

金属强度的基本知识

【苏】Г.В.烏日克著

中国工业出版社

52
42
1

金属强度的基本知识

[苏] Г.Б.烏日克 著
鮑豫洲 译

中国工业出版社

本书通俗地叙述机械制造中所采用金属材料强度的基本知识；研究金属的机器零件在运转过程中的载荷形式及工作条件；介绍了在不同载荷形式下金属的试验方法。对几种试验机器和仪器也进行了说明。

本书供技工学校教师和学生使用，对工业企业的工程技术人员、工长和熟练工人也很有用。

Г. В. Ужик
ПРОЧНОСТЬ МЕТАЛЛОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ
ТРУДРЕЗЕРВИЗДАТ 1958

* * * * *
金属强度的基本知识

鲍豫洲 译

*
机械工业图书编辑部编辑（北京苏州胡同 141 号）

中国工业出版社出版（北京左门内大街 10 号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第 110 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*
开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $2 \frac{7}{16}$ · 字数 47,000

1964 年 3 月北京第一版 · 1964 年 3 月北京第一次印刷

印数 0,001—8,366 · 定价（科二）0.23 元

*
统一书号：15165 · 2918（一机-607）

金属强度的基本知识

〔苏〕Г.В.烏日克 著

鮑豫洲 译

中国工业出版社

本书通俗地叙述机械制造中所采用金属材料强度的基本知识；研究金属的机器零件在运转过程中的载荷形式及工作条件；介绍了在不同载荷形式下金属的试验方法。对几种试验机器和仪器也进行了说明。

本书供技工学校教师和学生使用，对工业企业的工程技术人员、工长和熟练工人也很有用。

Г. В. Ужик

ПРОЧНОСТЬ МЕТАЛЛОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ
ТРУДРЕЗЕРВИЗАТ 1958

* * *

金属强度的基本知识

鮑豫洲 译

*

机械工业图书编辑部编辑 (北京苏州胡同 141 号)

中国工业出版社出版 (北京东黄城根西 10 号)

(北京市书刊出版事业许可出字第 110 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $2 \frac{7}{16}$ · 字数 47,000

1964 年 3 月北京第一版·1964 年 3 月北京第一次印刷

印数 0,001—8,366 · 定价(科二)0.23 元

*

统一书号: 15165 · 2918(一机-607)

目 次

序言	4
总論	7
拉伸时金屬的强度和性能	11
交变（循环）載荷下金屬的强度	21
关于金屬疲劳的一般知識	21
应力集中和表面状态对疲劳的影响	26
用各种表面层加工方法提高疲劳强度	30
腐蝕作用下疲劳强度的降低	35
高温下金屬的强度	37
蠕变	39
松弛	43
持久强度	46
金屬的脆性破坏傾向（金屬的冲击韧性和靜韧性）	47
低温下金屬的强度	58
低温下試驗的方法	60
当試样和金屬制品的尺寸增大时，金屬强度的变化 （現代材料强度理論中的比例尺因素問題）	64
一次靜載荷下試样尺寸对金屬强度的影响	65
交变載荷下絕對尺寸（比例尺）对强度的影响	74

序 言

机器的功率、速度及其工作规范的压力和温度的日益提高，是近代机器制造工业的发展特点。不久前汽轮发电机（把热能和机械能转变为电能的机器）的最大功率还没有超过10000~25000千瓦。现在它的功率已经达到了150000~200000千瓦。在古比雪夫水电站上安装的每一台水轮机的功率是100000千瓦。

金属压力加工所采用的压力机（锻造、模锻、挤压等等）的最大压力不久前通常都不超过5000~10000吨，只有在个别情况下才制造和使用较大功率的压力机。在现代的压力机中，压力已经达到了50000~100000吨。这样的机器能够在一个或几个压力加工工序中获得个别大尺寸和形状复杂的机器零件，省略了很多切削加工工序。

15~20年前还完全没有制造汽轮机的工厂，更没有喷气发动机制造厂。现在所有的高速飞机和火箭技术就是应用这些机器为基础的，工作规范的高温就是这些机器工作时的最大特征。

