

第 20 篇 金属材料强度

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会



机械工业出版社

T11-62
3
3-20

机械工程手册

第20篇 金属材料强度

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册

编辑委员会



机械工业出版社



A 670474

本篇主要介绍机械工程中常用金属材料的失效抗力规律、机械性能指标及其物理意义、适用条件及其与内外因素的关系以及提高材料失效抗力的措施,并相应地提供了部分金属材料的机械性能数据。

机 械 工 程 手 册

第20篇 金属材料强度

(试 用 本)

一机部上海材料研究所、西安交通大学 主编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ · 印张 $6^{1/2}$ · 字数 176 千字

1979年10月北京第一版·1979年10月北京第一次印刷

印数 00,001—60,000 · 定价 0.52 元

*

统一书号: 15033 · 4515

编辑说明

(一) 我国自建国以来, 机械工业在毛主席的革命路线指引下, 贯彻“独立自主、自力更生”和“洋为中用”的方针, 取得了巨大的成就。为了总结广大群众在生产和科学研究方面的经验, 同时采用国外先进技术, 加强机械工业科学技术的基础建设, 适应实现“四个现代化”的需要, 我们组织编写了《机械工程手册》和《电机工程手册》。

(二) 这两部手册主要供广大机电工人、工程技术人员和干部在设计、制造和技术革新中查阅使用, 也可供教学及其他有关人员参考。

(三) 这两部手册是综合性技术工具书, 着重介绍各专业的理论基础, 常用计算公式, 数据、资料, 关键问题以及发展趋向。在编写中, 力求做到立足全局, 勾划概貌, 反映共性, 突出重点。在内容和表达方式上, 力求做到深入浅出, 简明扼要, 直观易懂, 归类便查。读者在综合研究和处理技术问题时, 《手册》可起备查、提示和启发的作用。它与各类专业技术手册相辅相成, 构成一套比较完整的技术工具书。《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品六个部分, 共七十九篇; 《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化七个部分, 共五十篇。

(四) 参加这两部手册编写工作的, 有全国许多地区和部门的工厂、科研单位、大专院校等五百多个单位、两千多人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员, 更为广泛。许多地区

IV

的科技交流部门，为审定稿件做了大量的工作。各篇在编写、协调、审查、定稿各个环节中，广泛征求意见，发挥了广大群众的智慧和力量。

(五) 为了使手册早日与读者见面，广泛征求意见，先分篇出版试用本。由于我们缺乏编辑出版综合性技术工具书的经验，试用本在内容和形式方面，一定会存在不少遗漏、缺点和错误。我们热忱希望读者在试用中进一步审查、验证，提出批评和建议，以便今后出版合订本时加以修订。

(六) 本篇是《机械工程手册》第20篇，由一机部上海材料研究所、西安交通大学主编，参加编写的有上海交通大学、西南交通大学、三机部六二一所、一机部洛阳轴承研究所、上海锅炉厂、一机部机械研究院机电研究所等单位。许多有关单位对编审工作给予大力支持和帮助，在此一并致谢。

