

Zeitschrift:	Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber:	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band:	68 (1950)
Heft:	43
Artikel:	Die Rolle der Werkstoffe in der neueren Entwicklung der kalorischen Maschinen
Autor:	Siegfried, W.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-58100

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 10.01.2026

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

Die Rolle der Werkstoffe in der neueren Entwicklung der kalorischen Maschinen

Von Ing. Dr. W. SIEGFRIED, Winterthur

DK 621.438.0023

Die Entwicklung der kalorischen Maschinen im Sinne grösserer Einheitsleistungen und höherer Wirkungsgrade führte zwangsläufig zu höheren mechanischen und thermischen Beanspruchungen der massgebenden Bauteile, denen nur besondere, zum Teil nach neu entwickelten Verfahren hergestellte Werkstoffe genügen. Heute verfügt der Konstrukteur über eine grosse Zahl hochhitzebeständiger Stähle, deren Festigkeitseigenschaften weitgehend erforscht sind. Die materialtechnische Entwicklung ist noch in vollem Fluss, und es ist bis jetzt noch nicht möglich geworden, diese neuen Werkstoffe mit ihren mannigfältigen Anwendungsmöglichkeiten in ein geschlossenes System einzureihen, wie dies bei andern Ingenieurwissenschaften bereits in viel grösserem Masse gelungen ist. Der Werkstoff-Ingenieur kann dem Maschinenbauer noch keine fertige und zusammenfassende Darstellung geben, mit der sich alle Möglichkeiten zum vornherein abschätzen und überblicken lassen, sondern es bedarf hier einer eingehenden Zusammenarbeit zwischen Maschinen-Ingenieur und Werkstoff-Ingenieur, bei der unzählige Einzelaufgaben in mühsamer Arbeit gelöst werden müssen.

Die Hauptschwierigkeit, die der Maschinenbauer bei der Konstruktion einer Wärmeleistungsmaschine zu überwinden hat, besteht darin, dass die bei der Verbrennung entstehenden Temperaturen ungefähr gleich oder noch höher sind als die Schmelzpunkte der praktisch zur Verfügung stehenden Baustoffe. Diese Schwierigkeit lässt sich grundsätzlich auf drei Wegen überwinden, nämlich: 1. Man kühlst die den hohen Temperaturen ausgesetzten Maschinenteile mit geeigneten Kühlmedien (Wasser, Öl, Luft, Gase). 2. Man lässt die hohen Temperaturen in raschem Rhythmus aufeinander folgen, derart, dass sie jeweils nur sehr kurzzeitig auftreten, während dazwischen Prozessphasen bei niedrigen Temperaturen ablaufen. Die Temperaturzuckungen erfassen dabei nur eine sehr dünne Oberflächenschicht, während die für die Festigkeit massgebenden Teile thermisch nur mässig beansprucht sind. 3. Man verwendet Baustoffe, die dem dauernden Einfluss hoher Temperaturen standhalten.

Die beiden erstgenannten Wege sind schon gegen Ende des letzten Jahrhunderts beschritten worden. Sie führten zum Gasmotor und später zum Dieselmotor. Es gelang, Maschinen mit sehr grossen Einheitsleistungen durchaus betriebsicher zu bauen und die thermischen Beanspruchungen durch künstliche Kühlung, zweckmässige Prozessführung und sorgfältige Formgebung mit bisher bekannten, allerdings in der Herstellung weitgehend verbesserten Werkstoffen zu meistern.

Im Laufe der Entwicklung der Turbomaschinen hat es nicht an Versuchen gefehlt, die Unzulänglichkeit, welche in der niedrigen Warmfestigkeit der damals zur Verfügung stehenden Werkstoffe lag, durch Kühlung mit Flüssigkeiten zu beheben. Die entsprechenden Maschinen konnten sich jedoch im Konkurrenzkampf mit andern Maschinentypen nicht halten. Wie kompliziert z. B. ein Turbinenrad mit gekühlten Schaufeln aussieht, zeigt Bild 1. Das Kühlwasser wird durch eine Hohlwelle der Scheibe zugeführt und dann mit Hilfe von Bohrungen bis zu den Schaufeln und wieder zurück zur Welle geleitet. Es ist leicht verständlich, dass bei der erforderlichen grossen Zahl von Schaufeln eine Konstruktion entsteht, die für die Herstellung von grossen Turbinen kaum in Frage kommen wird.

