
"	2123	300	203	2898	5,79	X		
"	2160	350	237	1389	2,3			X
"	2165	600	406	20	1,5	X		
650	2208	500	338	8	7,85	X		
"	2215	450	304	24				
"	2216	400	270	37	6,79	X		
"	2222	350	237	235	3,98		X	
"	2231	300	203	500	5,2	X		
"	2234	280	189	777	2,39		X	
"	2246	250	169	1257	2,3			X
700	2276	350	237	39	1,38		X	
"	2286	300	203	120	5,6		X	
"	2287	250	169	230	5,1		X	
"	2299	200	135	478	1,8			X
"	2309	150	101	939	1,3			X
750	2184	250	169	20	3,3			X
"	2199	200	135	40	5,9	X		
"	2202	180	122	67	2,7			X
"	2203	150	101	83	2,8			X
"	2206	100	68	166	2,3			X
"	2217	90	61	214	3,0			X
"	2268	60	41	1043	2,0			X

Tabelle 43a

Werkstoff: 1.4988

Charge: 25116

Zustand: lg + \leq 5% Kv

Abmessung: 6,0 x 0,38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ_t (MPa)	t _B (h)	δ_t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	608	500	338	34	5,8			X
"	609	450	304	75	4,34			X
"	610	400	270	224	5,8			X
"	625	360	243	659	4,5			X
"	626	320	216	1566	7,66			X
"	1240	460	311	170	8,2	X		
650	607	300	203	185	7,5			X
"	611	300	203	228	6,0			X
"	612	350	237	66	2,7			X
"	613	400	270	30	3,34			X
"	623	270	183	759	4,35	X		
"	624	240	162	1158				X
"	1203	350	237	62				
"	1209	280	189	198	3,17			X

Tabelle 43b :

Werkstoff: 1.4988

Charge: 25116

Zustand: lg + \leq 5% Kv

Abmessung: 6,0 x 0,38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ_t (MPa)	t _B (h)	δ_t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
700	379	250	169	114	6,0			X
"	380	300	203	23				
"	381	220	149	152				
"	382	180	122	834				
"	385	150	101	2407	6,0			X
"	386	210	142	272	4,5			X
"	420	185	125	786	10,0			X
"	552	200	135	93	4,6	X		
"	586	300	203	27	5,9	X		
"	615	200	135	305				
"	1084	200	135	307	3,5			X

Tabelle 44:

Werkstoff: 1.4988

Charge: 25116

Zustand: lg + $\leq 5\%$ Kv + 750°C 3h

Abmessung: 6,0 x 0,38 mm

Prüf- temp. (°C)	Ver- such Nr.	P _i (atü)	σ_t (MPa)	t _B (h)	δ_t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com- puter	Klebe- streif.	Mikro- meter
600	577	370	250	1709	4,66			X
"	638	500	338	148	9,15			X
"	651	520	352	43	12,0			X
"	652	400	270	751		X		
650	578	330	223	242	3,8			X
"	579	300	203	407	6,0			X
"	580	250	169	2485	5,0			X
"	596	280	189	599	3,8			X
"	597	360	243	130	4,3			X
"	605	400	270	34	4,7			X
700	527	250	169	54	4,8			X
"	528	220	149	169	8,5			X
"	534	200	135	409	15,2			X
"	535	170	115	792	16,2			X
"	576	150	101	2277	6,84			X

Tabelle 45:

Werkstoff: 1.4988

Charge: 25116

Zustand: lg + \leq 5% Kv + 750^oC 20h Abmessung: 6,0 x 0,38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ_t (MPa)	t _B (h)	δ_t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
700	433	250	169	34	1,28	X		
"	436	200	135	276	10,85			X
"	444	160	108	769	12,8			X
"	450	175	118	495	9,85			X

Tabelle 46:

Werkstoff: 1.4988

Charge: 25116

Zustand: lg + \leq 5%Kv + 800^oC 20h Abmessung: 6,0 x 0,38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ_t (MPa)	t _B (h)	δ_t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
700	422	250	169	22	8,8			X
"	423	200	135	147	23,6			X
"	431	140	95	1455	13,0			X
"	434	170	115	710	9,5			X

Tabelle 47a:

Werkstoff: 1.4988

Charge: 25116

Zustand: 1g + $\leq 5\%Kv$ + 800^oC 1h

Abmessung: 6,0 x 0,38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ_t (MPa)	t _B (h)	δ_t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	572	400	270	558	4,17	X		
"	573	370	250	1090	3,17			X
"	574	340	230	2867	5,5			X
"	575	440	297	112	4,84	X		
"	585	460	311	38	8,17	X		
"	739	450	304	415	4,35	X		
"	911	460	311	39	12,5	X		
"	912	420	284	94	7,2	X		
"	913	380	257	352	5,5	X		
"	914	400	270	114	11,57	X		
"	925	400	270	232	6,58	X		
"	929	370	250	668	10,4	X		
"	940	400	270	511	7,38	X		
650	598	360	243	51	5,17			X
"	600	340	230	84	5,5			X
"	601	300	203	386	4,3			X
"	614	230	155	2132	5,34			X
700	529	250	169	49				
"	530	220	149	189				
"	537	170	115	579				
"	571	150	101	928	7,8			X

Tabelle 47b:

Werkstoff: 1.4988

Charge: 25116

Zustand: lg + $\leq 5\%Kv$ + 800°C 1h

Abmessung: 6,0 x 0,38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ_t (MPa)	t _B (h)	δ_t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
700	599	130	88	1447	13,8			X
"	655	260	176	68	14,2	X		
"	657	220	149	198	13,3			X
"	670	280	189	10	8,34			X
"	673	270	183	44	21,18	X		
"	725	180	122	618	3,7			X
"	935	200	135	207	11,3			X
"	936	150	101	411	5,0			X
"	944	250	169	110	7,55	X		
"	958	250	169	159	8,9	X		
"	1001	260	176	38	12,69	X		
"	1008	120	81	4700	7,3			X
"	1460	200	135	495	4,8			X
"	1489	180	122	438	7,34			X

Tabelle 48a:

Werkstoff: 1.4988

Charge: 25116

Zustand: 800°C 1h + 540 C 135d

Abmessung: 6,0 x 0,38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	1078	420	284	283	12,4	X		
"	1079	400	270	551	4,99	X		
"	1080	360	243	1196	3,5			X
"	1095	460	311	286	2,39	X		

Tabelle 48b :

Werkstoff: 1.4988

Charge: 25116

Zustand: 800°C 1h + 570°C 135d

Abmessung: 6,0 x 0,38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	1054	420	284	310	5,68	X		
"	1055	400	270	190	7,64	X		
"	1056	380	257	471	2,7	X		
"	1062	360	243	630	3,34			X
"	1063	430	291	189	5,6	X		
"	1064	450	304	86	4,0	X		
"	1066	350	237	694	1,5			X

Tabelle 48c:

Werkstoff: 1.4988

Charge: 25116

Zustand: 800°C 1h + 590 C 135d

Abmessung: 6,0 x 0,38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	1002	440	297	8	4,3	X		
"	1003	400	270	60	6,9	X		
"	1004	370	250	460	9,34	X		
"	1011	340	230	971	3,5			X
"	1012	320	216	3269	1,8			X

Tabelle 49a:

Werkstoff: 1.4988

Charge: 25116

Zustand: 800°C 1h + 540 C 203d

Abmessung: 6,0 x 0,38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	1075	400	270	557	7,17	X		
"	1076	380	257	658	4,99	X		
"	1077	360	243	848	6,26	X		
"	1101	480	324	84	8,44	X		
"	1107	340	230	1704	7,75	X		

Tabelle 49b :

Werkstoff: 1.4988

Charge: 25116

Zustand: 800°C 1h + 570°C 203d

Abmessung: 6,0 x 0,38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	1041	400	270	366	11,36	X		
"	1042	380	257	538	5,6	X		
"	1045	420	284	144	6,16	X		
"	1046	450	304	42	9,34	X		
"	1051	360	243	665	2,34			X

Tabelle 49c:

Werkstoff: 1.4988

Charge: 25116

Zustand: 800°C 1h + 590°C 203d

Abmessung: 6,0 x 0,38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	1022	380	257	194	10,24	X		
"	1023	360	243	912	10,7	X		
"	1024	340	230	345	9,77	X		
"	1029	400	270	66	14,1	X		
"	1040	340	230	745	11,36	X		
"	1052	340	230	604	8,6	X		
"	1096	440	297	238	3,3			X

Tabelle 50a:

Werkstoff: 1.4988

Charge: SL 733

Zustand: 1g + $\geq 12\%$ Kv

Abmessung: 7,03 x 0,4 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ_t (MPa)	t _B (h)	δ_t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	107	450	344	146	nicht	auswertbar		
"	108	400	305	758	1,7			X
"	109	475	363	181	1,57			X
"	110	420	321	561	nicht	auswertbar		
"	111	380	290	721	1,14			X
"	112	350	267	1158				X
"	132	450	344	300	1,28			X
"	152	500	382	107	6,4			X
"	153	325	248		0,8			X
"	220	310	237	3768	1,4	X		
650	205	390	298	17	1,99			X
"	206	340	260	470	2,4			X
"	207	300	229	745	2,56			X
"	208	250	191	1440	1,99			X
"	211	370	282	94	1,4			X
"	232	350	267	226	1,57			X
"	239	400	305	59	nicht	auswertbar		
"	252	200	153	3301	1,99	X		

Tabelle 50b:

Werkstoff: 1.4988

Charge: SL 733

Zustand: lg + $\geq 12\%$ Kv

Abmessung: 7,03 x 0,4 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ_t (MPa)	t _B (h)	δ_t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
700	47	197	150	440	2,85			X
"	48	275	210	54	1,99			X
"	49	300	229	35	1,85			X
"	50	350	267	17	1,7			X
"	51	160	122	510	2,84			X
"	52	140	107	800	2,99			X
"	53	160	122	852	2,0			X
"	76	130	99	1657	3,84			X
"	179	125	95	1494	4,27			X
"	261	100	76	2969	3,65			X
"	383	250	191	98				
"	384	250	191	127	2,6			X
"	430	250	191	130	2,6			X
"	439	250	191	124				
"	44	250	191	121	2,86			X
"	45	180	137	680	2,84			X
"	46	214	163	276	2,6			X

Tabelle 51a:

Werkstoff: 1.4988

Charge: 40344

Zustand: lg

Abmessung: 5,4 x 0,25 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
700	458	225	216	32	3,5			X
"	424	145	139	400	6,47			X
"	425	185	178	88	4,1			X
"	426	110	106	1103	5,0			X
"	427	130	125	519	4,45			X

Tabelle 51b:

Werkstoff: 1.4988

Charge: 40344

Zustand: lg

Abmessung: 6,3 x 0,38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
700	435	200	143	243	9,15			X
"	442	160	114	742	9,5			X
"	452	185	132	338	9,2			X
"	457	300	214	27	7,3			X

Tabelle 52:

Werkstoff: AISI 316

Charge: T 4921

Zustand: lg + 13 % Kv

Abmessung: 6,0 x 0,38 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com- puter	Klebe- streif.	Mikro- meter
600	754	400	270	6,5	nicht	auswertbar		
"	763	360	243	247	7,54	X		
"	765	400	270	192	7,5	X		
"	770	450	304	42				
"	775	340	230	1103	4,5			X
"	776	360	243	627	11,68	X		
700	833	250	169	94	14,8	X		
"	837	200	135	427	10,4	X		
"	838	180	122	685	4,0			X
"	844	230	155	120	1,8			X

Tabelle 54 :

Werkstoff: AISI 316

Charge: HZ 4059

Zustand: Ig + 20 % Kv

Abmessung: 6,55 x 0,45 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
650	2363	320	197	234	13,2		X	
"	2367	320	197	264	13,7		X	
"	2385	320	197	269	16,2			X
"	2395	320	197	259	13,1			X
"	2396	400	246	15	17,6		X	
"	2410	300	185	379	12,8			X
"	2418	360	222	67	21,0			X
"	2422	250	154	1691	8,7			X