机械工程手册 编辑委员会编辑组
电机工程手册

常用符号

- A ——截面积 mm^2 或 cm^2 , 冲击能量 $\text{kgf}\cdot\text{m}$ 或 $\text{kgf}\cdot\text{cm}$
 A_K ——冲击值 $\text{kgf}\cdot\text{m}$
 a ——裂纹长度或半长度 mm
 a_K ——冲击韧性 $\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
 da/dN ——疲劳裂纹扩展速率 毫米/次
 da/dt ——应力腐蚀裂纹亚临界扩展速率 mm/s
 E ——弹性模量 kgf/mm^2
 $FATT$ ——断口形貌转变温度 $^{\circ}\text{C}$
 FTE ——弹性断裂转变温度 $^{\circ}\text{C}$
 FTP ——塑性断裂转变温度 $^{\circ}\text{C}$
 G ——切变模量 kgf/mm^2
 G_I ——I型加载下的裂纹扩展力, 又称应变能释放率 kgf/mm 或 $\text{kgf}\cdot\text{mm}/\text{mm}^2$
 G_{Ic} ——I型加载下的临界裂纹扩展力, 又称材料的断裂韧性 kgf/mm 或 $\text{kgf}\cdot\text{mm}/\text{mm}^2$
 J ——J积分, 裂纹尖端的能量线积分 kgf/mm
 J_I ——I型加载下的J积分 kgf/mm
 J_{Ic} ——I型加载下的临界J积分, 又称材料在弹塑性下的断裂韧性 kgf/mm
 K ——裂纹尖端的应力强度因子 $\text{kgf}/\text{mm}^{3/2}$
 K_I, K_{II}, K_{III} ——裂纹在I型(拉伸)、II型(面内剪切)和III型(面外剪切)下的应力强度因子 $\text{kgf}/\text{mm}^{3/2}$
 K_{Ic} ——I型加载下的临界应力强度因子, 又称材料平面应变下的断裂韧性 $\text{kgf}/\text{mm}^{3/2}$
 $\left(\frac{K_{Ic}}{\sigma_s}\right)^2$ 或 $\left(\frac{K_{Ic}}{\sigma_{0.2}}\right)^2$ ——材料的尺寸因子 mm
 K_{Isc} ——应力腐蚀界限应力强度因子 $\text{kgf}/\text{mm}^{3/2}$
 $\dot{K}$ 或 $\frac{dK}{dt}$ ——应力强度因子变化速率 $\text{kgf}/\text{mm}^{3/2}\cdot\text{s}$
 NDT ——无塑性转变温度 $^{\circ}\text{C}$
 N ——交变应力循环周次 次
 N_f ——疲劳断裂周次 次
 P ——载荷 kgf
 q ——材料的缺口敏感系数
 r ——在交变应力中, 最小应力与最大应力之比, 简称应力比或应力循环系数
 S ——真实应力 kgf/mm^2
 S_b ——真拉伸强度极限 kgf/mm^2
 S_n ——正断抗力 kgf/mm^2
 S_K ——实际断裂强度 kgf/mm^2
 T ——绝对温度 $^{\circ}\text{K}$
 T_m ——以绝对温度表示的熔点 $^{\circ}\text{K}$
 t ——温度 $^{\circ}\text{C}$
 t_s ——剪切屈服极限 kgf/mm^2
 t_b ——剪切强度极限 kgf/mm^2
 $Y(a/W)$ ——试样和裂纹的几何形状因子
 α ——理论应力集中系数
 β_σ ——高温缺口敏感系数(在相同应力 σ 下)
 β_τ ——高温缺口敏感系数(在相同时间 τ 下)
 δ ——静拉伸时的延伸率 %
 $\frac{d\delta}{dt}$ ——应变速率 $\%/s$
 ε ——真实延伸率 %
 $\varepsilon_e, \Delta\varepsilon_e, \frac{\Delta\varepsilon_e}{2}$ ——弹性应变, 弹性应变幅度, 弹性应变振幅 %
 $\varepsilon_p, \Delta\varepsilon_p, \frac{\Delta\varepsilon_p}{2}$ ——塑性应变, 塑性应变幅度, 塑性应变振幅 %
 $\Delta\varepsilon_T, \frac{\Delta\varepsilon_T}{2}$ ——总应变幅度, 总应变振幅 %
 μ ——泊松比
 σ_a ——交变应力幅度 kgf/mm^2
 σ_b ——强度极限 kgf/mm^2
 σ_c ——临界应力 kgf/mm^2
 σ_e ——弹性极限 kgf/mm^2
 σ_m ——平均应力 kgf/mm^2
 σ_p ——比例极限 kgf/mm^2
 σ_r ——残余应力或应力比为 r 时的疲劳极限 kgf/mm^2
 $\sigma_s(\sigma_{0.2})$ ——屈服极限(残余应变为0.2%时的应力) kgf/mm^2
 σ_{-1} ——对称循环的疲劳极限 kgf/mm^2
 σ_{-1n} ——缺口对称循环的疲劳极限 kgf/mm^2
 $\sigma_{\delta/\tau}$ 或 $\sigma_{\psi_H/\tau}$ ——蠕变极限 kgf/mm^2
 σ_r ——持久强度 kgf/mm^2
 ψ ——断面收缩率 %
 ψ_s ——真实断面收缩率 %

目 录

编辑说明 常用符号

第1章 概 述

- 1 材料强度在机械设计、制造中的作用20-1
- 2 材料强度与机械零件强度的关系20-2
- 3 对于常见材料强度指标的认识20-2

第2章 静 强 度

- 1 材料的静强度指标及其影响因素20-3
 - 1.1 金属材料在静载荷作用下的三个基本阶段20-3
 - 1.2 静拉伸试验的主要指标及影响因素20-3
 - 1.3 材料的真实应力应变曲线20-7
 - 1.4 金属的高温短时拉伸性能20-8
- 2 静载荷下材料的缺口敏感度20-8
 - 2.1 静载缺口敏感度的定义20-8
 - 2.2 缺口处应力分布的特点20-8
 - 2.3 缺口拉伸试验20-9
 - 2.4 缺口偏斜拉伸试验20-9
- 3 静载荷下的尺寸效应20-9
 - 3.1 尺寸效应的含义20-9
 - 3.2 静载下尺寸效应的表现20-9
 - 3.3 尺寸效应的解释20-10

第3章 断 裂 韧 性

- 1 平面应变断裂韧性 K_{Ic} 及其影响因素20-11
 - 1.1 基本概念20-11
 - 1.2 冶金因素对断裂韧性的影响20-12
 - 1.3 热处理制度对断裂韧性的影响20-13
 - 1.4 使用和试验条件对断裂韧性的影响20-15

- 1.5 断裂韧性与材料基本机械性能指标的关系20-17

- 2 腐蚀介质作用下的断裂韧性指标20-18
 - 2.1 基本概念20-18
 - 2.2 应力腐蚀界限强度因子 K_{Isc} 20-18
 - 2.3 应力腐蚀裂纹亚临界扩展速率 da/dt 20-19
 - 2.4 影响因素20-20
 - 2.5 材料的 K_{Isc} 和 K_{Ic} 与 σ_s 的关系20-21
- 3 大范围屈服下材料的断裂韧性20-21
 - 3.1 裂纹尖端张开位移的临界值 δ_e 20-21
 - 3.2 J 积分的临界值 J_{Ic} 20-22
- 4 断裂韧性的应用20-24
 - 4.1 为选材、制定热处理和其他加工工艺提供依据20-24
 - 4.2 提高安全设计的可靠性20-24
 - 4.3 为评价产品质量, 制订判废标准提供依据20-24