与生产和平利用原子能装备密切有关的机器制造生产是属于更年轻的部门。

现代机器中，功率、速度、传递的压力和温度的大大提高，对材料，主要对制造这些机器用的金属材料的质量和性能提出了很多重要的和新的要求。为了满足这些要求，冶金学家和金属学家们正在研究很多在高温下具有高强度或很大化学稳定性的新合金——所谓耐热和热稳定性合金；这种优

良金屬例如鈦的生产获得了日益的发展，鈦的比重几乎比鋼輕一半且具有很高的强度；寻找強化金屬和合金的、并使其耐磨性、耐蝕性提高等等的新的有效方法。

但是，在制造机器时只应用高强度、高质量的金属还不能保障它們的高强度。直到现在还不断发生各种机器的损坏和重大破坏事故就証明了这一点。

研究这种损坏結果后指出，在绝大多数情况下，破坏的发生不是由于金属的质量不好，机器损坏和巨大破坏事故的主要原因与个别零件的设计不良、装配和安装得不好有关，以及亦是經常違反机器操作条件的結果。

看起来，飞机、大型汽輪发电机或水輪机在加工或装配时，在零件負荷最重的区域上所产生的微小刀痕、裂縫、凹陷或者磨伤可能是它們损坏的主要原因，几乎是不真实的。但实际上往往就是由于这些原因所致。

机器工作时，在表面损伤不大的地方可能开始发展疲劳过程，不可免地导致零件的损坏，在很多情况下由此而造成整个机器的破坏。因此，为了保证机器工作的耐久性和可靠性，仅仅提高金属的质量和强度是不够的，机器零件还必须小心地进行机械加工。

普通的机器制造者都应该懂得这方面的知識。对未来的鉗工、車工、磨工和銑工須給以这方面的教育。他們應該具有即使是最基本的測定金屬强度的現代方法的概念；尤其應該懂得不良的机械加工或者在装配过程中很不精細的对待已加工好的机器零件会产生怎样后果。可惜，現有的教科书中不仅对学生，而且对此类型劳动后备学校的教师和工长來說，这类問題的說明是很不够的。

本书的主要目的就是尽可能简单地说明现在用什么方法来测定金属的强度，怎样实际地利用金属强度试验的结果。

由于书的篇幅很小，本书中只研究现代机器制造中关于金属强度的某些基本知识。

总 論

20~30年前，制造机器所用的各种材料的强度是用試样进行简单的拉断試驗方法来测定的。根据某一材料在拉断前承受怎样大的載荷来判断此种材料的强度。拉伸时能承受大載荷的材料一般就认为强度較高，或者說，具有較高的抗断能力。

但是，关于材料强度的这种概念，只适合于进行普通抗断試驗时那种极简单的情况才是正确的，即拉断前載荷增加很慢，溫度正常（普通一般为室溫），采用所謂“光滑”試件等等。

在工作的机器中，材料是在更为复杂的情况下受到載荷的作用，載荷随時間而变化的特性首先就是属于这种情况。正在工作的机器中各种零件的材料受到大小和方向随時間多次变化的載荷，代替了普通抗断試驗时从零增加到最大值（此时試件拉断）的均增載荷（图1）。与此同时，

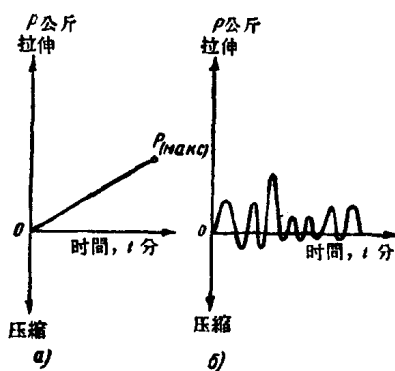


图1 載荷(P)随時間的变化:

a — 在一次載荷作用下(断裂試驗);

b — 在循环載荷下(許多正在工作的
机器零件)。

材料經常在高溫或低溫条件下以及在引起金屬腐蝕的各种气

体或液体介质中受载荷。然而，在受载情况下，机器零件和在试验时的试样的最大差别是与应力集中密切相关。现代的机器强度决定性地依赖于正确考虑和估计这种复杂现象。下面仅对其某些概念的实质给以说明和比较。