Tabelle 55 :

Werkstoff: AISI 316 Ti 0,37 %

Charge: HZ 6848/2

Zustand: Ig+ 20 % Kv

Abmessung: 6,55 x 0,45 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ _t (MPa)	t _B (h)	δ _t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
650	2361	320	197	1809	2,8			X
"	2390	320	197	2113	2,4			X
"	2397	400	246	727	3,4			X
"	2406	500	308	380	4,7		X	
"	2419	550	339	204	5,2		X	
"	2429	650	400	53	6,7		X	
"	2460	320	197	1442	2,8			X

Tabelle 56 :

Werkstoff: AISI 316 Ti 0,45 %
 Zustand: Lg + 20 % Kv

Charge: (112-2)
 Abmessung: 6,55 x 0,45mm

Prüf- temp. (°C)	Ver- such Nr.	P _i (atü)	σ_t (MPa)	t _B (h)	δ_t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com- puter	Klebe- streif.	Mikro- meter
650	2362	320	197	1096	7,4		X	
"	2365	480	295	212	2,8		X	
"	2379	320	197	1021	5,2		X	
"	2393	550	339	66	6,2			X
"	2394	400	246	395	3,5			X
"	2404	580	357	48	2,3		X	
"	2405	320	197	912	1,7			X
"	2430	250	154	2392	4,3			x

Tabelle 57a :

Werkstoff: CrNi 20/25

Charge: SL 1918

Zustand: lg + $\leq 12\%$ Kv

Abmessung: 7,01 x 0,4 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ_t (MPa)	t _B (h)	δ_t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	113	350	266	10				
"	114	400	304	5	9,68			X
"	115	300	228	38	8,26			X
"	117	250	190	189	6,7			X
"	118	200	152	1183	3,57			X
"	119	150	114	8919				
"	120	175	133	2859	5,14			X
"	129	225	171	442	4,6			X
"	131	275	209	130	10,8			X
650	225	250	190	28	7,7			X
"	226	200	152	110	5,28			X
"	235	175	133	362	3,9			X
"	236	150	114	483	2,57			X
"	254	140	107	708	1,85			X
"	258	120	91	2280	4,6			X
700	61	110	84	269	1,0			X
"	62	140	107	100	2,28			X
"	63	180	137	18	4,27			X
"	64	200	152	9	5,7	X		
"	65	90	69	658	0,86			X
"	66	80	61	977	0,7			X

Tabelle 57b:

Werkstoff: CrNi 20/25

Charge: SL 1918

Zustand: lg + \leq 12 % Kv

Abmessung: 7,01 x 0,4 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ_t (MPa)	t _B (h)	δ_t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
700	67	100	76	531	1,57			X
"	85	70	53	1970	1,14			X
"	180	62	47	2391	0,86			X

Tabelle 58:

Werkstoff: Incoloy 800

Charge: S 2106

Zustand: lg + \leq 12% Kv

Abmessung: 7,4 x 0,5 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ_t (MPa)	t _B (h)	δ_t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
700	268	180	113	190	2,4			X
"	269	220	138	46	4,86			X
"	270	120	75	6943				
"	273	150	94	1590	1,1			X
"	278	250	157	14	5,7			X

Tabelle 59 :

Werkstoff: Incoloy 800

Charge: 1193 - A

Zustand: lg + $\leq 12\%$ Kv

Abmessung: 7,0 x 0,4 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ_t (MPa)	t _B (h)	δ_t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	289	370	281	665	5,57			X
"	291	390	296	198	12,4			X
"	292	350	266	1053	4,85			X
"	295	400	304	39	8,57	X		
"	304	340	258	951	9,15			X
"	335	330	251	1966	5,0			X
650	280	200	152	335	12,3			X
"	284	250	190	72	12,55	X		
"	285	180	137	2433	15,0			X
"	288	225	171	484	16,3			X
"	294	280	213	48	14,3	X		
700	279	175	133	124	17,85			X
"	281	200	152	35	15,0			X
"	282	125	95	2472	8,28			X
"	283	150	114	353	6,7			X

Tabelle 60a :

Werkstoff: Incoloy 800

Charge: 972554

Zustand: lg + $\leq 12\%$ Kv

Abmessung: 7,01 x 0,4 mm

Prüf-temp. (°C)	Ver-such Nr.	P _i (atü)	σ_t (MPa)	t _B (h)	δ_t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com-puter	Klebe-streif.	Mikro-meter
600	172	280	213	22	16,0			X
"	173	250	190	61	14,45			X
"	174	230	175	142	19,8			X
"	175	200	152	250	23,6			X
"	177	180	137	717	14,55			X
"	178	160	122	1334	18,98			X
"	222	140	107	3636	18,25			X
650	243	200	152	37	19,3			X
"	244	150	114	177	20,95			X
"	245	175	133	100	19,0			X
"	247	130	99	472	17,25			X
"	248	110	84	861	12,0			X
700	162	250	190	< 1	18,1			X
"	163	180	137	13	21,95			X
"	164	150	114	21	17,0			X
"	165	120	91	99	17,56			X
"	166	90	68	331	18,25			X
"	168	70	53	1266	9,55			X
"	169	50	38	7792	6,29			X
"	171	60	46	4450	8,1			X
"	249	135	103	45	21,1			X

Tabelle 60b :

Werkstoff: Incoloy 800
 Zustand: lg + $\leq 12\%$ Kv

Charge: 972554
 Abmessung: 7,01 x 0,4 mm

Prüf- temp. (°C)	Ver- such Nr.	P _i (atü)	σ_t (MPa)	t _B (h)	δ_t (%)	Dehnungsmessmethode		
						Com- puter	Klebe- streif.	Mikro- meter
700	250	190	145	9	18,1	X		
"	377	120	91	96	18,6			X
"	378	100	76	229	21,0			X
"	387	85	65	588	14,2			X

Tabelle 61: Chemische Zusammensetzung der Legierungen in Gewichtsprozent

Werkstoff Nr.	Werks- bezeichnung	Charge Nr.	Fe	Ni	Cr	Mo	Mn	Ti	Al	Nb	Si	C	N	B [ppm]	Sonstige
1.4961	16/13(AN10)	33577	~67	12,51	15.97	0.38	1.19			0.87	0.34	0.076	0.028		
1.4981	16/16(AN15)	70015	~62	16.5	16.5	1.76	1.11			0.79	0.37	0.05	0.01	18	
1.4981	16/16(AN15)	51857	~64	16.0	15.75	1.78	1.37			0.72	0.44	0.06	0.007	10	P .01
1.4981	16/16(AN15)	HV139	~62	16.6	17.0	1.64	0.97	0.08	0.09	0.7	0.58	0.07	0.02	4	Co .04
1.4970	12R72HV	8-22075	~66	15.0	15.1	1.29	1.81	0.3			0.31	0.095	0.01	50	
1.4970	12R72HV	8-29052	~65	15.1	14.9	1.2	1.75	0.5		<0.05	0.4	0.10	0.02	60	Co .012
1.4970	12R72HV	8-21577	~66	14.6	15.2	1.22	1.81	0.3			0.42	0.11	0.016	52	
1.4970		78419	~67	14.03	15.02	1.19	1.36	0.41			0.40	0.11	0.041	30	V .01
1.4970		71087	~65	15.75	15.25	1.16	1.62	0.43			0.45	0.09		52	
1.4970		52774	~66	15.3	14.4	1.2	1.62	0.5			0.37	0.11		27	
1.4970		53790	~67	14.7	14.7	1.15	1.60	0.43			0.43	0.096	0.006	40	
1.4970		5520/2	~66	14.76	14.91	1.46	1.50	0.50			0.95	0.085	0.006	43	
1.4970		53544	~66	14.72	15.01	1.15	1.57	0.37			0.38	0.095	0.014	30	
	15Cr 15Ni	B 677	~69	15.5	15.5						0.04	0.05	0.006	<10	
	15Cr 15Ni	B 679	~69	15.4	15.4			0.25				0.10	0.007	<10	
	15Cr 15Ni	B 680	~69	15.3	15.4			0.49				0.10	0.007	<10	
	15Cr 15Ni	B 682	~68	15.3	15.2					1.56		0.10	0.007	<10	
	15Cr 15Ni	B 683	~68	15.5	15.4	0.96	0.02				<0.02	0.04	0.005	<10	
	15Cr 15Ni	B 684	~66	15.4	15.4	2.90	0.02				<0.02	0.04	0.005	<10	
	15Cr 15Ni	B 685	~64	15.6	15.3	4.75	0.02				<0.02	0.03	0.005	<10	
	15Cr 15Ni	B 686	~68	15.7	15.4						0.92	0.03	0.006	<10	
	15Cr 15Ni	B 687	~67	16.0	15.7			1.15				0.10	0.007	<10	
	15Cr 15Ni	B 692	~66	15.4	15.4						2.9	0.038	0.006	<10	
	15Cr 25Ni	B 828	~55	25.1	15.4	1.45	1.83	0.48	0.10		0.37	0.11	0.005	75	
	10Cr 25Ni	B 829	~60	25.0	10.2	1.42	1.87	0.46	0.10		0.35	0.11	0.007	80	
	10Cr 15Ni	B 830	~72	14.7	9.0	1.32	1.79	0.50	0.07		0.29	0.12	0.007	50	

Tabelle 61: Fortsetzung 1: Chemische Zusammensetzung der Legierungen in Gewichtsprozent

Werkstoff Nr.	Werks- bezeichnung	Charge Nr.	Fe	Ni	Cr	Mo	Mn	Ti	Al	Nb	Si	C	N	B [ppm]	Sonstige
1.4988	16/13(AN31)	25116	~65	13.7	16.2	1.44	1.35			0.65	0.63	0.05	0.09		V .75
1.4988	16/13(AN31)	SL733	~65	13.6	16.9	1.2	1.27			0.7	0.35	0.08	0.07		V .6; Co .06
1.4988	16/13(AN31)	40344	~64	13.6	16.7	1.43	1.36			0.7	0.59	0.05			V .78
1.4401	AISI 316	T4921	~65	13.3	16.88	2.34	1.81	0.01	<0.01		0.48	0.05	0.014	20	Co .02
1.4401	AISI 316	HZ4059	~65	13.70	16.65	2.8	1.53				0.42	0.043			
1.4401	AISI 316+Ti	HZ6848/2	~63	13.98	17.10	2.69	1.62	0.35			0.48	0.049	0.01	22	Cu .32;P .024
1.4401	AISI 316+Ti	(112-2)	~64	13.9	16.9	2.3	1.63	0.44			0.57	0.055		28	
	20/25CrNi	SL1918	~53	24.8	20.2		0.71	0.01	0.01	0.01	0.65	0.02	0.02		
1.4876	Incoloy 800	S 2106	~46	30.9	20.4	0.02	0.65	0.4	0.34	0.05	0.49	0.06	0.035	2	Co .05
1.4876	Incoloy 800	1193-A	~45	31.6	20.2	0.1	0.87	0.41	0.47	0.05	0.4	0.045	<0.01	3.5	Co .63
1.4876	Incoloy 800	972554	~45	31.9	20.6	<0.05	1.35	<0.05	<0.1	0.05	0.6	0.016		1	Co .02