第4章 冲 击 抗 力

- 1 材料的冲击韧性20-25
 - 1.1 摆锤冲击弯曲试验20-25
 - 1.2 系列冲击试验及冷脆转变温度20-26
 - 1.3 影响冲击韧性和冷脆转变温度的因素20-27
 - 1.4 冲击试验的作用20-30
- 2 材料的多次冲击抗力20-31
 - 2.1 多次冲击的基本概念20-31
 - 2.2 多次冲击抗力的规律20-31
 - 2.3 影响多次冲击抗力的因素20-33
 - 2.4 多次冲击抗力规律的应用20-35

第5章 疲 劳 强 度

- 1 疲劳 (高周疲劳)20-36
 - 1.1 疲劳破坏的特征20-36
 - 1.2 疲劳抗力指标20-37

20-VI 目 录

1.3	疲劳裂纹的萌生和扩展	20-38
1.4	影响材料疲劳强度的因素	20-42
1.5	提高材料与机件疲劳强度的途径	20-46
1.6	疲劳数据的处理	20-49
2	低周疲劳与热疲劳	20-51
2.1	低周疲劳	20-51
2.2	热疲劳	20-53
2.3	影响低周疲劳和热疲劳的主要因素	20-54
3	腐蚀疲劳	20-56
3.1	腐蚀疲劳破坏及机理	20-56
3.2	影响腐蚀疲劳的主要因素	20-56
3.3	提高腐蚀疲劳强度的措施	20-57
4	接触疲劳	20-59
4.1	接触疲劳的类型和特征	20-59
4.2	接触疲劳的试验方法及数据处理	20-61
4.3	影响接触疲劳强度的因素	20-63
第6章 高温强度		
1	蠕变的基本概念	20-68
1.1	蠕变现象	20-68
1.2	蠕变的实验规律	20-69
1.3	蠕变变形机制	20-69
2	蠕变极限与持久强度极限	20-70
2.1	蠕变极限与持久强度极限的意义	20-70
2.2	持久塑性	20-70
2.3	蠕变强度与持久强度在设计中的应用	20-70
3	蠕变与持久强度的数据处理方法	20-71
3.1	等温线外推法	20-71
3.2	时间温度参数法	20-71
3.3	最少约束法	20-72
3.4	应用外推方法中的一些问题及偏差	20-72
4	影响蠕变和持久强度的主要因素	20-72
4.1	工艺因素的影响	20-72
4.2	试验因素的影响	20-73
5	材料的持久缺口敏感性	20-74
5.1	持久缺口敏感性的评定方法	20-74

5.2	影响持久缺口敏感性的因素	20-74
6	应力松弛	20-75
6.1	应力松弛实例	20-75
6.2	应力松弛曲线	20-75
6.3	应力松弛试验方法	20-76
7	高温疲劳	20-77
7.1	高温疲劳曲线	20-77
7.2	高温疲劳测试技术	20-77
7.3	影响高温疲劳强度的主要因素	20-77

第7章 低温脆性

1	低温脆性破坏的基本概念	20-80
1.1	低温脆性破坏的现象和特征	20-80
1.2	断裂机理	20-80
2	材料韧性的测定方法和抗断设计	20-81
2.1	夏氏冲击试验和相应的抗断设计	20-81
2.2	落锤试验和相应的抗断设计	20-81
2.3	宽板试验和相应的抗断设计	20-82
3	防止低温脆性破坏的措施	20-84
3.1	设计方面	20-84
3.2	选材方面	20-84
3.3	制造方面	20-85
3.4	其他方面	20-85

第8章 残余应力

1	残余应力对性能的影响	20-85
1.1	对疲劳强度的影响	20-85
1.2	对静强度的影响	20-87
1.3	对抗应力腐蚀性能的影响	20-87
1.4	对尺寸稳定性的影响	20-88
2	各种工艺过程产生的残余应力	20-88
2.1	焊接残余应力	20-88
2.2	热处理残余应力	20-88
2.3	切削加工残余应力	20-91
2.4	表面强化工艺的残余应力	20-91
2.5	其它工艺产生的残余应力	20-92
3	残余应力的消除和调整	20-92
3.1	用加热方法消除和调整	20-92
3.2	用机械方法消除残余应力	20-94
3.3	其它消除残余应力的方法	20-94
4	残余应力测定方法	20-95
参考文献		20-95

第1章 概 述

1 材料强度在机械设计、制造中的作用

所有机械零件（以下简称机件）在运转过程中，都在某种程度上承受着力或能量，以及温度、接触介质等的作用，使机件材料发生过量的变形、断裂、表面麻点剥落等现象，从而导致机件失效。材料强度就是机件材料抵抗外加载荷而不致失效的能力（以下简称失效抗力）。