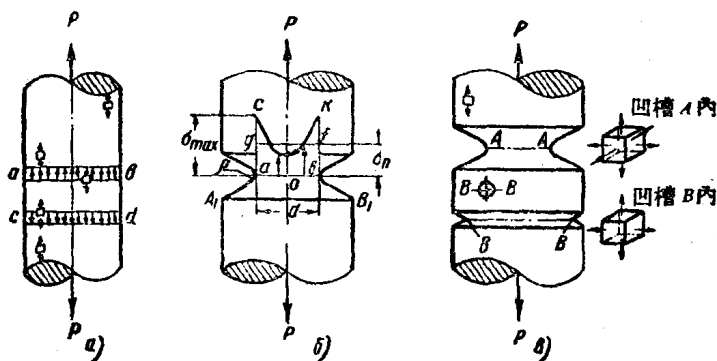


图2 不同形状试样的应力集中:

α —无应力集中; δ , β —在凹槽断面上有应力集中。

图2 α 表示无应力集中的受拉伸试样（或构件）的形状。在这种情况下，在试样的整个长度方向，它的形状保持不变。所以如果取任一断面，例如 ab 或 cd ，且以这些断面中的任何一个的面积除力 P ，则单位面积（1 厘米² 或 1 毫米²）所受的载荷（或者在强度理论中通常称它为 [应力]），在这样的断面的任一点上都是相等的。在这样的情况下应力的分布是均匀的。如果试样或机器构件某些部分的断面发生从大变小的过渡，例如从 A_1B_1 断面过渡到 ab 断面（图2 δ ），则在小断面处就发生应力集中。应力集中的最本质现象就是：

1. 应力集中处应力的均匀分布被破坏，而且经常在最小额度的外圈应力提高得更显著。对图2 δ 所示的环形车槽，

曲綫 $acekb$ 所圍的即为其断面上每一点应力的数值；最大应力 ac 或 bke 集中于沿半徑 oa 的車槽外圓上；最小应力 (oe) 在試样的中心。断面的平均应力 ag 或 bf 可能比最大应力 (ac) 小許多。在有应力集中的情况下，用比值 $K_t = \frac{ac}{ag} = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_n}$ 来量度应力的增加， K_t 称为应力集中系数。 K_t 之值主要决定于車槽的曲率（半徑 ρ ）和最小断面尺寸（直徑 d ）。

2. 在应力集中的情况下，材料經常受到二向或三向的拉伸或压縮載荷。但是在无应力集中时（图 2 a），試样上任何一点只受到单向拉伸或压縮。这种現象可用图 2 b 为例来说明。位于无应力集中的光滑試样（图 2 a）上某点附近的小立方体中，只沿上下面受到載荷或应力的作用，其余各面沒有受載。如果現在研究在小槽頂尖周圍或在孔边周圍（图 2 b）某点附近同样的小立方体，在这种情况下，材料則受到二向拉伸，而当車槽很深时受三向拉伸。

这些以环形車槽为例所研究的应力集中的最重要特征（应力很显著的局部提高，且分布不均匀以及材料二向、三向受載特性），对于很多机器构件来說是典型的。螺紋凹槽的底部，鍵槽的底部，孔邊緣，各种断面上（如 T 形、箱形等等）由橫壁向纵壁的过渡处，焊縫根部等等都发生应力集中。任何現代机器零件或建筑构件的形状，几乎不可能沒有应力集中部分。

因此，我們可以指出，在測定材料抗断强度时的載荷条件与正在工作中的机器的載荷条件之間的下述最重要差别：

- 1) 載荷的大小、方向随時間变化的各种特性（見图 1）；

- 2) 应力集中处应力的局部显著提高;
- 3) 应力状态(即二向性或三向性)性质的差别(图2);
- 4) 温度和周围介质可能的影响。

正如下面将要讲到的那样,上述这些差别对强度指标不可能没有影响。十分明显,在估计材料强度时,不仅必须知道在普通的最简单情况下的抗断能力,而且还必须知道较复杂情况下的抗断能力。