Der Anstoss, den dritten der oben erwähnten Wege zu beschreiten, ergab sich bei der Entwicklung der Abgas-Turbogebläse, die nach dem Verfahren von Dr. h. c. A. Büchi, Winterthur, zum Aufladen von Brennkraftmaschinen verwendet werden. Hier stellte sich zum erstenmal die Aufgabe, mecha-

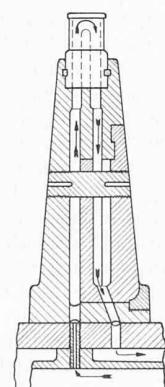


Bild 1. Turbinenrad mit Wasserkühlung nach Ernesto Breda [1] *)

nisch hoch beanspruchte Maschinenteile so zu bauen, dass sie einem Gasstrom von hoher Temperatur dauernd standhalten. Die überaus grosse Entwicklung, die diese Maschinen in der Folge erfahren haben, zeigt, dass die gestellte Aufgabe in durchaus befriedigender Weise hat gelöst werden können.

Das Bedürfnis nach neuen, hochwarmfesten Werkstoffen hat sich erst in den letzten zehn bis fünfzehn Jahren mit der Entwicklung der Gasturbine eingestellt. Bekanntlich bewirkt hier eine Steigerung der höchsten Prozesstemperatur eine viel stärkere Erhöhung des Wirkungsgrades als z. B. bei der Dampfturbine. Dass es überhaupt möglich wurde, Gasturbinen zu bauen, die mit den bereits sehr hoch entwickelten Dampfturbinen in Wettbewerb treten können, verdanken wir einerseits den bedeutenden Errungenschaften auf dem Gebiete der modernen Aerodynamik, die es heute ermöglichen, Entspannung und Verdichtung des Arbeitsmittels mit ungewöhnlich hohen Wirkungsgraden zu verwirklichen und damit Arbeitsmittel zu verwenden, die während des Prozesses nicht mehr eine Verdampfung und eine Verflüssigung mitmachen müssen. Andererseits ist hierbei die moderne Werkstoffkunde massgebend mitbeteiligt, dank welcher die Prozesstemperaturen in einem ebenso ungewöhnlichen Masse gesteigert werden konnten. Die Auswirkungen dieser Fortschritte sind auf Bild 2 deutlich zu erkennen: Dort sind die Wirkungsgrade in Abhängigkeit der obigen Temperatur des Arbeitsmittels für verschiedene Arten von Turbomaschinen aufgezeichnet, nämlich für eine Dampfturbine von 20000 PS, wie sie für ein Handelsschiff in Frage kommt, dann für eine stationäre Dampfturbine mit einer Leistung von 40000 kW und im Vergleich dazu für eine Gasturbinenanlage mit einer Leistung von 20000 PS nach dem halbgeschlossenen System. Wir sehen aus diesem Bild, wie steil der Wirkungsgrad der Gasturbinen mit zunehmender Temperatur ansteigt, und dass gerade von diesem Maschinentyp die Vorteile der Entwicklung der neuen warmfesten Legierungen am besten ausgenutzt werden können.

Unter dem Druck der im Krieg entstandenen Verhältnisse ist die vorhin beschriebene Entwicklung bei den

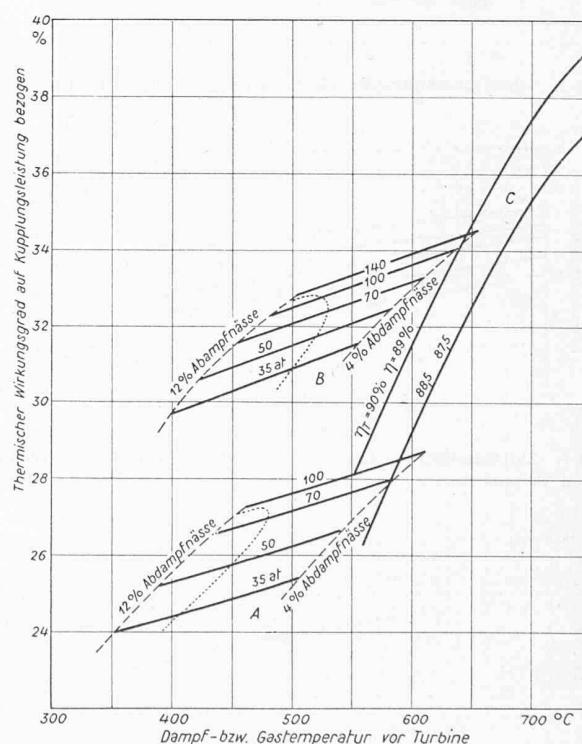


Bild 2. Wirkungsgrade verschiedener Turbinenanlagen in Abhängigkeit von der Temperatur. A Dampfturbinanlage für ein Handelsschiff von 20000 PS. B Turbogenerator eines Dampfkraftwerkes von 40000 kW mit Speisewasservorwärmung durch Entnahmedampf. C Gasturbinenanlage von 20000 PS mit halbgeschlossenem Kreislauf

*) Die Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schluss des Aufsatzes.