一般讲来，材料强度仅指材料在达到允许的变形程度或断裂前所能承受的最大应力，像弹性极限、屈服极限、强度极限、疲劳极限、蠕变极限等等。实际上，材料强度一词作为失效抗力的综合表征，与所有力学性能，包括弹性、塑性、硬度、韧性等以及在静、动载荷下材料对应力集中、尺寸大小、表面状态、温度、接触介质的敏感性等等有关。

材料强度指标，是机械设计计算和选择、评定材料的重要依据之一，也是指导新材料的研制、材料代用和制订热冷加工强化工艺的重要依据之一。

无论设计新产品还是改进老产品，都有选用材料和计算截面尺寸的问题。选用材料的主要依据是它的使用性能、工艺性能和经济性，其中使用性能是需要首先满足的。对一般机件来说，使用性能中主要要求是材料的强度，因为只有在满足特定的材料强度要求下才有可能保证零件运转正常，经久耐用，不致早期失效。设计计算零件的危险截面尺寸或校核安全裕度以及安全寿命设计时所用的许用应力，也要由正确的材料强度数据推出。同样，在评定机件用材时，强度显然也是主要项目之一，特别是由实物关键部位取出的尽可能大的试样所做的强度试验结果，是仅次于对整个零件进行模拟试验以评定材料使用性能的最有价值的依据。

各种热冷加工工艺不应仅仅看作是成形工艺，有些也可以看作是强化工艺，因为它们在改变材料形状的同时也在不同程度上改变它的性能，其中只有热处理是不改变形状只改变性能的主要强化工

艺。对于有一定强度要求的零件，在制定加工工艺方案时，就要根据这些工艺对所用材料强度的影响规律来考虑，当然，热处理和冷变形强化工艺的制订，更是以最终获得或要求的零件强度为依据。

此外，不论研制新材料还是寻找代用材料，都要求达到特定的使用性能和工艺性能，其中有针对性的材料强度往往是追求的主要目标。因而材料强度也成为改变材料成分和组织时需要考虑的重要因素。

可以认为，材料强度是研究材料抵抗机件失效的科学。从零件的具体工作条件出发，通过典型失效的分析，可以找出造成材料失效的主导因素，并确定衡量此种失效抗力的正确判据（强度指标）。针对这种对强度的特定要求选择最合适的材料成分及其组织状态，制定相应的工艺措施，并为设计提供正确的许用应力，以期求得最经济合理的设计，生产出质量高、重量轻、寿命长的产品，这就是材料强度工作服务于机械制造的主要内容。

材料的失效分析是解决机件失效问题的先导。对于新设计的重要部件，有时需要对试样进行人为的超载破坏试验以获得失效分析资料，只有把失效原因和全过程弄清楚，才能揭露其中存在的材料强度问题并寻求克服失效的途径。

为了克服材料失效，必须掌握材料失效的客观规律。这就是：不同材料在各种外加载荷和环境下发生的变形、断裂、表面麻点剥落等现象及其发展过程，以及随外在的工作条件和材料内在因素而变异的规律。工作条件包括：承受载荷的性质（静载荷、冲击载荷、变载荷），加载次序（载荷谱），应力状态（拉、压、弯、扭、剪、接触及各种复合应力），温度、环境介质（空气中水分、化学腐蚀、冲刷、磨损、微动腐蚀）等。材料内在因素包括：化学成分、冶金质量、组织状态、精细结构、残余应力以及表面或内部缺陷等。由于这些内外因素的不同组合而造成材料失效。本篇将论述这些失效的规律性，以便运用这些规律指导生产实践。

2 材料强度与机械零件强度的关系

机械零件的强度,一般表现为它的短时承载能力以及长期使用寿命,它是由许多因素决定的,其中结构因素,材料因素,加工工艺因素三方面起主要作用,使用因素对寿命也起很大作用。结构因素是指根据零件在整机中的作用与效能和结构强度所决定的形状、尺寸、以及与其它相连接零件的配合关系等。材料因素是指制造零件所用材料的成分、组织、性能以及制成零件各部位的强度。工艺因素是指全部加工工艺过程对零件各部位强度所产生的影响。这三种因素有各自独立的作用,又相互影响,在解决零件强度有关问题时必须综合考虑上述三方面的因素。

材料强度工作通过为设计及校核提供有针对性的材料强度指标,获得确切的许用应力及材料对应力集中、尺寸大小、表面状态、温度、介质、加载速度等的敏感性数据而与结构设计联系起来;通过各种热冷加工工艺及强化措施所产生的组织状态和残余应力等对材料强度的影响而与加工工艺联系起来,从而成为设计、材料、工艺三者之间联系的纽带。

在结构因素和工艺因素基本恒定时,为了保证足够的零件强度,其最薄弱环节(即危险截面的尺寸大小)主要取决于该部位的材料强度;在零件的最薄弱环节的形状、尺寸一定时,其短时承载能力和使用寿命,主要取决于该部位的材料强度。因此,在结构设计和加工工艺正确合理的条件下,主要是材料强度决定着大多数零件的体积、重量和寿命。