拉伸试验和估计抗断强度不能提供关于可能发生的强度显著变化的概念,以及其他重要情况下(有残余应力存在时)的概念。

在零件制造过程中,金属受到不同的加工形式,即:热处理,机械加工,有时还有化学加工。

经常由于某种加工结果在零件表面形成残余应力。这些应力可能会产生有利于强度增高的影响,例如,用冷作硬化方法加工表面时所产生的残余压缩应力。然而在很多情况下,由于热处理或机械加工的不正确而引起的残余应力,可能会大大地降低强度。

尤其是当残余应力作用于很薄的表面层时,几乎不可能用简单的拉断试验发现它对强度的影响。为此必须在交变载荷下进行其他形式的试验,这种交变载荷要能较精确地重复工作条件。

忽略或没有充分考虑工作条件对材料强度的影响,是很多机器巨大损坏或过早破坏的原因。一直到現在机器还发生这样的损坏和破坏。1954~1956年美国(喀郎姆比,雷塔斯来塔)所发生的大型汽轮发电机的损坏,1954年英国“[彗星]

号”飞机的毁坏等等就是这样的例子。

因此，很早以前就已经认识到必须用能较精确地重现机器工作条件的其他试验来补充普通的拉伸试验，以判断在其工作过程中所预期的强度变化。

由于这个缘故，在周期重复载荷下对金属进行强度试验（或称它为疲劳试验）的方法，在机器制造中得到了很大的推广。

最近几年来，也日益广泛地采用高温试验方法。估计金属脆性破坏倾向的试验方法也发展起来。脆性破坏是危险的，因为它是突然发生的，且以很大的速度进行。

下面将对采用现代机器制造中能够确定最重要强度指标的试验方法所估计的金属强度结果予以简短的说明。这里对进行这样试验的详细方法不作讨论，因为这些方法可从专门的手册中查得。本书主要讨论所得结果的本质和所采用的每一方法的特点。

拉伸时金属的强度和性能

试样的拉伸试验是估计材料强度和塑性的最普遍最简单的方法。在拉伸过程中，随着载荷的增加，其增加特性就被记录下来；而且记录下每一载荷值的试样形状——长度（伸长）或直径（断面收缩）的变化（称为变形）。

拉伸试验在用机械或液压加载的特殊机器上进行。图3表示液压加载试验机设备的示意图。欲试验的试样1固定在机器的夹头2和11上。为了试验不同长度的试件，二个夹头间的距离是可以改变的。用蜗轮9、10和手柄8可使下夹头

向上和向下移动。上夹头固定在横梁3上，而横梁3又可向上和向下移动。固定支架7上固定有汽缸4，汽缸内放有活塞5。活动横梁3通过球形支承6与活塞5的上端相连。当汽缸下部压入油时（用专门的泵，图上没有表示出来），活塞5、横梁3和固定于其上的夹头2就向上移动，而拉伸试样。

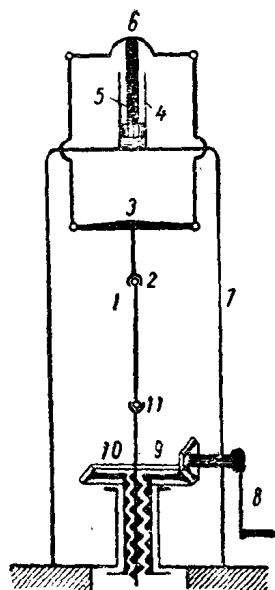


图3 拉伸试验机简图。

拉伸试验的进行方法如下：用上面所说设备把夹头2和11装置在与被试验试样长度相应的位置上，然后在其上固定试样，此后就开动泵使油压入汽缸4中而开始加载。

活塞下的压力随着泵的工作而逐渐增高。此压力通过球形支承6传递到试样1上，产生拉伸应力。在试样断裂瞬时，横梁3发生瞬时的向上移动。由于汽缸底部和活塞下表面间体积的增加，活塞下的压力也瞬时地下降。

拉伸试验机上装置有专门的设备，以记录传递到试样上的载荷，同时以所谓拉伸曲线形式记录载荷与试样长度的同时变化。图4示此种设备简图。

此设备中，汽缸2用专门的管子与工作汽缸4（见图3）的下部相连，使二汽缸中的压力在任何载荷瞬时都相等。当汽缸2中油压增高时，其中的活塞向下运动；活塞下端与杠杆1相连，杠杆1又与摆11相连，在摆的端部放有荷重12。