Turbotriebwerken im Flugzeugbau besonders rasch vor sich gegangen. Bild 3 gibt einen Ueberblick über die Fortschritte der bei diesen Maschinen zur Anwendung kommenden warmfesten Werkstoffe. Hier ist die Spannung für Bruch nach 1000 h in Abhängigkeit von der Prüftemperatur aufgetragen.

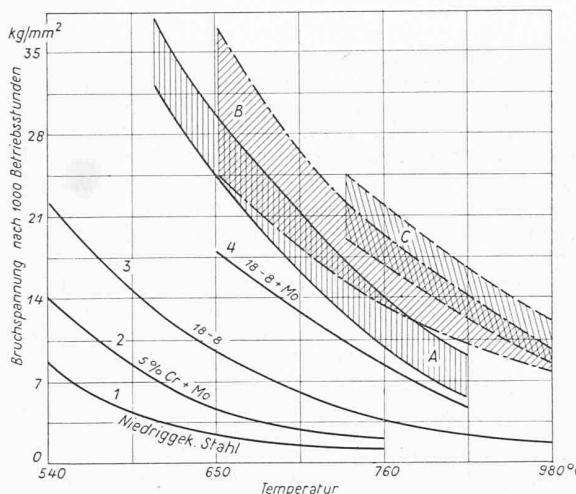


Bild 3. Spannung für Bruch nach 1000 h in Abhängigkeit von der Temperatur für die verschiedenen Klassen von hochwarmfesten Werkstoffen [2]. 1, 2 und 3 «Spitzenlegierungen»: A, B und C moderne, hochwarmfeste Legierungen

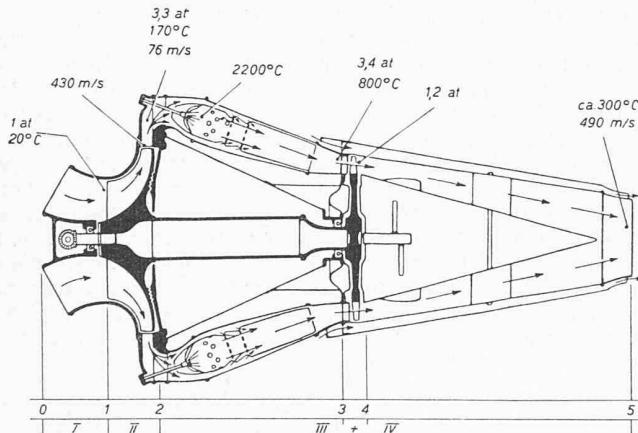


Bild 4. Schnittzeichnung durch das Düsentriebwerk Goblin II [3]

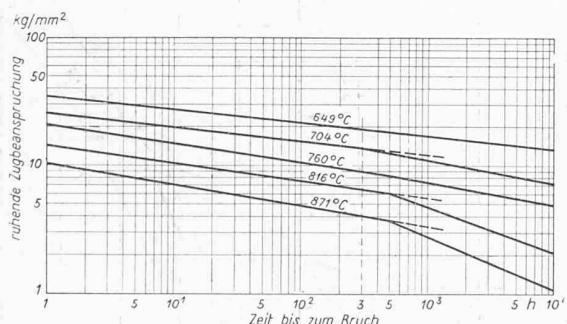


Bild 6. Zeitstandkurven für einen warmfesten Stahl bei verschiedenen Temperaturen [4]

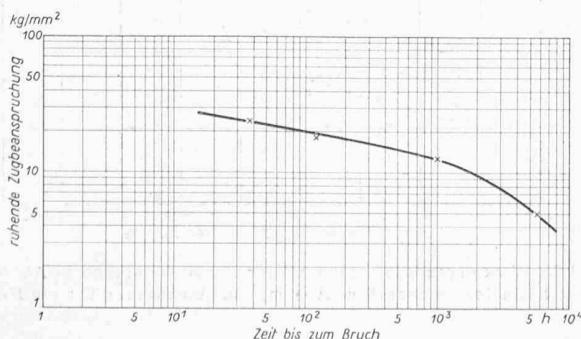


Bild 7. Zeitstandkurve eines Cr-Ni-W-Stahles bei 650°C

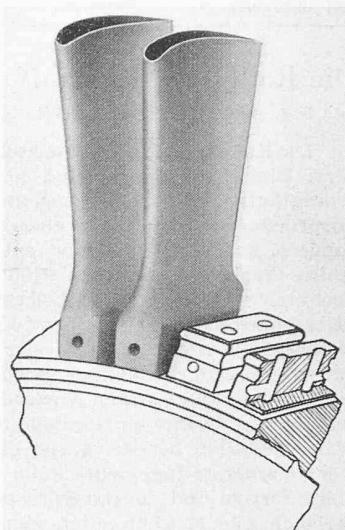


Bild 5. Befestigung der Schaufeln beim Triebwerk Jumo 004 [1]