当遇到零件短时承载能力不足或使用寿命较短、早期失效的情况时,单纯地加大零件尺寸不但多消耗材料,增加产品重量和动力消耗,而且往往不能有效地提高零件的强度和使用寿命。特别是在零件表面应力较高,有局部应力集中,存在难以避免的缺陷,有介质腐蚀或机械微动腐蚀时,更是如此。此外,加大一个零件的尺寸会影响其它零件,并带来工艺装备、材料淬透性不足等问题。在这种情况下,所使用的材料的强度就成为矛盾的主要方面。

当原用材料确实无法达到新的强度要求时,要考虑更换材料。但为做到材尽其用,也可以在不改变材料的情况下采取强化工艺,以获得新的力学性能组合和残余应力状态,提高相应的失效抗力,或者仅仅采用局部强化或保护措施,克服薄弱环节,

即可有效地解决零件强度不足的问题。

常用材料强度数据,一般是用形状比较简单,尺寸较小的标准试样以较简单的加载方式取得的,在运用这类数据于实际零件的设计或校核时,需要考虑零件在工作中所承受的实际应力、应变幅度和规定的有效寿命、安全裕度、尺寸、形状、表面等因素的影响,特别是设计在动载荷下运转的零件尤须注意。

为了解决特定的材料强度问题或探索某些因素影响的规律性,并不限于使用标准试样,可以根据需要设计有针对性的试样作试验,例如由零件实物取样的试验、模拟工作条件的零件台架试验、缩尺模型试验以及装机运转考验等,这些试验的有机结合,在失效部位和失效形式一致的前提下把他们统一起来,找到其间的定性、定量关系,以指导材料和强化工艺的变革,是从材料强度的角度解决重要零件强度问题的有效途径。当然,装机运转考验,是对零件强度也是对材料强度的最终决定性考验,但是除试样试验外所有其他几种试验结果,都是结构设计、材料和工艺选用甚至包括使用因素的综合表现。这些试验由于费用大,周期长,不能在设计前到手,只能必要时少量进行;为了探索材料强度规律性的大量试验,仍需在严格控制条件下用试样进行。

3 对于常见材料强度指标的认识

人类经过长期的生产斗争和科学实验,已经建立并积累了许多反映各种失效抗力的材料强度指标;随着生产和科学技术的发展,还在不断地建立新的强度指标和相应的测试方法,这些强度指标各有其物理意义和技术意义;正确地认识和理解它们,才能辩证地运用它们的不同组合去解决具体的材料强度问题。这些指标中有的能比较直观地看出其使用意义,并可以用于定量的设计计算,像屈服极限(σ_s),疲劳极限(σ_{-1})、蠕变极限($\sigma'_{0.2}$)、断裂韧性(K_{Ic})等。对这些指标也要认清它们获得的条件和应用范围,如 $\sigma_{0.2}$ 是用均匀截面光滑试样单向拉伸试验得到的条件屈服强度,如果试样材料虽同而外形不同(如螺栓),则其拉伸曲线和求得的 $\sigma_{0.2}$ 就会相差很多;如果设计允许的极限塑性变形小于0.2%,如只允许0.05%,则需要用 $\sigma_{0.05}$,该值往往低于 $\sigma_{0.2}$ 很多。 σ_{-1} 通常是用光

滑试样旋转弯曲试验获得的疲劳极限,如果要设计的零件是受反复弯曲的平板,则同一材料进行对称循环平面弯曲试验时其 σ_{-1} 也会不同。 K_{Ic} 是保证平面应变状态的实验断裂韧性值,就不适用于平面应力状态问题。裂纹扩展速率 $\frac{da}{dN}$ 是材料对亚临界裂纹扩展的抗力指标,对于不可避免存在宏观缺陷的零件,为安全设计的重要依据,对于承受高周次疲劳经过机加工的中小零件,则发生裂纹的孕育期 N 。不可忽视。

另外,一些性能指标不能应用于设计计算,只能间接地估计它们对零件强度的作用,如延伸率 δ 、断面收缩率 ψ 和冲击韧性 α_K 等。传统的看法认为这些指标是保证安全的性能指标,但对具体工

作条件下的具体零件来说,应当要求多大的 δ 、 ψ 、 α_K 值才能保证安全?除对塑性疲劳有些经验公式外,至今还没有一个较普遍适用的估计方法。对于一般承受高周次疲劳或小能量多次冲击的零件,过去凭经验对这些指标提出的要求值常偏于保守,这往往要用牺牲强度去换取,事实上限制了材料强度的充分发挥,其后果不但使产品粗大笨重、浪费材料而且也不一定能保证安全与使用寿命;反之,对于承受大应变低周疲劳或不可避免存在宏观缺陷的大型铸、锻、焊件,则不能单纯追求高强度。关于不同工作条件下的零件所要求材料的强度与韧性、塑性的合理配合,是有待深入研究的材料强度课题,在本篇第4章中有初步论述。

第2章 静 强 度

1 材料的静强度指标及其影响因素

1.1 金属材料在静载荷作用下的三个基本阶段

尽管机械零部件的几何形状和受力形式(拉、压、剪、弯和扭等)千差万别,它们的载荷-变形曲线也各不相同,但他们在载荷逐渐增加的过程中;金属材料一般地都要经历弹性变形、塑性变形和断裂三个阶段。

a. 弹性变形 金属材料弹性变形的外观特征是,当受载时即产生变形,外载卸除后变形即自行消失。从内部结构来看,弹性变形乃是在外力作用下原子间距发生可逆变化的结果。

b. 塑性变形 金属材料在载荷除去后留下来的一部分不可恢复的变形称为塑性变形(又称为残余变形)。它和弹性变形的区别是:在弹性变形过程中,应力是应变的单值函数,而在塑性变形过程中则应力不再是应变的单值函数。