Tabelle 62: Materialdaten zur Charakterisierung der Legierungen

Werkstoff Nr.	Werks- bezeichnung	Charge Nr.	Hersteller der Schmelze	Hersteller der Rohre	mechanisch-thermische Behandlung	Abmessung		Zugeigenschaften bei RT		
						$d_a \times s$ [mm]	$R_{p0.2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]	Liter.
1.4961	16/13(AN10)	33577		MRW	lg + < 5% kv	6.0x0.38	293	637	50.0	
1.4981	16/16(AN15)	70015		"	lg	"	285	581	48.1	21,22
"	"	"		"	lg + 12% kv	"	591	702	26.1	21,22
"	"	"		"	lg + ~ 18% kv	"	682	770	21.0	21
"	"	51857		"	lg + 10% kv	"	585	734	28.8	21,22
"	"	"		"	lg + 15% kv	"	670	759	21.2	21,22
"	"	"		"	lg + 20% kv	"	720	789	17.0	21,22
"	"	HV139		"	lg + < 5% kv + 750°C 20h	6.0x0.4				
"	"	"		"	lg + < 5% kv + 800°C 20h	"				
"	"	"		"	lg + <5% kv	"	368	638	46.6	21,22
1.4970	12R72HV	8-22075	Sandvik	Sandvik	1120°C5'+14%kv+800°C2h	7.6x0.5	492	681	21.5	23
"	"	"	"	"	1120°C5'+800°C 2h+14%kv	"	670	769	21.3	23
"	"	"	"	"	800°C 2h	6.0x0.38				
"	"	"	"	"	1120°C5'+14%kv	7.6x0.5				
"	"	"	"	"	1120°C5'+14%kv+1120°C5'	"				
"	"	"	"	"	lg+kv+1120°C5'+800°C2h	"				
"	"	8-29052	"	"	lg + ~ 16% kv	6.0x0.38	602	732	23.0	19
"	"	"	"	"	lg + ~ 16% kv+800°C 2h	"	461	696	19.3	
"	"	"	"	"	lg + ~ 16% kv+800°C 23h	"				
"	"	8-21577	"	"	1120°C6'+14%kv+800°C2h	"				
"	"	78419		"	1100°C5'+13%kv+800°C2h	"				
"	"	71087		"	1150°C30'+10%kv+800°C23h	"				
"	"	"		"	1150°C30'+15%kv+800°C23h	"				
"	"	52774	Röchling	MRW	1080°C5'+12%kv	7.6x0.5				25
"	"	"	"	"	1100°C5'+12%kv	"				25
"	"	5520/2	DEW	"	1120°C5'+20%kv	6.55x0.45				20
"	"	53790	Röchling	"	1100°C5'+23%kv	"				20
"	"	"	"	"	1120°C5'+23%kv	"				20
"	"	53544	"	"	lg+16%kv+800°C2h	6.0x0.38				

Tabelle 62: Materialdaten zur Charakterisierung der Legierungen (Fortsetzung 1)

Werkstoff Nr.	Werks- bezeichnung	Charge Nr.	Hersteller der Schmelze	Hersteller der Rohre	mechanisch-thermische Behandlung	Abmessung $d_a \times s$ [mm]	Zugeigenschaften bei RT			
							$R_{p0.2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]	Liter.
	15Cr15Ni	B677	Röchling	MRW	1100°C - 5' + 20% kv	6.0x0.38	605	629	3.1	26
	"	B679	"	"	"	"	667	695	2.7	26
	"	B680	"	"	"	"	614	770	13.4	26
	"	B682	"	"	"	"	673	768	12.9	26
	"	B683	"	"	"	"				26
	"	B684	"	"	"	"				26
	"	B685	"	"	"	"				26
	"	B686	"	"	"	"	614	685	17.0	26
	"	B687	"	"	"	"	673	731	3.0	26
	"	B692	"	"	"	"	629	720	2.7	26
	15Cr25Ni	B828	"	"	"	"	644	(676)	1.7	26
	10Cr25Ni	B829	"	"	"	"	692	768	11.8	26
	10Cr15Ni	B830	"	"	"	"	456			26
1.4988	16/13(AN31)	25116		"	1g + < 5% kv	"	424	710	51.3	19
"	"	"		"	1g + < 5% kv + 750°C 3h	"				
"	"	"		"	1g + < 5% kv + 750°C 20h	"				
"	"	"		"	1g + < 5% kv + 800°C 1h	"	336	660	50.3	
"	"	"		"	1g + < 5% kv + 800°C 20h	"				
"	"	"		"	800°C 1h + 540°C 135d	"				
"	"	"		"	800°C 1h + 540°C 203d	"				
"	"	"		"	800°C 1h + 570°C 135d	"				
"	"	"		"	800°C 1h + 570°C 203d	"				
"	"	"		"	800°C 1h + 590°C 135d	"				
"	"	"		"	800°C 1h + 590°C 203d	"				
"	"	SL733		"	1g + 20% kv	7.03x0.4	719	846	33.3	19
"	"	40344		"	1g	6.3x0.38	373	649	34.6	

Tabelle 62: Materialdaten zur Charakterisierung der Legierungen (Fortsetzung 2)

Werkstoff Nr.	Werks- bezeichnung	Charge Nr.	Hersteller der Schmelze der Rohre		mechanisch-thermische Behandlung	Abmessung	Zugeigenschaften bei RT			Liter.
						$d_a \times s$ [mm]	$R_{p0.2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]	
1.4401	AISI 316	T4921	Accles a. Pollock		lg + 13% kv	6.0x0.38	637	724	39.0	
"	"	HZ4059	Aubert u. Duval	Vallourec	1075°C + 15% kv	6.55x0.45				20
"	AISI316+Ti	HZ6848/2	"	"	1105°C + 21% kv	"				20
"	"	(112-2)	"	"	lg + 20% kv	"				20
	20/25CrNi	SL1918		MRW	lg + < 12% kv	7.0x0.4	549	614	35.0	
1.4876	Incoloy 800	S2106		Wiggin	"	7.4x0.5				
"	"	1193-A		Superior Tube	"	7.0x0.4				18
"	"	972554		MRW	"	7.01x0.4	260	539	50.0	18

Tabelle 63: 4.000 Std.-Zeitstandfestigkeit, $\sigma_t(4kh)$ und
4.000 Std.-Bruchdehnung, $\delta_t(4 kh)$

Werkstoff Nr.	Schmelze Nr.	Werkstoffzustand	Temp. T [°C]	$\sigma_t(4kh)$ [MPa]	$\delta_t(4kh)$ [%]	Symbol
1.4961	33577	LG+ < 5% kv	600	165	10	x 1
"	"	"	650	94	10	" "
"	"	"	700	47	17,4	" "
1.4981	70015	LG	600	222	12	Δ 1
"	"	"	700	51	27,7	" "
"	"	LG+12% kv	600	202	3	" 2
"	"	"	700	80	3	" "
"	"	LG+18% kv	600	184	4	" 2
"	"	"	650	113	4	" "
"	"	"	700	85	4	" "
"	51857	LG+10% kv	600	200	3	▲ 2
"	"	"	650	120	4	" "
"	"	"	700	69	6,4	" "
"	"	"	750	42	3,5	" "
"	"	LG+15% kv	600	164	8,6	" 2
"	"	"	650	107	3	" "
"	"	"	700	75	11,6	" "
"	"	"	750	35	8,6	" "

Tabelle 63: Fortsetzung 1: 4.000 Std.-Zeitstandfestigkeit, $\sigma_t(4kh)$
und 4.000 Std.-Bruchdehnung, $\delta_t(4kh)$

Werkstoff Nr.	Schmelze Nr.	Werkstoffzustand	Temp. T [°C]	$\sigma_t(4kh)$ [MPa]	$\delta_t(4kh)$ [%]	Symbol
1.4981	51857	LG+20% kv	600	141	5	▲ 2
"	"	"	650	95	4	" "
"	"	"	700	67	9	" "
"	"	"	750	40	19,5	" "
"	HV139	LG+ < 5% kv	600	216	6,7	▲ 1
"	"	"	650	125	14,5	" "
"	"	"	700	72	19	" "
"	"	LG + < 5% kv + 750 °C- 20h	700	75	20	" 3
1.4970	8-22075	1120°C-5' + 800°C-2h + 14%kv	600	261	2	○ 5
"	"	"	650	189	2,6	" "
"	"	"	700	132	7,4	" "
"	"	"	750	58	12,6	" "
"	"	1120°C-5'+14%kv+800°C-2h	600	327	4,2	" 4
"	"	"	650	247	6	" "
"	"	"	700	141	8,4	" "
"	"	"	750	57	8,4	" "
"	"	1120°C-5'+14%kv	700	128	12,1	" 2
"	"	1120°C-5'+14%kv+1120°C-5'	700	130	11,2	" 1
"	"	1120°C-5'+14%kv+1120°C-5'+800°C-2h	700	112	9	" 3
"	8-29052	LG+~16%kv	600	309	3	● 2
"	"	"	650	215	3	" "
"	"	"	700	160	4	" "
"	"	"	750	77	7	" "
"	"	LG + ~ 16% kv + 800 °C - 2 h	600	343	3	" 4
"	"	"	650	284	2,6	" "
"	"	"	700	190	2,0	" "
"	"	LG + ~ 16% kv + 800 °C - 23 h	600	278	4,1	" "
"	"	"	650	226	3,7	" "
"	"	"	700	169	2,3	" "
"	8-21577	1120°C-6'+14%kv+800°C-2h	700	90	6	● 4
"	78419	1100°C-5'+13%kv+800°C-2h	600	324	7	● 4
"	"	"	700	178	6	" "

Tabelle 63: Fortsetzung 2: 4.000 Std.-Zeitstandfestigkeit, $\sigma_t(4kh)$
und 4.000 Std.-Bruchdehnung, $\delta_t(4kh)$

Werkstoff Nr.	Schmelze Nr.	Werkstoffzustand	Temp. T [°C]	$\sigma_t(4kh)$ [MPa]	$\delta_t(4kh)$ [%]	Symbol
1.4970	71087	1150°C-30'+10%kv+800°C-23h	600	278	5	● 4
"	"	"	700	143	3	" "
"	52774	1080°C - 5' + 12% kv	600	295	3	① 2
"	"	"	650	237	3,5	" "
"	"	"	700	137	4	" "
"	"	"	750	69	5,5	" "
"	"	1100 °C - 5' + 12% kv	600	282	2	① 2
"	"	"	650	224	2	" "
"	"	"	700	150	3	" "
"	"	"	750	85	5	" "
"	53790	1100 °C - 5' + 23% kv	650	246	3	⊖ 2
"	"	1120 °C - 5' + 23% kv	"	243	3	" "
"	5520/2	1120 °C - 5' + 20% kv	"	233	2	● 2
"	53544	1100 °C-5'+17%kv+800°C-2h	600	324	1,5	⊕ 4
"	"	" (8,5 x 0,55 mm)	700	146	10	" "
"	"	"	650	242	2	" "
"	"	" (6,0 x 0,38 mm)	700	123	5	" "
"	"	"	750	75	3	" "
	B 677	1100 °C - 5' + 20% kv	600	107	1	⑬ 2
	B 679	"	"	158	1,5	⑫ "
	B 680	"	"	176	3	⑪ "
	B 683	"	"	186	2	⑩ "
	B 684	"	"	239	4	⑨ "
	B 685	"	"	226	3	⑧ "
	B 686	"	"	149	3	⑦ "
	B 692	"	"	90	1,5	⑥ "
	B 682	"	"	200	10	⑤ "
	"	"	650	141	10	" "
	"	"	700	101	6	" "
	"	"	750	42	5	" "
	B 687	"	600	271	6	④
	"	"	650	143	3	" "
	"	"	700	63	2,5	" "
	B 828	"	600	295	2	③ "
	"	"	650	252	3	" "

Tabelle 63: Fortsetzung 3: 4.000 Std.-Zeitstandfestigkeit, $\sigma_t(4kh)$
und 4.000 Std.-Bruchdehnung, $\delta_t(4kh)$