Die Kurven 1, 2 und 3 entsprechen Festigkeitswerten, welche mit den noch vor wenigen Jahren als «Spitzenlegierungen», bezeichneten Werkstoffen erzielt wurden. Später gelang es, Legierungen mit bedeutend höherer Rekristallisationstemperatur zu erschmelzen, die ungefähr in das vertikal schraffierte Gebiet A fallen. Die bekanntesten Legierungen dieser Klasse sind z. B. der Stahl 16/25/6 von Timken mit 0,06% C, 16% Cr, 25% Ni, 6% Mo, 0,1—0,2% Stickstoff; ferner der Stahl 16/13/3 mit 0,06% C, 16% Cr, 13% Ni und 3% Mo. Eine weitere Steigerung konnte dadurch erzielt werden, dass zu diesen Legierungen Metalle hinzu legiert wurden, welche Ausscheidungseffekte bedingen; die hierdurch erzielten Festigkeitswerte liegen im schrägl schraffierten Gebiet B. Typische Stähle dieser Klasse sind der englische Stahl G 18 B mit 0,4% C, 1% Si, 13% Ni, 13% Cr, 2,5% W, 2,0% Mo, 10% Co und 3% Nb. Ferner die amerikanische Legierung S 590 mit 0,5% C, 20% Cr, 20% Ni, 20% Co, 4% Mo, 4% W, 4% Cb und die Legierung S 816 mit 0,4% C, 20% Cr, 20% Ni, 45% Co, 3% Mo, 4% W und 4% Cb.

Die Entwicklung ist aber hier nicht stehen geblieben. Durch Uebernahme des Giessverfahrens, nach welchem die Zahntechniker die Goldplombe herstellen, ist es gelungen, Turbinenschaufeln mit so grosser Präzision zu giessen, dass sie ohne spanabhebende Bearbeitung in die Turbinen eingebaut werden können. Das Material kann damit beliebig hart sein und man erreicht nun Festigkeitswerte, die im Gebiete C liegen. Die bekannteste Legierung dieser Art, aus der beispielweise der grösste Teil der Turbinenschaufeln für die Abgasturbinen der amerikanischen Flugzeuge hergestellt waren, ist die Legierung Vitallium mit rd. 0,4% C, 60% Co, 30% Cr und 6% Mo. Betrachten wir z. B. unser Diagramm bei 816°, so können wir feststellen, dass die Festigkeitseigenschaften in wenigen Jahren eine Verbesserung um etwa 300% erfahren haben. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass die Ausnutzung dieses Fortschrittes zu neuen Maschinentypen führte. Die modernen Düsentriebwerke stellen hierfür ein besonders charakteristisches Beispiel dar: Wo die nötigen Rohstoffe verfügbar waren, gelang es, sehr leistungsfähige Konstruktionen mit verhältnismässig gutem Wirkungsgrad zu bauen, Bild 4, während man z. B. in Deutschland zu Konstruktionen mit gekühlten Schaufeln Zuflucht nehmen musste, wie dies aus Bild 5 ersichtlich ist. Es ist ohne weiteres verständlich, dass die damit verbundenen Komplikationen die rasche Entwicklung, namentlich die Massenherstellung dieser Flugzeugtriebwerke empfindlich behinderten.

Die Entwicklung der Gasturbine ist jedoch nicht bei Maschinen für den Flugzeugbau stehen geblieben, sondern hat sich namentlich in unserem Lande auf das Gebiet grosser stationärer und Schiffsanlagen ausgedehnt. Hier, bei den «long-life»-Turbinen, tritt der Faktor Werkstoff besonders stark in den Vordergrund, da eine sehr viel grössere Lebensdauer verlangt wird, als dies bei den Flugzeugtriebwerken der Fall ist. Nachfolgend seien einige der bedeutendsten Aufgaben kurz angeführt, die sich dabei ergeben; von ihrer zweckmässigen Lösung hängt die weitere Entwicklung der Gasturbine massgeblich ab.