摆是这样固定在支承10上的,即当活塞向下移动时,它就能自由地从原来位置偏轉某一角度。端部带有荷重的摆的重量与汽缸2中的油压相平衡。知道汽缸4(见图3)和汽缸2活塞面积、摆端荷重的重量和摆的长度后,就可很容易地计算出与摆的某一偏轉角相对应的作用于被試驗試样上力的大小。根据这样計算出来的結果,把安装在机器上的載荷盘7作出刻度。与齿条8啮合的齿輪与指針相連,指針指示載荷。当摆旋轉到某一角度时,杆9推动齿条,指針就在刻度盘上指出与摆某一轉角相对应的載荷,即与机器工作汽缸中一定油压相对应的載荷。

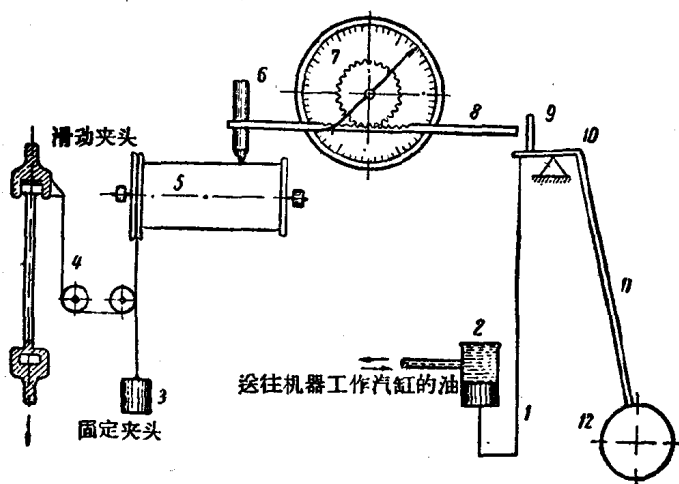


图4 拉伸試驗时記錄力与变形的装置。

試样长度和載荷变化以下面方法同时記錄(以所謂拉伸曲綫形式): 卷有紙条且將紙固定的滾筒5可自由地繞軸迴轉, 滾筒左面固定有滑輪, 綫4經過此滑輪; 它的一端用重物3拉緊, 另一端固定在机器的上夾头上。

夹头任意向上移动就引起滚筒绕自己轴线相应的旋转，铅笔6就沿滚筒圆周方向在纸上画出曲线。铅笔固定在齿条8上，而齿条8能在水平方向移动，此移动数值与试样上完全确定的载荷值精确地相对应（关于这个问题与上面已说过的一样）。

这样，铅笔沿滚筒轴线的移动与载荷的变化相对应；滚筒绕自身轴线的旋转与试样长度变化相对应。在拉伸试验时，滚筒的旋转与齿条沿滚动轴线的移动是同时发生。因此，在纸上就以拉伸曲线的形式（图5）同时记录了试样长度和载荷的变化。

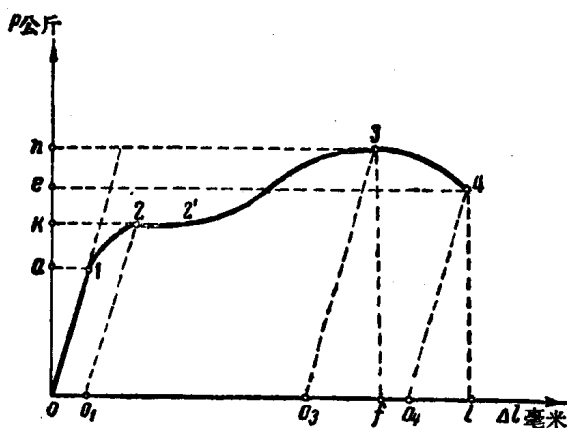


图5 拉伸试验时载荷 (P) 与伸长 (Δl) 的变化(拉伸曲线)。

图4所示设备只能记录试样变形(伸长)足够大的情况。如果必须在很小变形的情况下估计材料的强度，则使用称为应变仪的特殊仪器。

用上述设备(见图4)所得到的拉伸曲线可以提供关于整个长度方向上试样形状变化(伸长)的总概念。试样个别