Werkstoff Nr.	Schmelze Nr.	Werkstoffzustand	Temp. T[°C]	$\sigma_t(4kh)$ [MPa]	$\delta_t(4kh)$ [%]	Symbol
	B 828	1100 °C - 5' + 20% kv	700	160	2	③ 2
	"	"	750	72	2	" "
	B 829	"	600	233	3,5	② 2
	"	"	650	193	2,5	" "
	"	"	700	113	1,5	" "
	"	"	750	51	2	" "
	B 830	"	600	188	4	① 2
	"	"	650	129	3	" "
	"	"	700	47	2	" "
	"	"	750	37	2	" "
1.4988	25116	LG + < 5% kv	600	186	6	∇ 1
"	"	"	650	141	5	" "
"	"	"	700	93	6	" "
"	"	LG + < 5% kv + 750 °C-3h	600	216	4	" 3
"	"	"	650	153	6	" "
"	"	"	700	93	10	" "
"	"	LG + < 5% kv + 750 °C-20h	"	70	11	" "
"	"	LG + < 5% kv + 800 °C-20h	"	70	11	" "
"	"	LG + < 5% kv + 800 °C-1h	600	222	5	" "
"	"	"	650	145	5	" "
"	"	"	700	83	7	" "
"	"	LG + < 5% kv + 800 °C-1h + 540 °C - 135d	600	214	3	" 3
"	"	LG + < 5% kv + 800 °C-1h + 570 °C - 135d	"	"	"	" "
"	"	LG + < 5% kv + 800 °C-1h + 590 °C - 135d	"	"	"	" "
"	"	LG + < 5% kv + 800 °C-1h + 540 °C - 203d	"	205	7	" "
"	"	LG + < 5% kv + 800 °C-1h + 570 °C - 203d	"	"	6	" "
"	"	LG + < 5% kv + 800 °C-1h + 590 °C - 203d	"	"	10	" "
"	SL 733	LG + 20% kv	"	231	1,5	∇ 2
"	"	"	650	141	2	" "
"	"	"	700	83	4	" "

Tabelle 63: Fortsetzung 4: 4.000 Std.-Zeitstandfestigkeit, $\sigma_t(4kh)$
und 4.000 Std.-Bruchdehnung, $\delta_t(4kh)$

Werkstoff Nr.	Schmelze Nr.	Werkstoffzustand	Temp. T [°C]	$\sigma_t(4kh)$ [MPa]	$\delta_t(4kh)$ [%]	Symbol
1.4988	40344	LG (zwei Abmessungen)	700	80	5/10	▼ 1
1.4401	T4921	LG + 13% kv	600	202	7	□ 2
"	"	"	700	90	7	" "
"	HZ4059	1075 °C + 15% kv	650	138	7	▢ 2
"	HZ6848/2	1105 °C + 21% kv	"	151	2	▣ 2
"	(112-2)	LG + 20% kv	"	131	4	■ 2
	SL1918	LG + < 12% kv	600	126	3	◇ 1
	"	"	650	83	2	" "
	"	"	700	39	2	" "
1.4876	S2106	"	700	80	1	◊ 1
"	1193-A	"	600	235	6	◊ 1
"	"	"	650	127	15	" "
"	"	"	700	93	8	" "
"	972554	"	600	104	17	◊ 1
"	"	"	650	65	10	" "
"	"	"	700	44	8	" "

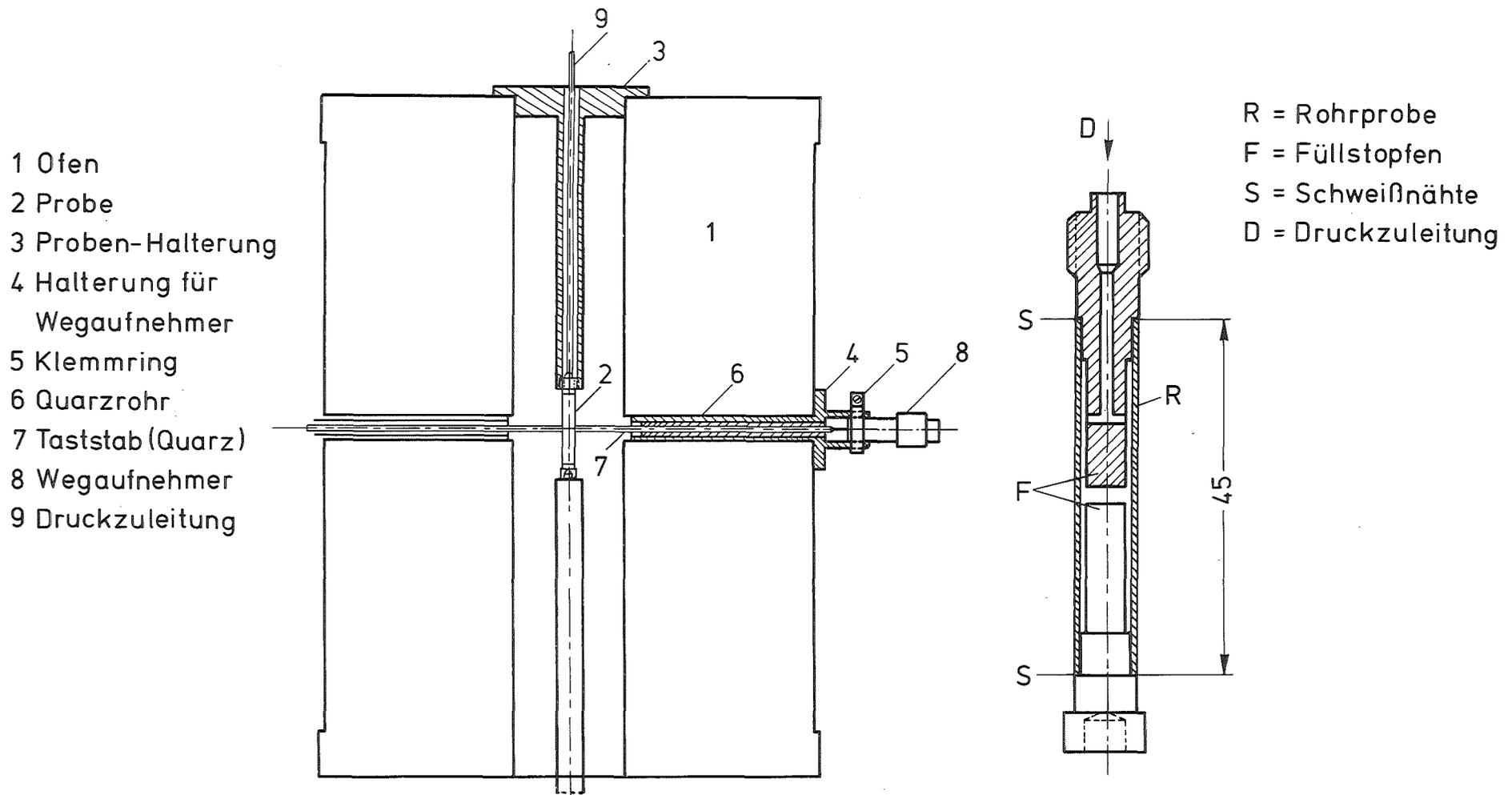


Abb. 1 : Dehnungsmeßeinrichtung und Probenform für Zeitstand- und Kriechversuche

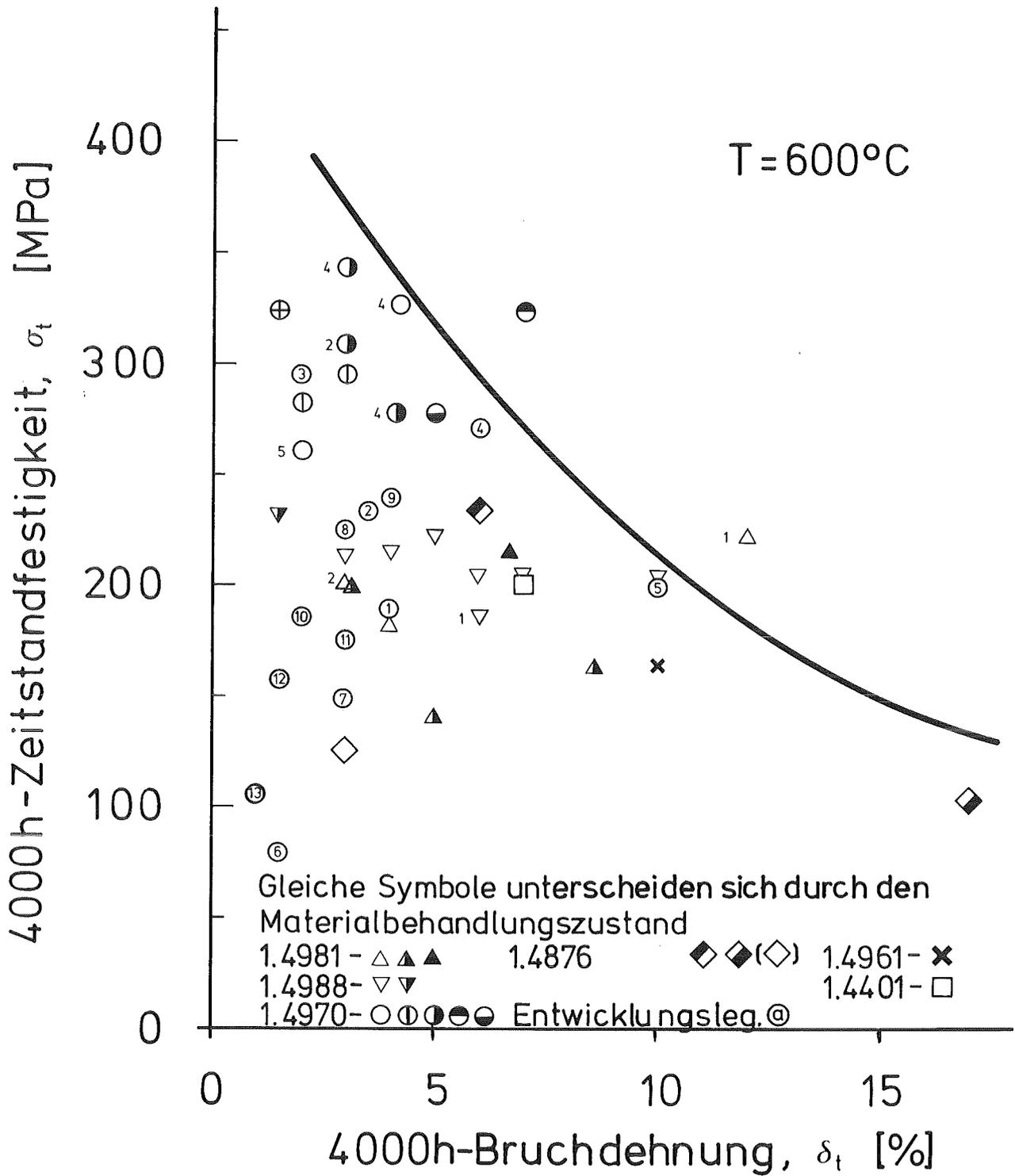


Abb. 2 : Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung bei 600 °C und einer Standzeit von 4.000 Stunden