Ein erstes Problem betrifft den sog. Zeitstandversuch. Man misst bei einer zeitlich konstanten Belastung die Zeit bis zum Eintritt des Bruches. Bild 7 zeigt das Ergebnis einer grossen Zahl solcher Versuche, wobei die Zeit bis zum Bruch auf der Abszisse und die Prüfspannung auf der Ordinate in doppeltlogarithmischem Maßstab aufgetragen sind. Wie ersichtlich können wir bei hohen Temperaturen nicht mehr von

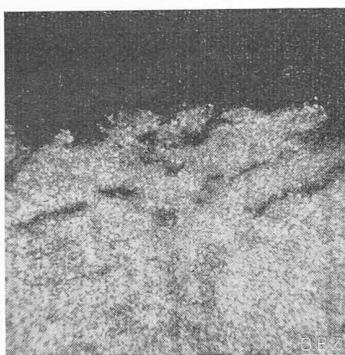


Bild 8. Mikroschliff durch den gebrochenen Probestab. Ausbildung von interkristallinen Rissen in der Nähe der Bruchstelle [5]

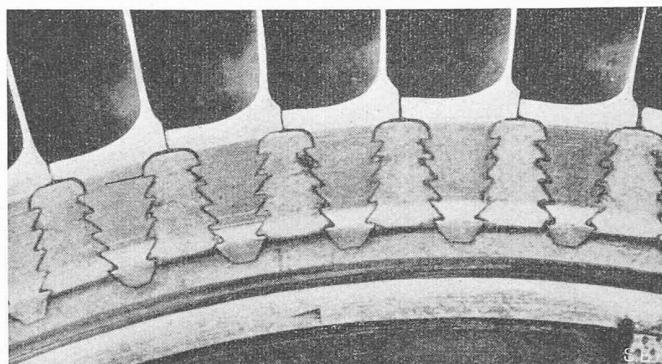


Bild 9. Rissbildung an der Schaufelfussbefestigung infolge der Versprödung des Stahles [5]

einer ausgesprochenen Bruchgrenze sprechen, wie wir es von den metallischen Werkstoffen bei Raumtemperatur her gewohnt sind, indem es nicht mehr möglich ist, eine Belastung anzugeben, bei der der Werkstoff unendlich lange halten wird. Wir müssen viel mehr eine Zeitabhängigkeit der Festigkeit feststellen, da eine Zunahme der Last die Zeit bis zum Eintreten des Bruches verkürzt. Wir müssen also bei unseren Konstruktionen nach den Gesichtspunkten der Zeitfestigkeit dimensionieren und die Höhe der zulässigen Belastung von der verlangten Betriebszeit der Maschine abhängig machen. So gelten z. B. die hohen Festigkeitswerte für die kurzen Betriebszeiten von Flugzeugtriebwerken (300 h), während bei den langen Betriebszeiten der stationären Anlagen (100 000 h und mehr) wesentlich kleinere Werte zugrunde zu legen sind.

Damit ist aber bereits ein zweites Problem aufgetaucht, nämlich die Frage nach einer Methode, welche die Bruchlast nach langen Versuchszeiten mit einem Extrapolationsverfahren bestimmen lässt, da es unmöglich ist, vor Inbetriebnahme der Maschine Versuche von einer der Lebenszeit (die mehr als 10 Jahre beträgt) auch nur angenähert entsprechenden Dauer durchzuführen. Aus Bild 6 sieht man bereits die Schwierigkeiten für ein solches Extrapolationsverfahren: Die im doppeltlogarithmischen Maßstab angegebenen Kurven haben nicht geradlinigen Verlauf, wie man ursprünglich annehmen zu können glaubte, sondern biegen nach längeren Zeiten im allgemeinen nach unten ab. Dieses Abbiegen der Zeitstandkurve bei Verlängerung der Zeit bis zum Bruch tritt je nach der Zusammensetzung des betreffenden Stahles und der Prüf temperatur bei verschiedenen Zeiten ein. Sie kann unter Umständen schon nach sehr kurzen Versuchszeiten beobachtet werden. Bild 7 zeigt Versuchsergebnisse an einem Stahl, bei dem dieser Abfall schon nach ungefähr 1000stündigem Versuch zu beobachten war. Der Grund für diese Erscheinung ist auf die geringe Festigkeit in den Korngrenzen zurückzuführen. Bild 8 zeigt ein Schliffbild durch einen aus diesem Stahl hergestellten Probestab mit einer Standzeit von ungefähr 6000 h. Man sieht in einiger Entfernung von der eigentlichen Bruchfläche interkristalline Risse, die sich durch langsames Auseinandergleiten der einzelnen Körner gebildet haben.

Man wird ohne weiteres verstehen, wenn der Konstrukteur einen solchen Stahl als ungeeignet bezeichnet. Der prüfende Ingenieur kann allerdings hierbei die Zeit bis zum Abfallen der Festigkeit leichter ermitteln als bei andern Stählen, bei denen dieser Abfall z. B. erst nach 10 000 oder noch mehr Stunden eintritt; denn im zweiten Fall ist die Sicherheit der Bestimmung der zulässigen Spannung mit bedeutend grösseren Schwierigkeiten verbunden.

