

jedem Hub häufig um mehrere Millimeter auf ihren Führungen oder Schienen gleiten, ferner die Antriebswellen der Laufräder von Kranen größerer Spannweite, die symmetrisch zum Motor angeordnet sein müssen, um das Voreilen eines der Räder und das Ecken des Krans zu verhüten, vgl. Abschnitt 18, ferner Preßzylinder mit eingeschliffenen Kolben, Abschnitt 23. — An Flanschen, die zu schwach bemessen sind oder zu große Schraubenabstände aufweisen, haben die auftretenden Durchbiegungen Undichtigkeit zur Folge; an nicht genügend kräftigen Lagerdeckeln werden die Deckelschrauben oft beträchtlichen Nebenbeanspruchungen auf Biegung ausgesetzt. An Dampfturbinen biegen sich die Trennungswände der einzelnen Stufen infolge des Druckunterschiedes auf beiden Seiten durch. Gegenüber den Rädern müssen sie deshalb in axialer Richtung genügendes Spiel haben. Gelegentlich ist es schon vorgekommen, daß die Zwischenwände infolge dieser Formänderungen am nächsten Rade schliffen und heißliefen, sogar mit ihm verschweißten und den Zusammenbruch der ganzen Turbine verursachten. Namentlich wenn die im Deckelrand sitzenden Leitschaukeln sehr lang sind, treten recht bedeutende, sorgfältig zu beachtende Durchbiegungen auf.

Eine große Rolle spielen Formänderungen an den Kraftwagen. Es ist ausgeschlossen, den Wagenrahmen so steif auszubilden, daß nicht mit merkbaren Verbiegungen und Verdrehungen beim Fahren gerechnet werden muß. Diese Formänderungen werden auch auf das Motorgehäuse übertragen, wenn dasselbe, wie früher üblich, fest in den Rahmen eingebaut ist. Klemmungen in den Lagern, Kasten- und Wellenbrüche waren die Folge. Erst durch die Dreipunktlagerung des Gehäuses nach Abb. 156, bei welcher Rahmen und Motor nur in den Punkten *A*, *B* und *C* verbunden sind, ist der Motor von den Formänderungen des Rahmens unabhängig geworden. Denn durch *A*, *B* und *C* läßt sich stets eine Ebene gelegt denken, in der das Motorgehäuse ohne irgendwelche Biege- und Drehmomente gestützt werden kann. Daß auch die Kraftübertragung vom Motor zu den Laufrädern, die durch ihre federnde Abstützung in besonders starkem Maße nachgeben, in richtiger Weise ausgebildet werden muß, braucht nicht betont zu werden.

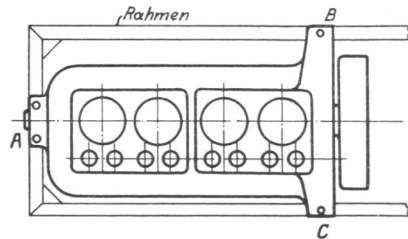


Abb. 156. Lagerung eines Kraftwagenmotors in drei Punkten *ABC*.

d) Wärmespannungen.

Was die durch Wärmewirkungen hervorgerufenen Spannungen und Formänderungen anlangt, so gibt bei einer Elastizitätszahl α und einer Wärmeausdehnungszahl γ eines Werkstoffes

$$\sigma_1 = \frac{\gamma}{\alpha}$$

die Größe der Zug- oder Druckspannungen an, die zufolge einem Grad Temperaturunterschied entstehen,

$$\sigma_t = \frac{\gamma \cdot t}{\alpha} \quad (85)$$

diejenige bei t^0 , wenn der Körper sich nicht zusammenziehen oder ausdehnen kann. Beispielweise ist für weichen Flußstahl

$$\alpha = \frac{1}{2000000} \text{ cm}^2/\text{kg}, \quad \gamma = 0,000011, \text{ bezogen auf } 1^0 \text{ C und}$$

$$\sigma_1 = 2000000 \cdot 0,000011 = 22 \text{ kg/cm}^2,$$

so daß bei einer Erwärmung um 100^0 schon eine Spannung von 2200 kg/cm^2 entsteht, wenn die Formänderung vollständig gehindert wird. Zahlen für die wichtigsten Werkstoffe enthält Zusammenstellung 52.

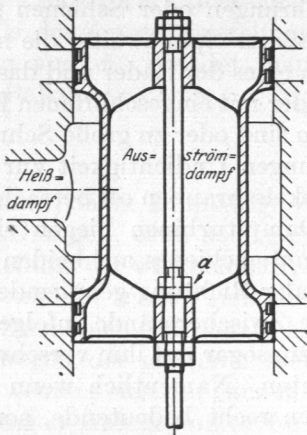


Abb. 157. Heißdampfschieber.