金属材料的塑性变形是由于晶体内部的滑移、孪生(双晶)和晶体转动所造成的。鉴于实际金属材料是由无数个同一相或不同相的晶粒所组成的多晶体,各晶粒的取向不同且存在着晶界的约束,因此,塑性变形就具有一系列的特点:起始塑性变形的非同时性(由于晶粒取向不同而造成滑移的起始

不一致);塑变的不均匀性(有些地方塑变量大,有些地方塑变量小);塑变的时间性(塑变的大小不仅与外加应力有关,而且与加载历程和时间有关);以及塑变过程伴随着材料机械性能和其他物理化学性能的改变,其中最重要的是形变强化。

c. 断裂 当外力增大到超过材料的相应抗力时(如外加应力超过材料的真实强度极限,或应变超过材料的真实断裂应变时),就会发生材料从有限几何表面开始的分离—断裂。关于断裂的分类及机制详见本手册第十七篇。

1.2 静拉伸试验的主要指标及影响因素

常温下,光滑试样的轴向拉伸强度指标和塑变指标具有重要的工程实用意义。如屈服强度 $\sigma_{0.2}$,抗拉强度 σ_b 是静载强度设计的主要依据;延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 是选材时的重要依据。

下面介绍的是在常温轴向静拉伸试验条件下所确定的金属机械性能。载荷所产生的变形速度 $\frac{d\delta}{dt}$ 在 $10^{-4} \sim 10^{-2}/s$ 范围内,这时金属的机械性能实际上是稳定的。

1.2.1 弹性变形阶段的抗力指标

a. 弹性模量 材料的弹性模量有拉压弹性模量(常简称弹性模量) E ,剪切弹性模量(常简称切变模量) G 和泊松比 μ 。对于多晶体材料而

言, 独立的弹性模量只有两个, 这是因为 E 、 G 和 μ 有下列关系:

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (20 \cdot 2-1)$$

在弹性变形阶段内, 应力和应变均存在一个比例阶段, 即 $\sigma = E\varepsilon$ 和 $\tau = G\gamma$ 。由此可知, E 和 G 的物理意义是, 材料产生单位应变 ($\varepsilon = 1$ 或 $\gamma = 1$) 时所需的应力大小, 其量纲为 kgf/mm^2 。由于 $\Delta l = \frac{Pl}{EA}$ 和 $\Delta \varphi = \frac{Ml}{GJ}$, 当试样几何条件和载荷一定时, 试样的弹性变形 (Δl 和 $\Delta \varphi$) 就取决于 E 和 G , 因此, 弹性模量是反映材料刚性大小的力学性能。金属弹性模量与组成金属的原子结构、晶体点阵类型和点阵常数有着密切的关系。即 $E = \frac{k}{r^m}$, 其中 r 是原子间距, k 和 m 为反映金属本性的常数。表 20·2-1 是若干纯金属的弹性模量。实际金属的弹性模量请参阅第 17 篇的附录。

温度能改变晶体的点阵常数, 即温度升高, r 增大, E 就减小。例如铁每升高 100°C , E 下降约 3~4%; 钢从 25°C 加热到 450°C 时, E 下降 20%。在 $-50 \sim +50^\circ\text{C}$ 的范围内, 对机械制造中常用的金属材料而言, E 变化极小, 可忽略不计。对于精密仪表用材料, 可选一些弹性模量不随温度而改变的恒弹性合金。

除温度外, 其他如加载速度、合金化手段、热处理方式、冷加工等对普通机械制造中常用金属材料的弹性模量的影响都很小。

b. 比例极限和弹性极限 比例极限 σ_p 是保

证金属弹性变形按线性变化的最大抗力指标。弹性极限 σ_e 是金属最大弹性变形 (不产生塑性变形) 的抗力指标。由于实际金属多晶体的特点, 要检测出偏离直线 (从而定出 σ_p) 和偏离弹性 (从而定出 σ_e) 的点是比较困难的。因此, 测试中都是采用规定一定量的塑性变形的办法, 这样, 它们都成了对微量塑变的抗力指标。所不同的是塑变量规定的大小不同而已。测试方法详见第 17 篇。

1·2·2 塑性变形阶段的抗力指标

a. 屈服极限 屈服极限 σ_s (对于屈服极限不明显的材料, 规定产生 0.2% 塑性变形时的应力值 $\sigma_{0.2}$ 为屈服极限) 标志着金属对起始塑性变形的抗力。由于多晶体起始塑性变形的非同时性, 所以 σ_s (和 $\sigma_{0.2}$) 也是金属对微量塑变的抗力。

影响屈服极限的内在因素是:

(1) 金属元素本性和晶体点阵类型的影响 这是决定屈服极限大小的最主要的因素。材料不同, 它的临界切变抗力 t_s 不同, 因而屈服极限也就不同。见表 20·2-2。其中 t_b 为切断抗力。