Diese Schwierigkeiten zwingen nun den Metallurgen, die sich während dem Kriechvorgang abspielenden physikalischen Vorgänge weiter zu verfolgen und nach zusätzlichen Methoden zu forschen, mit denen die Extrapolation nach langen Versuchszeiten mit mehr Sicherheit durchgeführt werden kann als nur durch Aufzeichnen von Messpunkten in einem doppeltlogarithmischen Diagramm und durch Verbinden der entsprechenden Punkte mit Geraden, die man dann verlängert. Es sind in letzter Zeit in dieser Richtung bedeutende Fortschritte gemacht worden, und es ist zu erwarten, dass in kurzer Zeit die jetzt mancherorts noch etwas problematisch erscheinenden Vorgänge mit genügender Sicherheit erkannt und vorausbestimmt werden können. Die Tatsache, dass wir

nach langen Betriebszeiten extrapoliieren müssen, zwingt jedoch die Firmen, die sich mit der Herstellung und der Verwendung von warmfesten Werkstoffen befassen, grosse Laboratorien zu unterhalten, da z. B. für einen Versuch von 10 000 h Dauer eine Dauerstandmaschine mehr als ein Jahr belegt ist.

Die hochhitzebeständigen Werkstoffe erweisen sich auch bei rein statischer Beanspruchung oft als außerordentlich spröde. Bild 9 zeigt die Befestigung der

Schaufeln einer im Betrieb gewesenen Gasturbine; man sieht hier deutlich, dass sich Risse ausgebildet haben, die von den Spannungskonzentrationen im Grunde der Zacken ausgegangen sind. Bild 10 zeigt ein zerstörtes Rad, bei dem infolge Sprödigkeit ein ganzes Stück des Schaufelkranges herausgebrochen ist. Dieses Verhalten mutet umso paradoxe an, als es sich häufig um Werkstoffe handelt, die bei einer Festigkeitsprüfung bei Raumtemperatur ein sehr grosses Dehnungsvermögen zeigen. Ein interessantes Beispiel des unterschiedlichen Verhaltens eines warmfesten Werkstoffes im kurzzeitigen Zerreissversuch bei Raumtemperatur und im langzeitigen Versuch bei erhöhter Temperatur zeigen die Bilder 11 bis 13. Bei einer ersten Prüfung wurde das Modell einer Schaufelfussverbindung in der Zerreissmaschine bei Raumtemperatur im kurzzeitigen Versuch zerstört. Bild 11 zeigt die Anordnung des Versuchs, während Bild 12 das Ergebnis der ersten Prüfung bei Raumtemperatur zeigt. Hier war das Deformationsvermögen des Stahles sehr gross; die Zacken konnten sich so stark deformieren, bis das Schaufelstück aus dem Nutenstück herausglitt. Ganz anders sieht nun das Ergebnis der zweiten Prüfung bei erhöhter Temperatur aus. Hier ist, wie Bild 14 zeigt das Deformationsvermögen ganz gering; die einzelnen Zacken brechen ohne wesentliche Verformung ab.

Bild 14 zeigt das Ergebnis von Zeitstandversuchen, welche

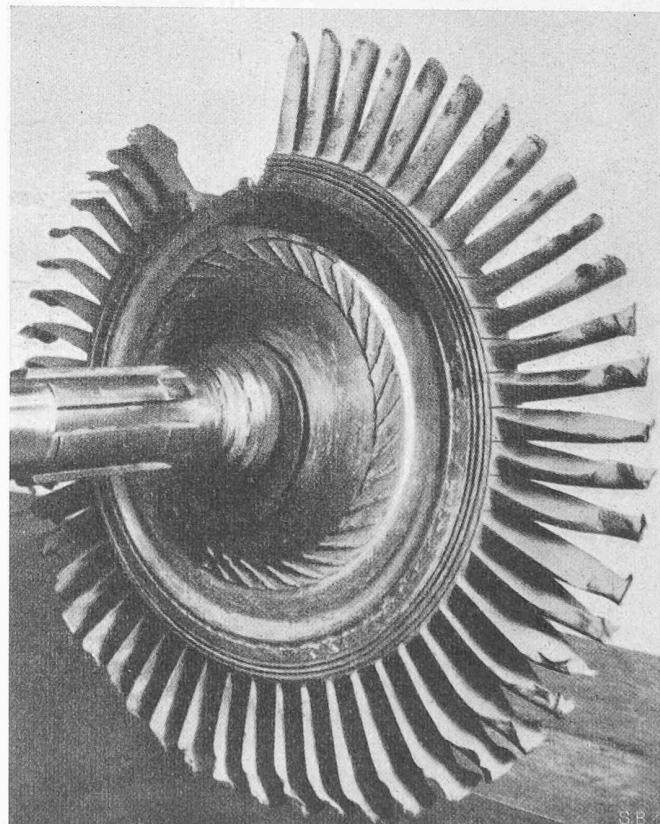


Bild 10. Bruch einer Turbinenscheibe für ein Düsentriebwerk infolge Versprödung des Stahles [5]