Zusammenstellung 52. Wärmespannungen im Falle völlig gehinderter Formänderung.

	α	γ	σ_1
Stahl	$\frac{1}{2200000}$	0,000011	24 kg/cm ²
Stahlguß	$\frac{1}{2150000}$	0,000011	24 „
Gußeisen	$\frac{1}{1050000}$	0,000011	11,5 „
Bronze	$\frac{1}{1100000}$	0,000018	20 „
Messing	$\frac{1}{800000}$	0,000019	15 „
Aluminium	$\frac{1}{700000}$	0,000024	14,8 „

Beispiele für schädliche Wärmewirkungen sind häufig. Am Kolbenschieber, Abb. 157, der außen von Heißdampf umspült, innen durch Auspuffdampf abgekühlt war, riß zunächst mehrmals die Antriebsstange. Als diese verstärkt wurde, brachen die Rippen des Schiebers. Die strichpunktierte Abänderung nach a bewährte sich, bei der nur die untere Nabe von der gekürzten Schieberstange gefaßt ist. Die Kolbenstange einer Gasmaschine,

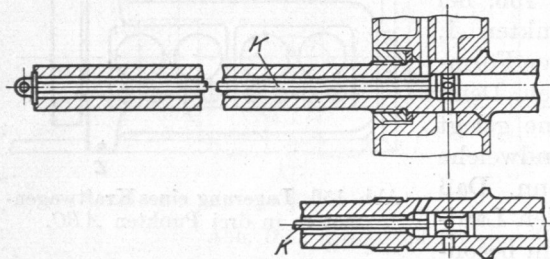


Abb. 158 und 159. Gekühlte Kolbenstange einer Großgasmaschine.

Abb. 158, dehnte sich während des Betriebes stark aus und verlängerte dadurch das kaltbleibende, an beiden Enden festgehaltene Kühlwasserzuleitungsrohr K , so daß dieses wiederholt abriß. In Abb. 159 ist die Ausdehnung dieses Rohres unabhängig von der Kolbenstange gemacht. Dampfleitungen unterliegen, je nachdem sie unter Druck stehen oder abgestellt sind, oft Temperaturunterschieden von mehreren hundert Grad und müssen deshalb durch elastische

Zwischenstücke, Stopfbüchsen oder gelenkige Rohre nachgiebig ausgebildet und auf Rollen, Pendelstützen u. dgl. gelagert werden. In lange Wellenleitungen sind Ausdehnungskupplungen einzuschalten. Dampfzylinderfüße sollen entsprechend der Ausdehnung des Zylinders im Betriebe gleiten können.

Ein Beispiel für den Einfluß des Werkstoffs: Als man die Leistung der Gasmaschinen mittlerer Größe steigern und die häufig auftretenden Brüche der gußeisernen Zylinderköpfe vermeiden wollte, griff man zum Stahlguß. Die rund halb so große Elastizitätszahl bedingte aber doppelt so hohe Spannungen, die die Brüche trotz der höheren Festigkeit des Werkstoffes nicht verminderten, sondern, wohl infolge größerer Gußspannungen, eher vermehrten! Abhilfe brachte die richtige konstruktive Durchbildung der gußeisernen Deckel, derart, daß sich die einzelnen Teile desselben unabhängig voneinander ausdehnen konnten.

Häufig treten Risse in den Nietreihen von Kesseln und Feuerbüchsen auf, die durch Überanstrengung oder durch falsche Anordnung der Feuerzüge außergewöhnlich starker Hitze oder raschen Temperaturwechseln ausgesetzt sind, namentlich, wenn Wärmestauungen durch Ansammlungen des Werkstoffes an den Stößen der Blechschüsse begünstigt werden. Wie oben gezeigt, kann an Flußstahl bei örtlichen Wärmeunterschieden von 100° eine Spannung von 2200 kg/cm² entstehen, die Quetschgrenze also überschritten und dadurch eine örtliche, bleibende Formänderung im Werkstoff herbeigeführt werden, die den Körper bei der Abkühlung verhindert, seine ursprüngliche Form wieder anzunehmen und dadurch Zugspannungen erzeugt. Diesen Zugspannungen ist aber der

Baustoff sehr wenig gewachsen, weil er vorher Druckspannungen über die Quetschgrenze hinaus ausgesetzt war. Wird er nun durch abwechselnde Erhitzung und Abkühlung wechselnden Beanspruchungen unterworfen, so ermüdet er schließlich und reißt ein [III, 1]. In ähnlicher Weise sind die bekannten Rißbildungen an den Kolbenböden- und deckeln von Gasmaschinen zu erklären.