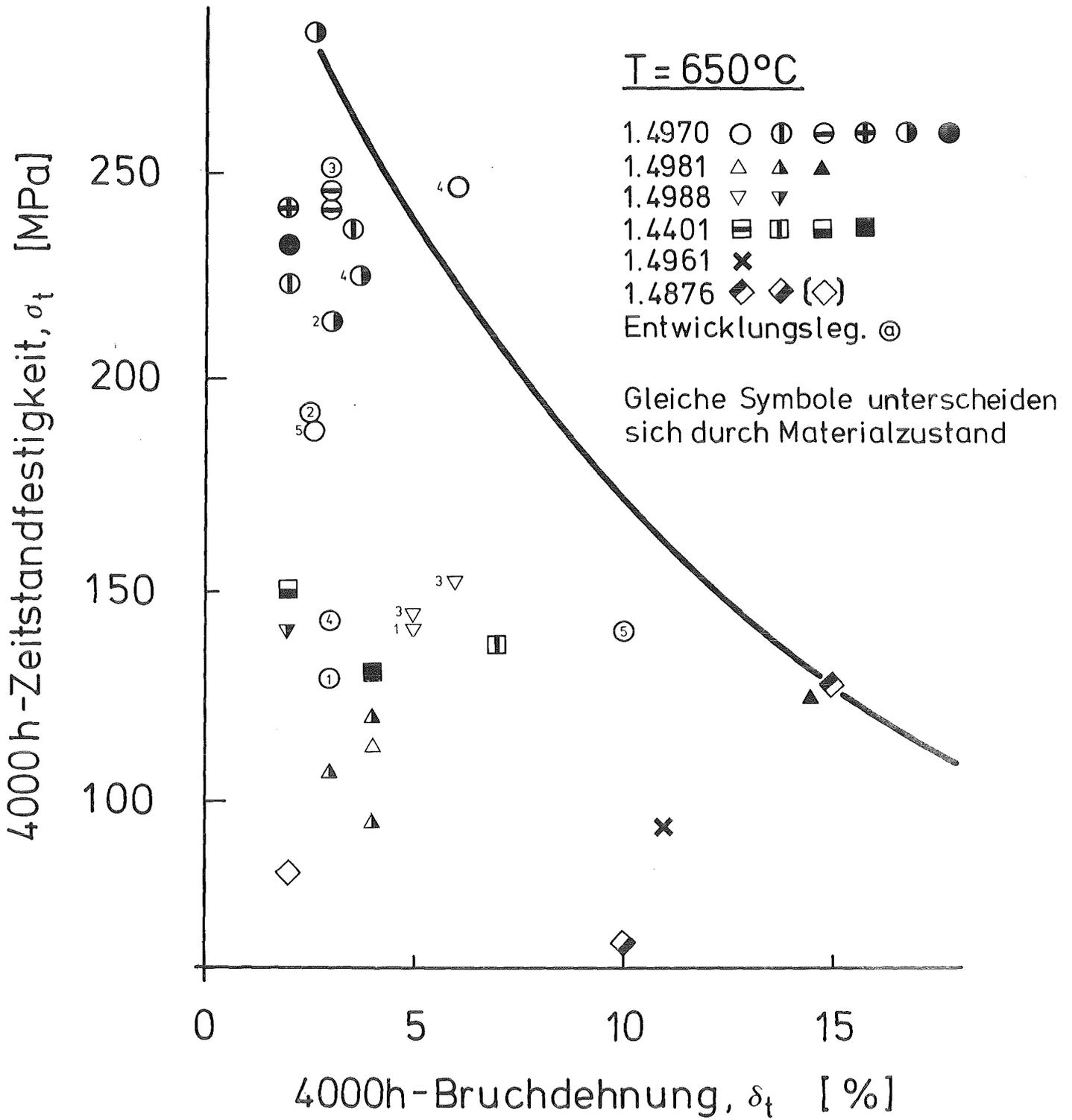


Abb. 3 : Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung bei 650 °C und einer Standzeit von 4.000 Stunden

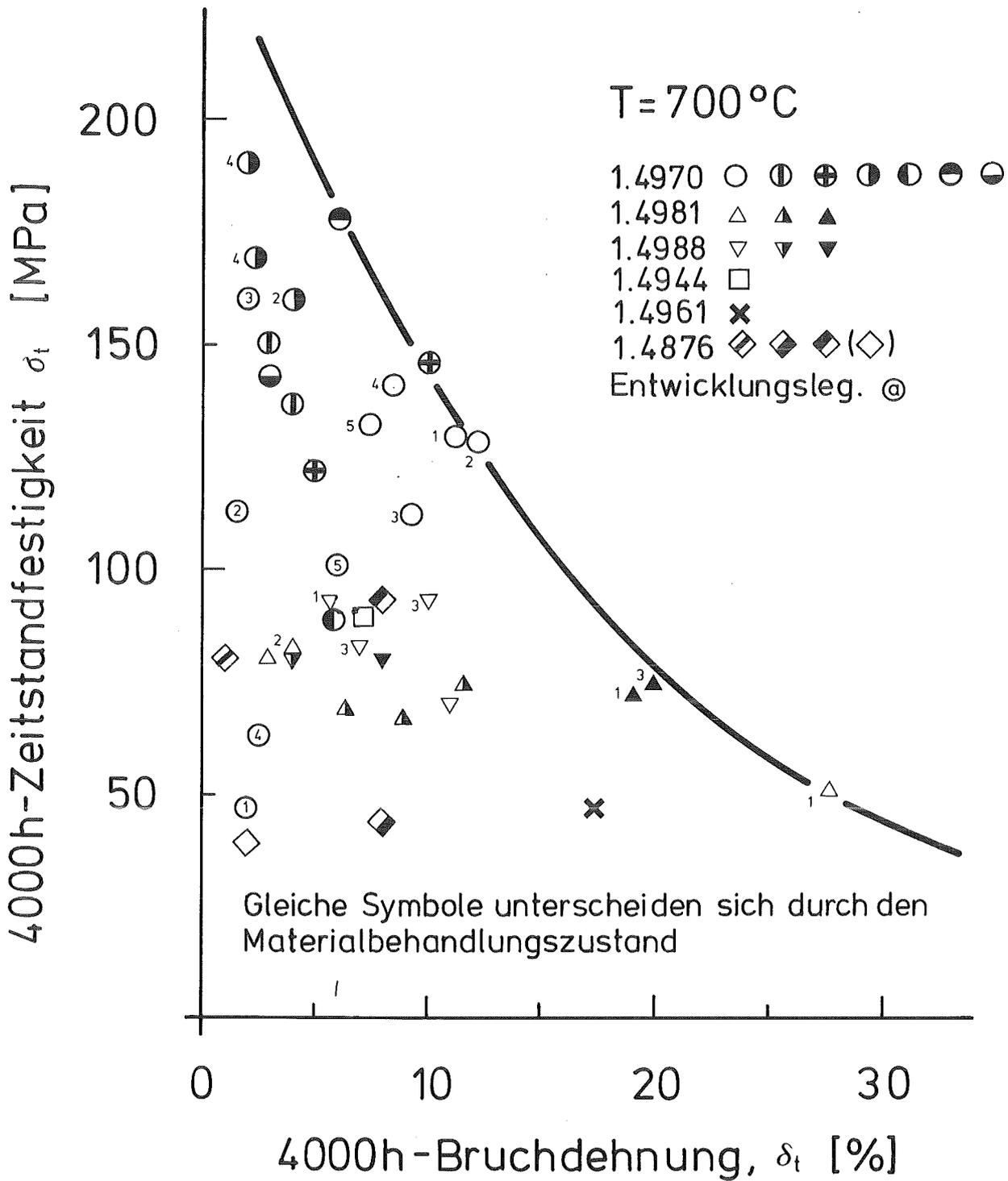


Abb. 4 : Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung bei 700 °C und einer Standzeit von 4.000 Stunden

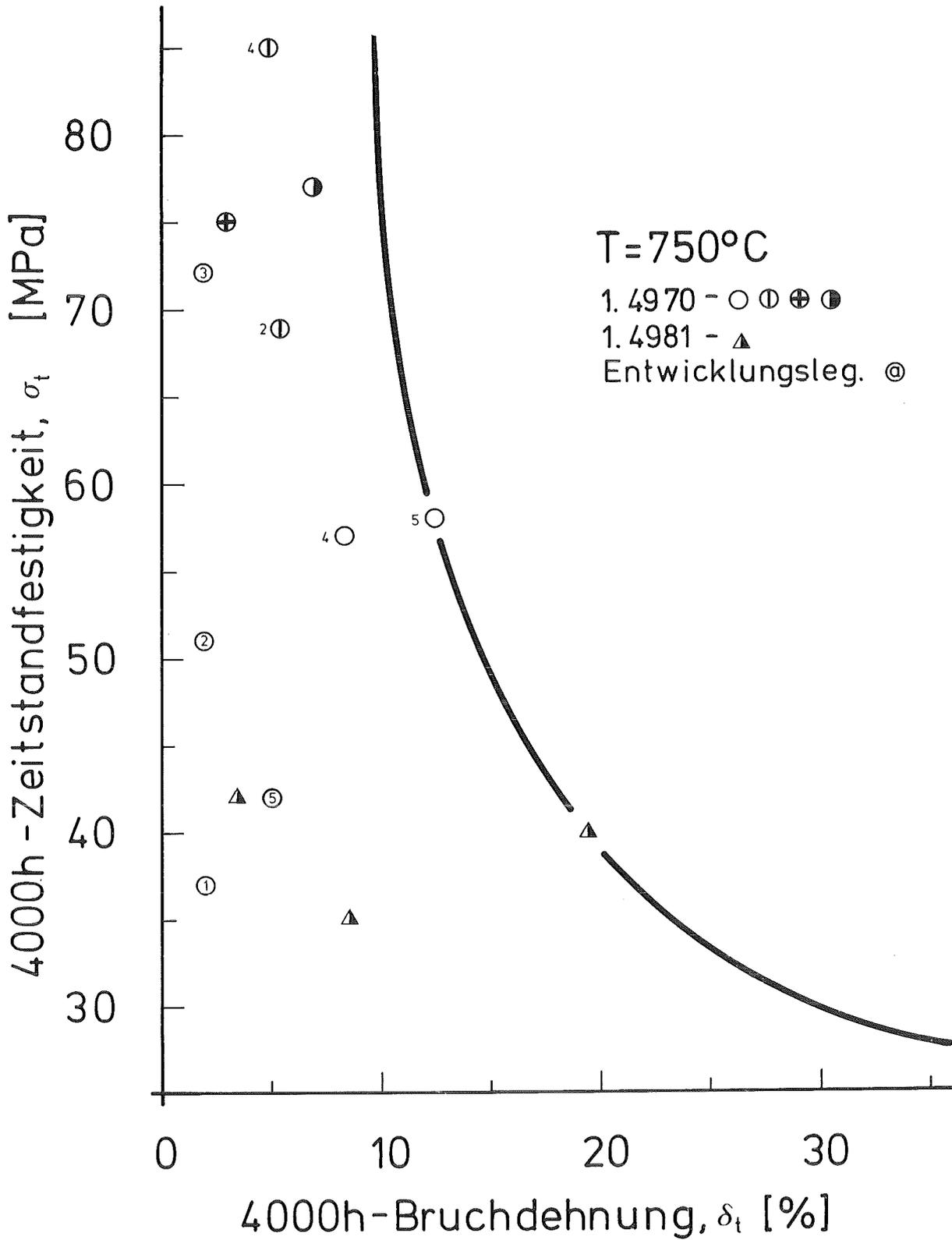


Abb. 5 : Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung bei 750°C und einer Standzeit von 4.000 Stunden