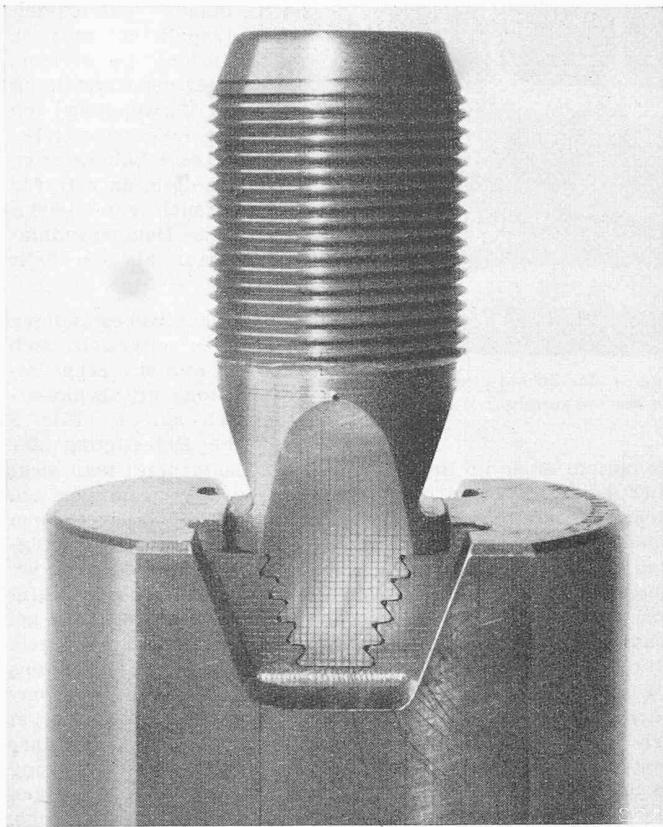


Bild 11. Zugversuch mit einem Schaufelfussmodell

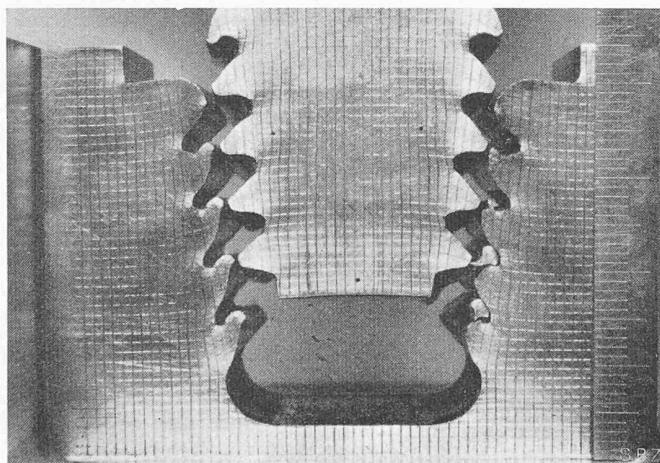


Bild 12. Zerstörung einer Schaufelfussverbindung bei Raumtemperatur

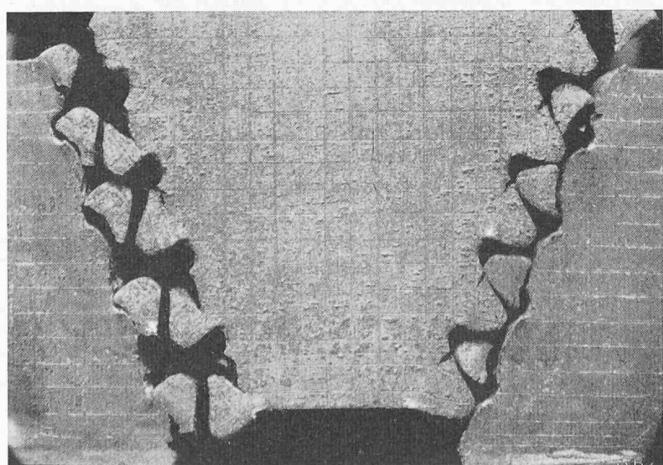


Bild 13. Ausbildung des Bruchs einer Schaufelfussverbindung bei erhöhter Temperatur