An Großgasmaschinenzylindern kommen Risse besonders häufig an der Ansatzstelle *a* der Ein- und Auslaßstutzen, Abb. 160, vor. Auch ihre Bildung ist in ähnlichen Ursachen, wie eben erörtert, begründet, indem die Wandung innen in weiten Grenzen wechselnden Temperaturen, außen aber dem kalten Kühlwasser ausgesetzt ist. Die Rißbildung wird durch Lunkerbildungen und durch Unreinigkeiten, die sich an den Stellen beim Guß leicht absetzen, noch unterstützt.

Radiale Risse am Umfang einer Dampfturbinenscheibe konnten auf die plötzliche Abkühlung durch Wasser, das beim Abstellen der Maschine aus dem Einspritzkondensator in das Turbinengehäuse gestiegen war, zurückgeführt werden. Der Rand der noch laufenden Scheibe tauchte in das Wasser und suchte sich zusammenzuziehen, wurde aber daran durch den noch warmen, mittleren Teil gehindert und riß. — Die tangentialen Risse an derartigen Scheiben, an der Stelle, wo sie in die Naben übergehen, dürften ihre Erklärung ebenfalls zum Teil in Wärmespannungen finden, indem sich die dünne Scheibe beim Anstellen der Turbine rascher erwärmt und ausdehnt als die starke Nabe. Als ungünstiges Moment kommt hinzu, daß die Übergänge zur Nabe vielfach zu schroff gewählt und so die Spannungen durch die im folgenden näher behandelte Kerbwirkung beträchtlich gesteigert werden.

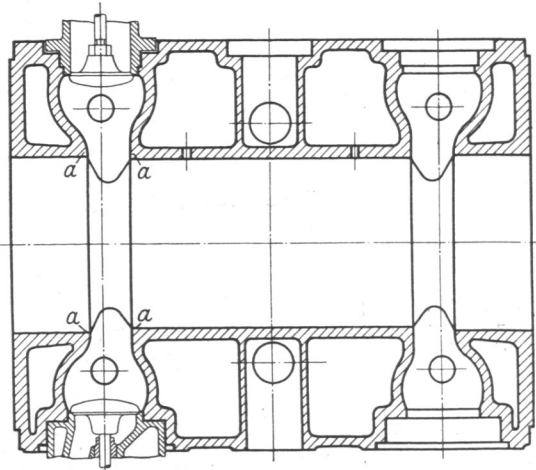


Abb. 160. Großgasmaschinenzylinder.

e) Kerbwirkung.

Sehr wichtig ist nämlich die Wahl der Übergänge und Abrundungen an Stellen, wo größere Spannungen aus einem Teil in einen andern übergeleitet werden müssen. Es ist bekannt, daß Stahlstangen nach geringem Einkerbten leicht abgeschlagen werden können, daß hoch beanspruchte Schrauben an dem scharf eingedrehten Kopfe oder dort, wo das Gewinde beginnt, reißen, daß Kurbelwellen häufig an den Ansatzstellen der Schenkel brechen, oder Risse zeigen, die von Nuten oder Bohrungen ausgehen. Alle diese Erscheinungen sind auf die sogenannte Kerbwirkung plötzlicher Querschnittänderungen oder unvermittelter oder zu scharfer Übergänge zurückzuführen. Die Kerbwirkung bedingt 1. örtlich starke Steigerungen der Spannung und macht 2. die Bauteile viel empfindlicher gegenüber stoßweiser Beanspruchung.

1. Die Spannungsverteilung in gekerbten Querschnitten.

In einem längeren, mit einer Bohrung versehenen, durch die Längskraft *P* belasteten Stabe, Abb. 161, wird in den genügend weit von dem Loch abliegenden Querschnitten *I* und *III* die Spannung praktisch gleichmäßig verteilt sein. Denkt man sich *P* dort in eine Anzahl gleich großer Einzelkräfte *1* bis *10* zerlegt, so werden diese an lauter gleich breiten Streifen wirken. Die Randkräfte *1* und *10* können auf nahezu geradem Wege vom Querschnitt *I* zum Querschnitt *III* gelangen; dagegen werden die übrigen um so stärker abgelenkt, je näher der Stabmitte sie liegen; am stärksten also die Kräfte *5* und *6*. Sie beschränken sich an der Stelle *II* auf kleinere Querschnitte, erzeugen in ihnen höhere Spannungen und eine um so ungleichmäßigere Spannungsverteilung im gesamten