(2) 相成分的影响 当纯金属内溶有异类元素的原子时, 会提高 t_s , 从而提高了 σ_s 。所以铁素体晶粒的 σ_s 比纯铁晶粒的高; 合金铁素体晶粒的 σ_s 比一般铁素体晶粒高。

(3) 晶粒大小的影响 金属基体相的晶粒越细, 不规则结构的晶界越多, 各晶粒滑移的阻力就越大, 从而金属的屈服极限也就越高。因此, 可以通过热处理细化晶粒来提高 σ_s 。

表20·2-1 若干纯金属的弹性模量

晶体点阵	金 属	$E \text{ kg·f/mm}^2$				$G \text{ kg·f/mm}^2$			
		单 晶 (实验)		多 晶		单 晶 (实验)		多 晶	
		最 大	最 小	计 算	实 验	最 大	最 小	计 算	实 验
面心立方	Al	7700	6400	7170	7200	2500	2100	2660	2700
	Cu	19400	6800	11950	12100	7700	3100	5280	4400
	Ag	11700	4400	7500	8000	4430	1970	2640	2700
	Au	11400	4200	7750	8100	4100	1800	2650	2800
体心立方	Fe	29000	13500	20700	21400	11800	6100	7720	8400
	W	40000	40000	—	—	15500	15500	—	—
六方晶格	Mg	5140	4370	4510	4500	1810	1710	1770	1800
	Zn	12600	3650	10040	10000	4970	2730	2620	3700
	Cd	8300	2880	6110	5100	2510	1840	2130	2200

表20-2-2 一些金属单晶体和多晶体的性能

金 属		Cu	Al	Ag	Ni	Fe	Mg	Zn
单 晶 体	t_s , kgf/mm ²	0.1	0.3	0.06	0.58	3.8	0.083	0.094
	σ_s , kgf/mm ²	0.22	0.67	0.13	1.3	8.4	—	—
	t_b , kgf/mm ²	6.8	4.4	3.9	7.0	—	2.1	1.4
多 晶 体	σ_s , kgf/mm ²	6~8	2.5~3.5	4~5	11~18	10~14	1~2	4
	σ_b , kgf/mm ²	21~24	7~11	13~15	40~53	18~25	10~13	2~7
	δ %	38~50	30~45	50	35~45	40~50	5~7	18~35

(4) 第二相的影响 在复相合金中, 若第二相与母相为非共格结合时, 对屈服极限的影响较小。当第二相与母相之间为共格结合时, 合金得到极有效的强化, 其效果比单纯固溶强化显著。 σ_s 的增高, 除了两相结合的性质外, 尚与第二相的数量、形状、大小和分布有关。

(5) 冷加工的影响 金属基体相晶粒在冷加工时破碎成许多更细的晶块, 即形成所谓亚结构时, 其 t_s 提高, 从而提高了 σ_s 。

影响屈服极限的外在因素是:

(1) 温度的影响 温度升高, 基体金属原子热振动增大, t_s 降低, 所以 σ_s 下降。图20-2-1为不同碳钢的 σ_s 与温度的关系。

(2) 加载速度的影响 若加载速度小于塑性变形传播的速度, 则对 σ_s 无影响; 反之, 则塑变抗力提高。图20-2-2显示了这种影响。

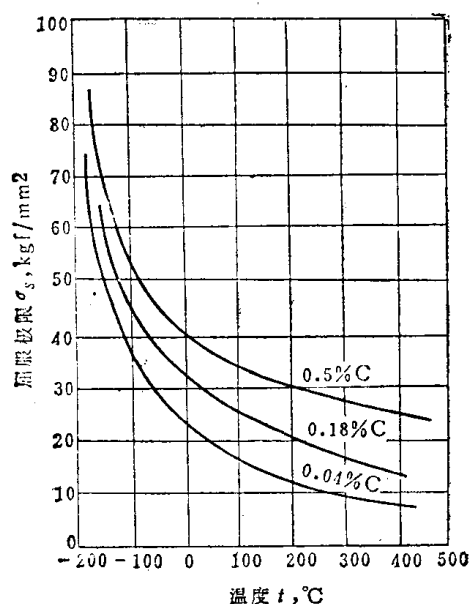


图20-2-1 温度对碳钢屈服极限的影响

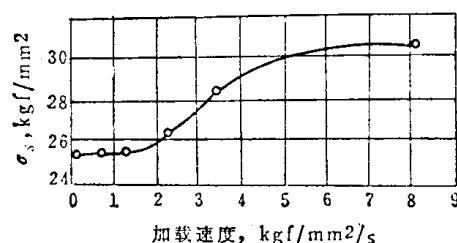


图20-2-2 加载速度对屈服极限的影响

b. 延伸率和断面收缩率 延伸率和断面收缩率是衡量金属静拉伸下塑性变形能力的指标。它们的定义是: $\delta = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$ 为变形过程中任意时刻的延伸率; $\delta_s = \frac{\Delta l_s}{l_0}$ 和 $\delta_u = \frac{\Delta l_u}{l_0}$ 以及 $\delta_K = \delta_s + \delta_u$ 分别为均匀塑变阶段、颈缩阶段和断后的延伸率; $\psi = \frac{A_0 - A}{A_0} = \frac{\Delta A}{A_0}$ 为形变过程中任意时刻的断面收缩率; $\psi_s = \frac{\Delta A_s}{A_0}$ 、 $\psi_u = \frac{\Delta A_u}{A_0}$ 和 $\psi_K = \psi_s + \psi_u$ 分别为均匀塑变阶段、颈缩阶段和断后的断面收缩率。