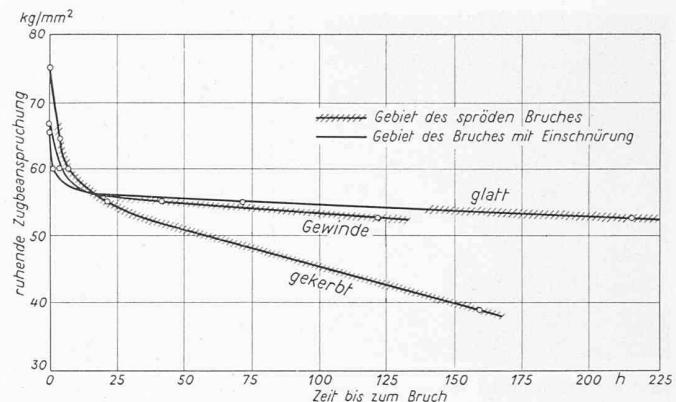


Bild 14. Warmzerreiss- und Dauerstandversuche bei 500°C an glatten, gekerbten und Gewinde-Stäben aus Schraubenstahl mit 0,2% C, 0,8% Cr, 0,9% Ni und 1% Mo [6]

an einem warmfesten Stahl, der empfindlich für Versprödung ist, durchgeführt wurden. Die Versuche wurden an einem glatten Probestab, einem Probestab, der mit Gewinde versehen war, und einem scharf gekerbten Probestab durchgeführt. Bei diesem Stahl sinkt die Festigkeit durch das Anbringen einer Formkerbe, indem interkristalline Trennungsbrüche auftreten, wie dies auf Bild 14 durch Schraffieren der einzelnen Kurvenäste angedeutet ist. (Schluss folgt)

Ueber das Kriterium des volkswirtschaftlichen Nutzens in der Energieversorgung

DK 620.9

Gedanken zu Ludwig Musils Buch «Praktische Energiewirtschaftslehre» von Prof. Dr. BRUNO BAUER, ETH, Zürich

Professor Ludwig Musil, Graz, hat letztes Jahr im Verlag Julius Springer, Wien, ein Werk über die Energiewirtschaftslehre herausgegeben, das der Beachtung aller Energiewirtschaften wert ist. Er ist damit an eine gewaltige Aufgabe herangetreten: die Energiewirtschaft, dieses weitausladende Grenzgebiet zwischen Technik und Wirtschaft, in einem Lehrbuch in nationalökonomischer Betrachtung zu beschreiben. Das Vorhaben stellt an den Autor grösste Anforderungen, denn es verlangt nicht nur die sichere Beherrschung einer weitschichtigen technischen Materie, sondern auch die vertiefte Kenntnis der modernen nationalökonomischen Theorie. Es handelt sich ja darum, die Energieversorgung als Teil des volkswirtschaftlichen Prozesses begreiflich zu machen und ihre Richtlinien aus den Erfordernissen dieses Prozesses abzuleiten. Hier aber beginnt die Schwierigkeit. Man kann wohl mit Ludwig Musil einleitend feststellen, dass für die Beurteilung der Energieversorgung ihr volkswirtschaftlicher Nutzen massgebend sein soll; wie aber ist dieser Nutzen zu umschreiben?

In der Konkurrenzwirtschaft lässt sich hierfür leicht eine Formulierung finden: Damit die Beschaffung eines Gutes nützlich ist, muss es einen Wert haben. Je höher dieser Wert ausfällt (ein Mass der Dringlichkeit der Bedürfnisbefriedigung), umso zwingender, nützlicher ist die Güterbeschaffung. Bei gegebenem Aufwand wächst daher ihr Nutzen mit dem Marktwert des Gutes. Der Marktwert muss also als eine mitbestimmende Komponente in der Umschreibung des volkswirtschaftlichen Nutzens erscheinen; er kann aber allein zur Beurteilung nicht hinreichend sein. Da nämlich die Produktionselemente der Güterbeschaffung nur in beschränktem Umfang vorhanden sind, ist jenes Verfahren von grösstem Nutzen, das eine bestimmte Gütermenge mit dem geringsten Aufwand an Produktionselementen erzeugen lässt. Mit diesem Aufwand, den Produktionskosten, ist die zweite Komponente des Nutzens gegeben, die aber für sich allein offenbar auch kein hinreichendes Kriterium ergibt. Wenn wir uns nämlich mit allen Kräften noch so sehr bemühen, die Produktionskosten eines bestimmten Gutes auf einen Mindestbetrag zu bringen, so kann der volkswirtschaftliche Nutzen seiner Beschaffung trotzdem nicht gross sein, wenn ein geringes Bedürfnis nach diesem Gut vorhanden ist und sein Wert auf dem Markt daher niedrig steht. Wir brauchen also beide Komponenten zur Umschreibung des volkswirtschaftlichen Nutzens in der Konkurrenzwirtschaft, auf welche Tatsache wir später noch eingehend zurückkommen werden.