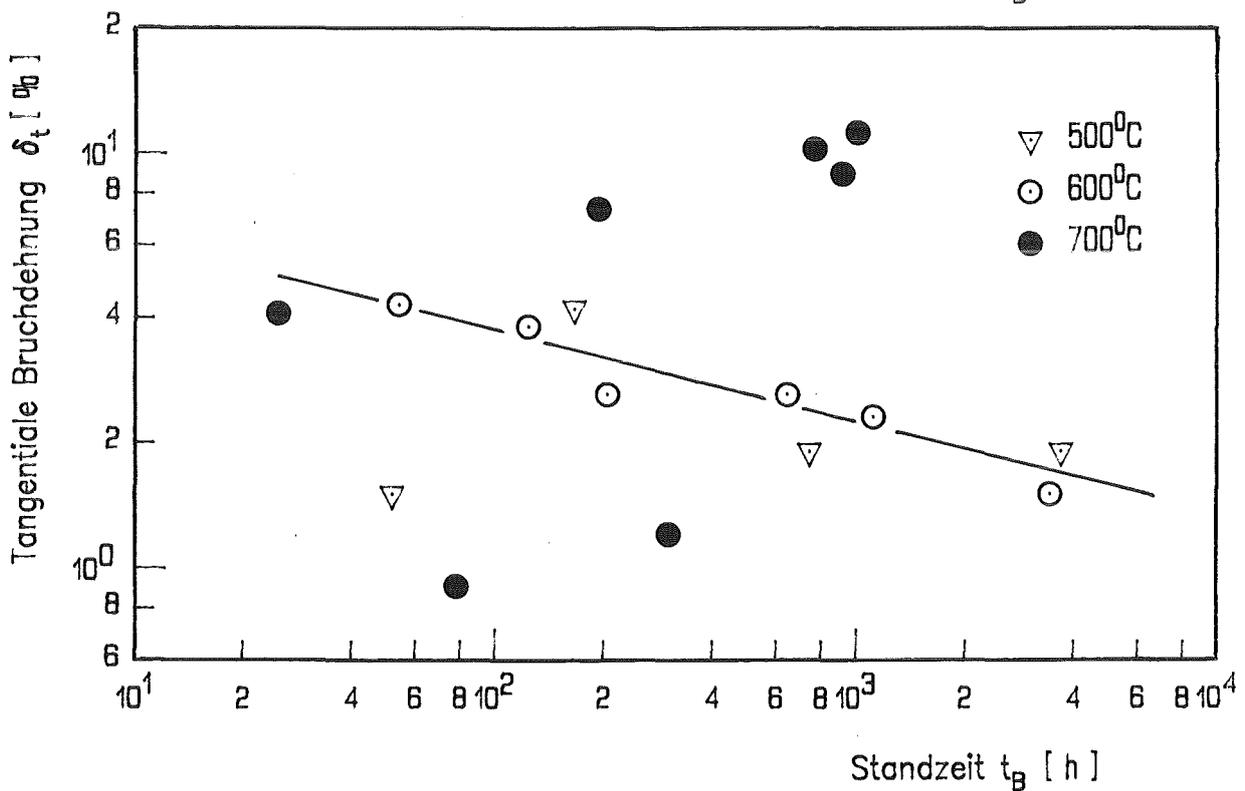
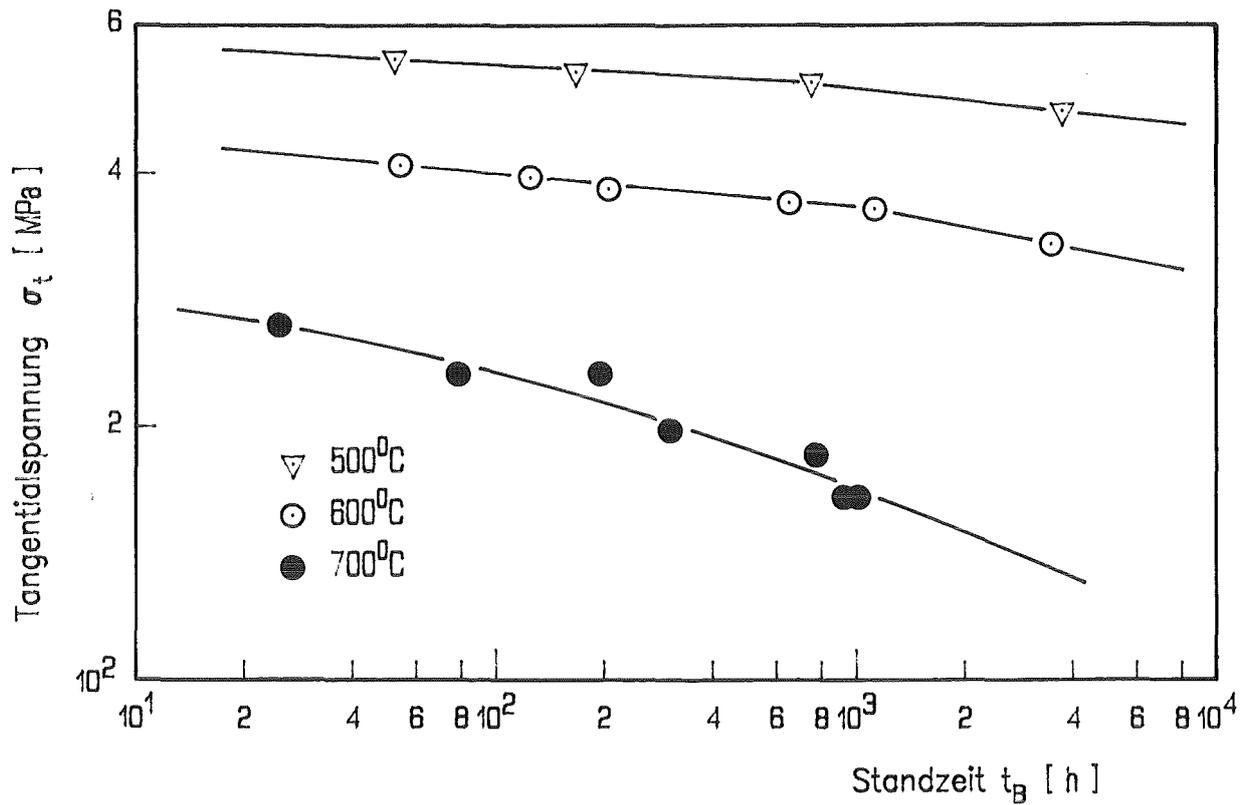


Abb.28: Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung

des Werkstoffes 1.4970, Charge 53544

Zustand: Lg+16%Kv+800°C 2Std., Abm. 8.5x0.55 mm

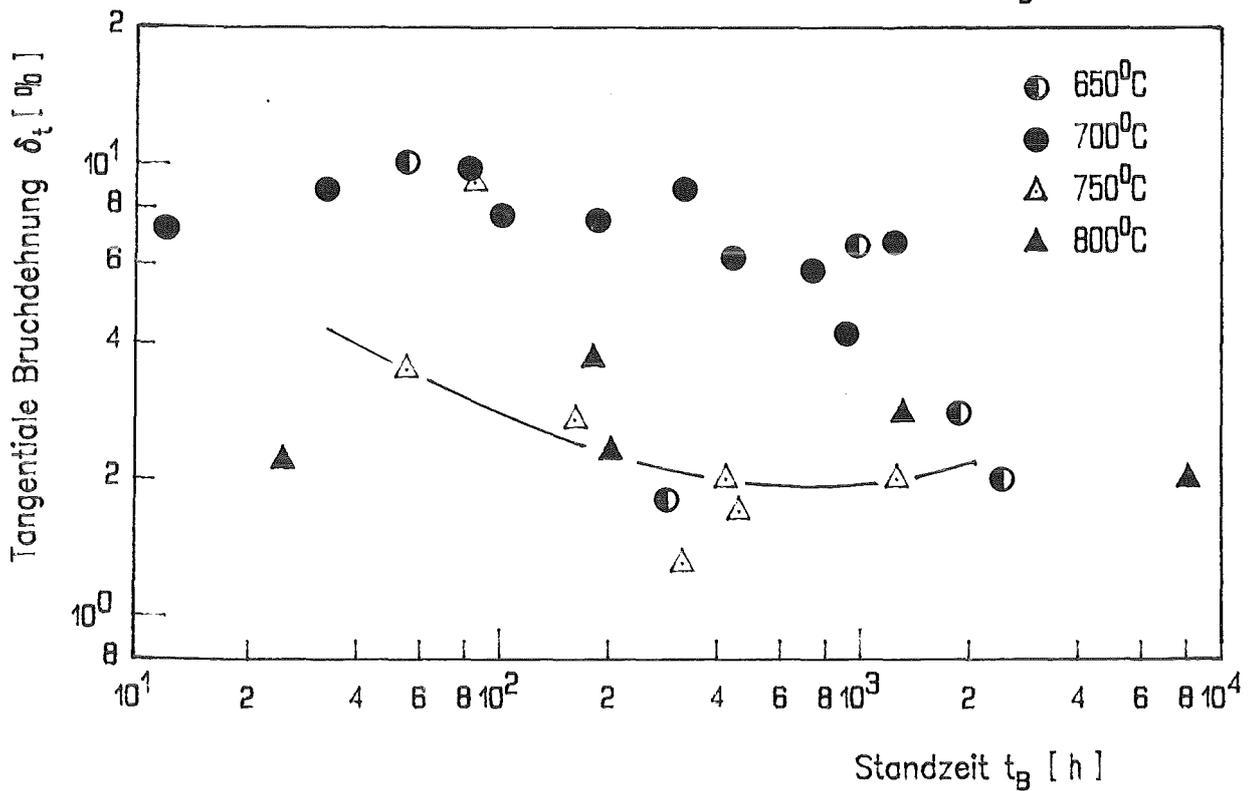
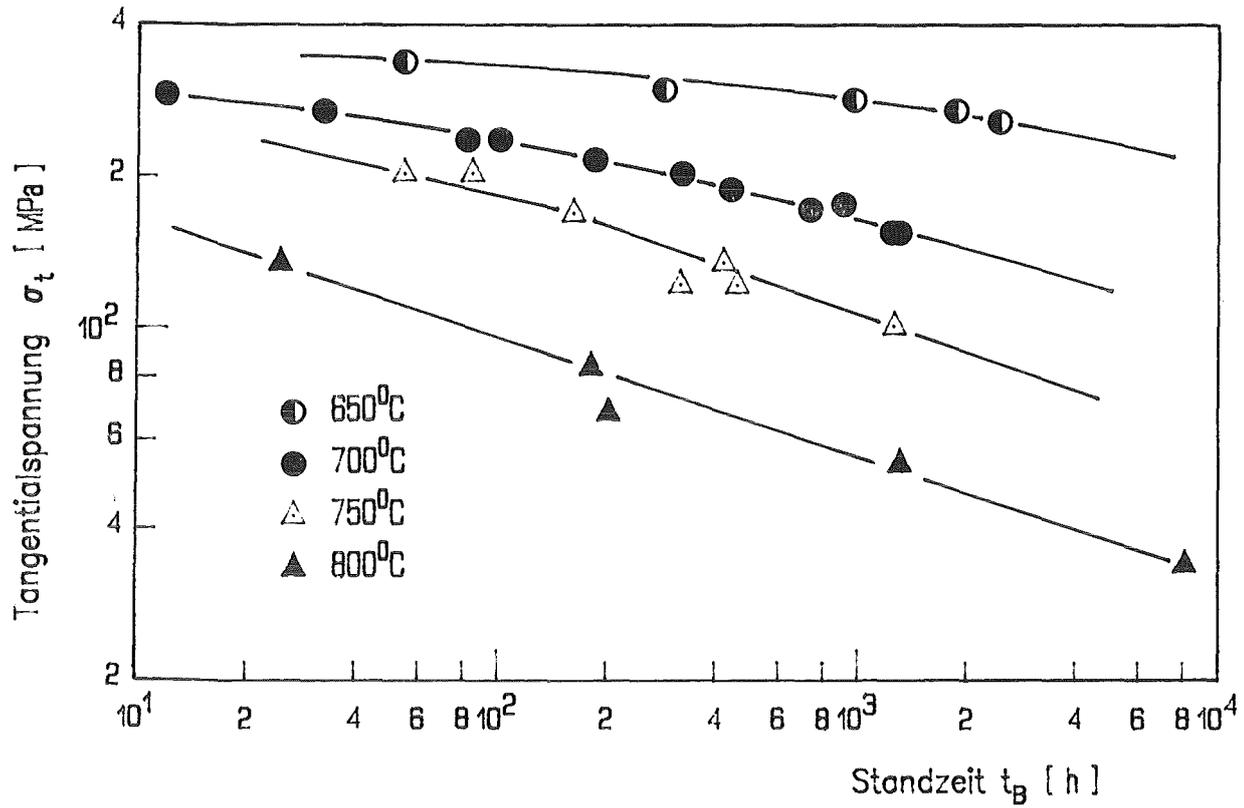


Abb. 29a Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung

des Werkstoffes 1.4970, Charge 53544

Zustand: Lg+16%Kv+800°C 2Std., Abm. 6.0x0.38 mm

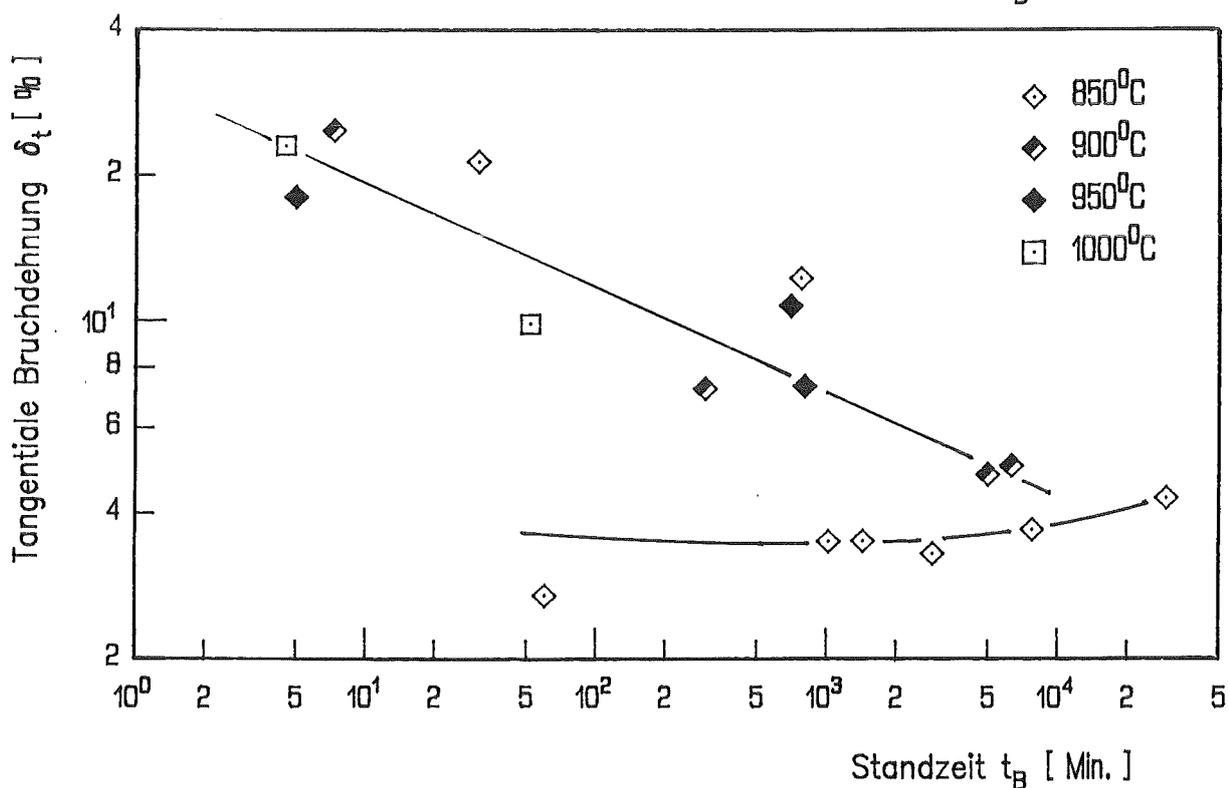
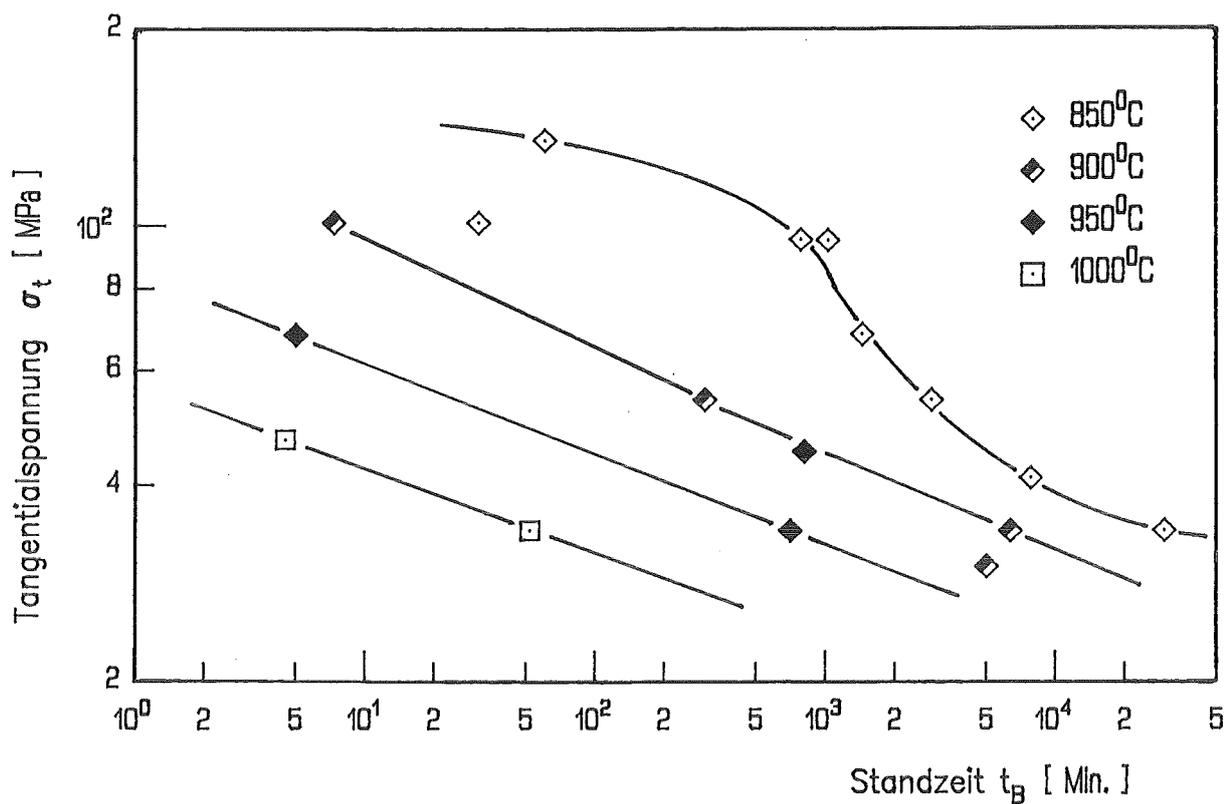
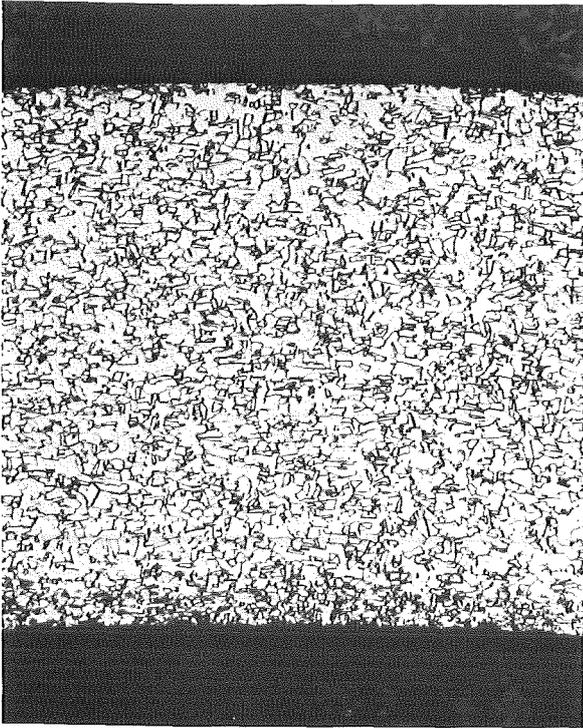


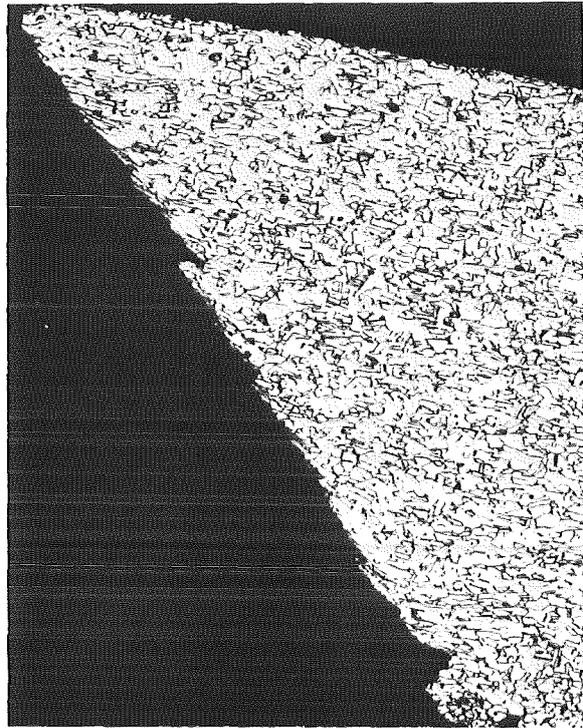
Abb.29c: Zeitstandfestigkeit und Bruchdehnung

des Werkstoffes 1.4970, Charge 53544

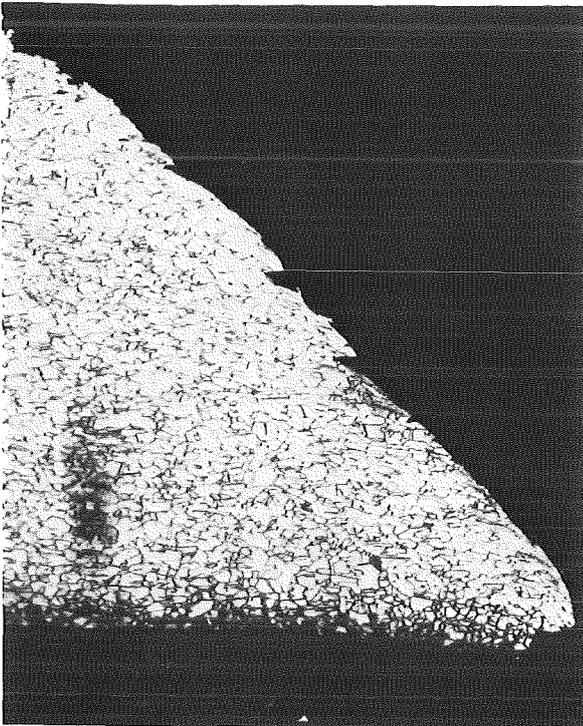
Zustand: Lg+16%Kv+800⁰C 2Std., Abm. 6.0x0.38 mm



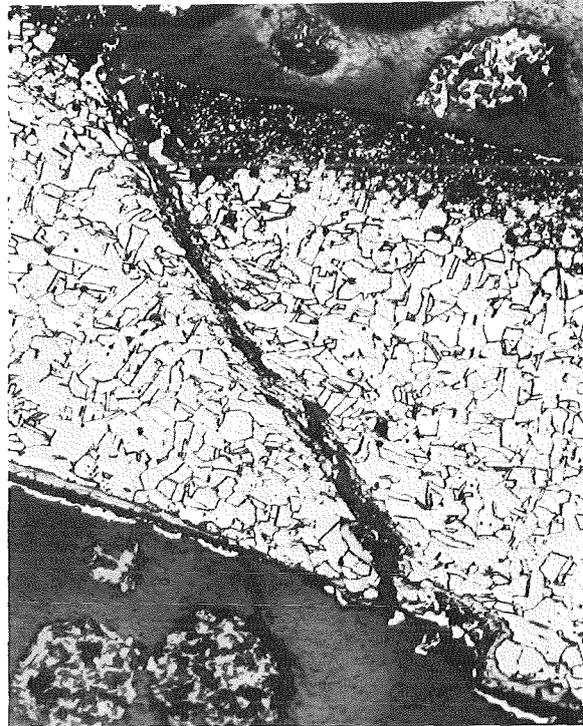
Ausgangsgefüge



$T=500^{\circ}\text{C}$, $\sigma_t=475\text{ MPa}$
 $t_p=3705\text{ Std.}$, $\delta_t=1.9\text{ ‰}$

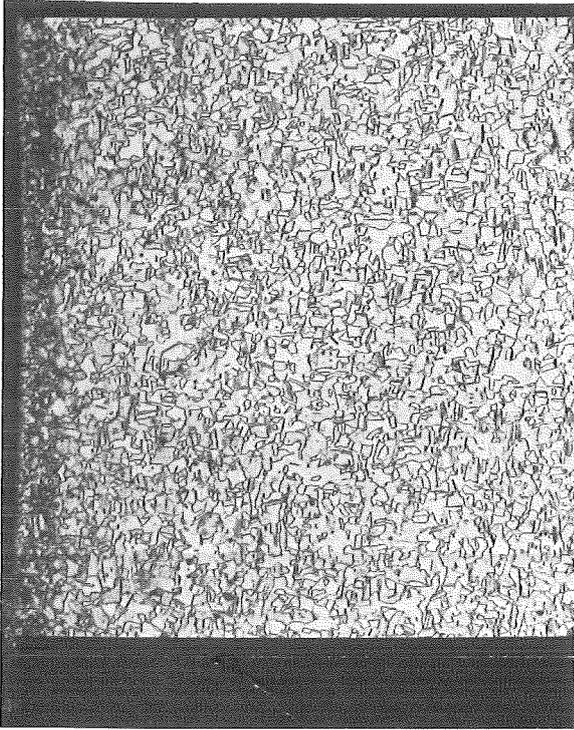


$T=600^{\circ}\text{C}$, $\sigma_t=330\text{ MPa}$
 $t_p=3457\text{ Std.}$, $\delta_t=1.5\text{ ‰}$

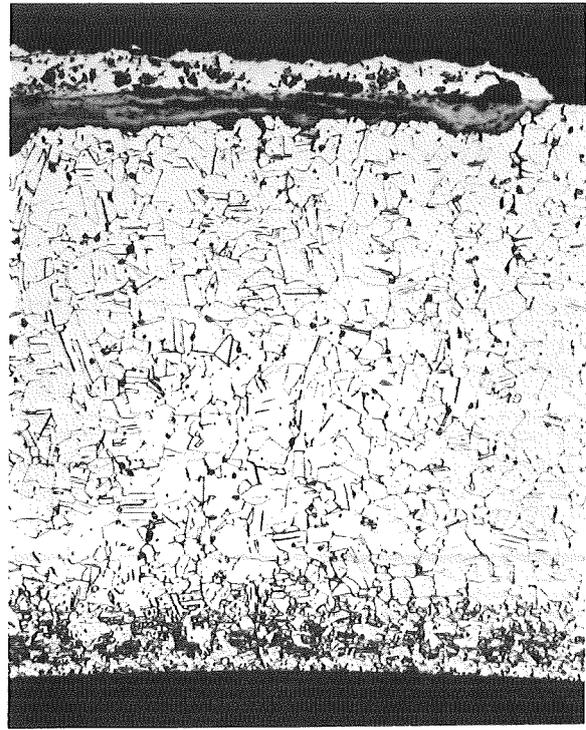


$T=650^{\circ}\text{C}$, $\sigma_t=257\text{ MPa}$
 $t_p=2462\text{ Std.}$, $\delta_t=2.0\text{ ‰}$

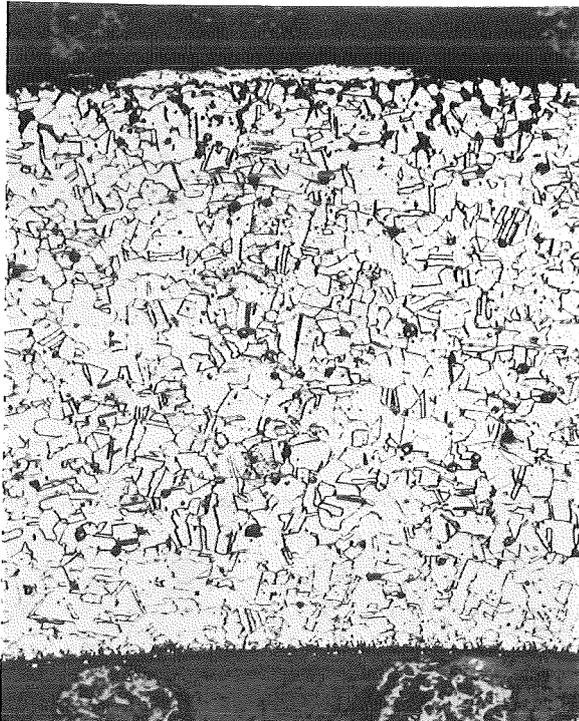
Abb.28a: Metallografische Schliffbilder des austenitischen
29a
Stahles 1.4970, Charge 53544
Zustand: Lg+16%Kv+800⁰C 2Std.



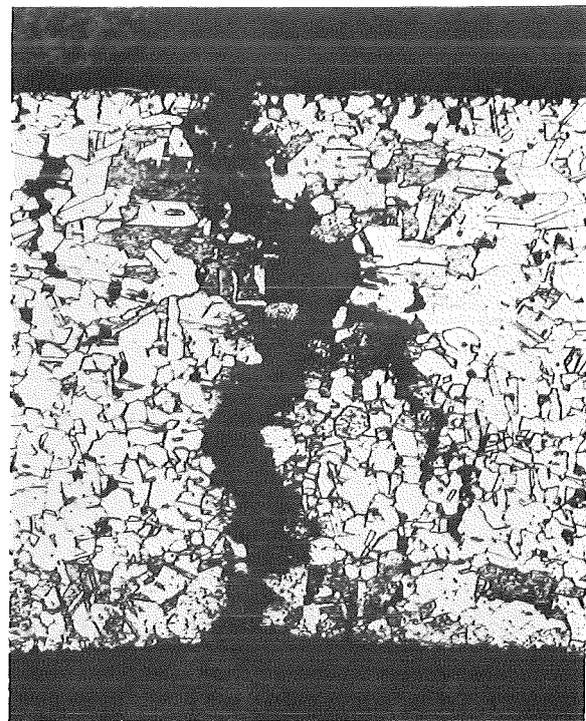
$T=700^{\circ}\text{C}$, $\sigma_t=155\text{ MPa}$
 $t_p=1238\text{ Std.}$, $\delta_t=6.7\text{ ‰}$



$T=750^{\circ}\text{C}$, $\sigma_t=101\text{ MPa}$
 $t_p=1260\text{ Std.}$, $\delta_t=2.0\text{ ‰}$

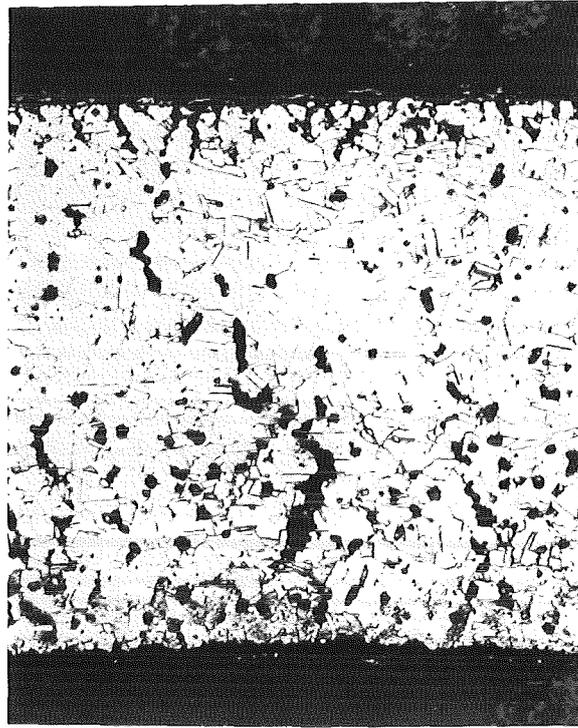


$T=800^{\circ}\text{C}$, $\sigma_t=34\text{ MPa}$
 $t_p=8082\text{ Std.}$, $\delta_t=2.0\text{ ‰}$

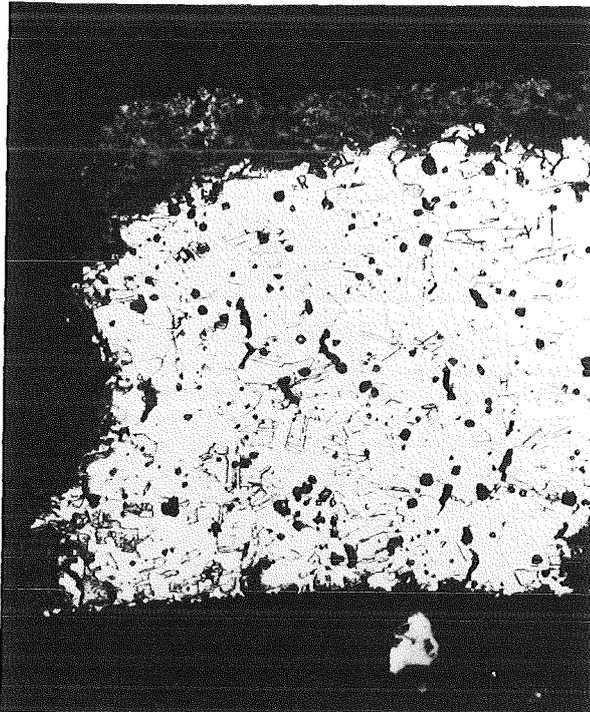


$T=850^{\circ}\text{C}$, $\sigma_t=34\text{ MPa}$
 $t_p=494\text{ Std.}$, $\delta_t=4.3\text{ ‰}$

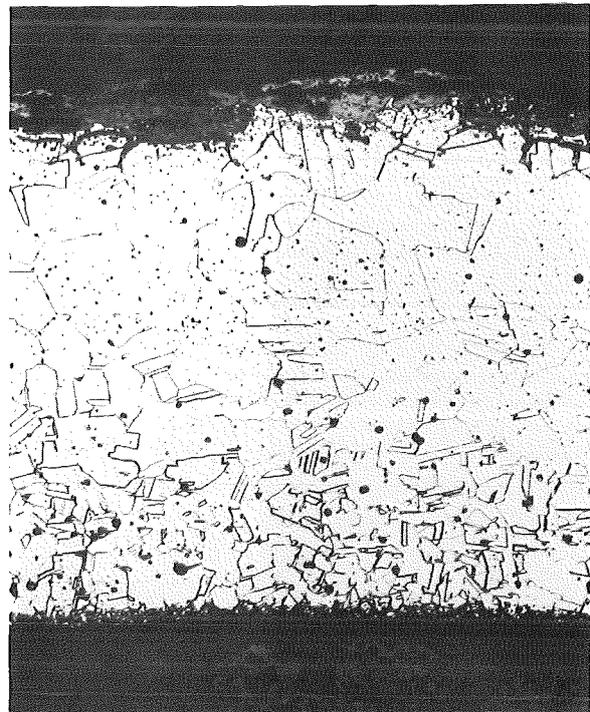
Abb.28b: Metallografische Schliffbilder des austenitischen
29b/c
Stahles 1.4970, Charge 53544
Zustand: Lg+16%Kv+800°C 2Std.



$T=900^{\circ}\text{C}$, $\sigma_t=34\text{ MPa}$
 $t_B=6360\text{ Min.}$, $\delta_t=5.0\text{ ‰}$



$T=950^{\circ}\text{C}$, $\sigma_t=45\text{ MPa}$
 $t_B=810\text{ Min.}$, $\delta_t=7.3\text{ ‰}$



$T=1000^{\circ}\text{C}$, $\sigma_t=34\text{ MPa}$
 $t_B=52\text{ Min.}$, $\delta_t=9.8\text{ ‰}$

Abb.29c: Metallografische Schlibfbilder des austenitischen
Stahles 1.4970, Charge 53544
Zustand: Lg+16%Kv+800⁰C 2Std.