这些指标都是用试样的原标距长 l_0 和原断面积 A_0 计量的, 称为条件塑性指标。实际变形过程中, l 和 A 都在变化, 因此, 为进行深入研究, 定义真实延伸率 $\epsilon = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_0}$, 真实断面

收缩率 $\psi_e = \int_{A_0}^A \frac{dA}{A} = \ln \frac{A_0}{A}$ 。下面讨论这些指标间的关系。

在均匀塑性变形阶段:

(1) 条件塑性指标间的关系 在均匀塑性变形阶段, 可认为试样的体积保持不变, 即 $A \cdot l = A_0 \cdot l_0$ 。把 $l = l_0 + \Delta l = l_0(1 + \delta)$ 和 $A = A_0 - \Delta A = A_0(1 - \psi)$ 代入后得到,

$$\delta = \frac{\psi}{1 - \psi} \text{ 和 } \psi = \frac{\delta}{1 + \delta} \quad (20.2-2)$$

上式说明, 在均匀塑变阶段, δ 恒大于 ψ 。

(2) 真实塑性指标间的关系 根据上述体积不变假设, $A_0/A = l/l_0$, 两边取对数后即得:

$$\epsilon = \ln \frac{l}{l_0} = -\ln \frac{A}{A_0} = -\psi_e \quad (20.2-3)$$

上式说明, 在均匀塑变阶段, ϵ 和 ψ_e 绝对值相等。

(3) 相互关系 在均匀塑变阶段, 条件塑性指标和真实塑性指标间的关系是:

$$\left. \begin{aligned} \epsilon &= \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{l_0(1 + \delta)}{l_0} \\ &= \ln(1 + \delta) \\ \psi_e &= \ln \frac{A}{A_0} = \ln \frac{A_0(1 - \psi)}{A_0} \\ &= \ln(1 - \psi) \end{aligned} \right\} \quad (20.2-4)$$

上式说明, 在均匀塑变阶段, $\delta > \epsilon$, $\psi_e > \psi$, 它们只有在形变量很小时才近似相等。计算表明, 当 ϵ 或 ψ_e 为 30% 以下时, ψ 与 ψ_e 的近似程度要比 δ 和 ϵ 来得高, 从这一点来说, 条件指标中 ψ 比 δ 要真实得多。

在颈缩变形阶段: 在这一阶段, 由于材料发生了局部的、大量的塑性变形, 塑变指标间的关系还值得进一步研究。也有人仍假设体积不变, 从而它们的关系与均匀塑变阶段相同。

对于实际测试和应用来说, 一个较为重要的问题是, 由于颈缩变形的局部性, 应该如何选择试样的 l_0 , 才能得到可以比较的 δ_K 。

实验指出, $\Delta l_b = \beta l_0$, $\Delta l_u = \gamma \sqrt{A_0}$, 其中 β 、 γ 均为材料的常数。于是:

$$\delta_K = \frac{\Delta l_K}{l_0} = \beta + \gamma \frac{\sqrt{A_0}}{l_0} \quad (20.2-5)$$

上式指出, 同一材料不同 l_0 和 A_0 的两次试验应该满足:

$$\frac{\sqrt{A_1}}{l_1} = \frac{\sqrt{A_2}}{l_2} = k \quad (20.2-6)$$

因此只有满足式 (20.2-6) 的不同几何尺寸的试样, 得到的 δ_K 才能进行比较。国标规定了 $k = 11.3$ 和 5.65 两种。在有颈缩的情况下, ψ_K 大于 δ_K , 若某种材料的 $\delta_K > \psi_K$, 则说明此材料只有均匀塑变而无颈缩。

c. 形变强化 形变强化是金属对继续塑性变

形的抗力。通过冷加工得到截面均一的产品和使零件在应力集中处产生应力重分布, 都要靠形变强化。它和热处理、合金化一样是改变金属机械性能的重要手段之一。

实验指出, 在均匀塑变阶段, 材料的形变强化能力是在变化的, 它可以用真实应力应变的关系式 $S = \alpha \epsilon^n$ 来表示, 当 $n = 1$ 时, $\alpha = E$; 当 $n = 0$ 时, $S = \alpha$ 。一般材料的 n 在以下范围内。即 $0 \leq n \leq 1$ 。

实验测定 n 时, 可从拉伸图 $P-\Delta l$ 的均匀塑变阶段内, 取若干点计算出 σ 和 δ , 然后从 $S = (1 + \delta)\sigma$ 和 $\epsilon = \ln(1 + \delta)$ 算出真应力 S 和真应变 ϵ , 把它们点在双对数纸上, 直线的斜率就是 n (这是因为: $\lg S = \lg \alpha + n \lg \epsilon$)。

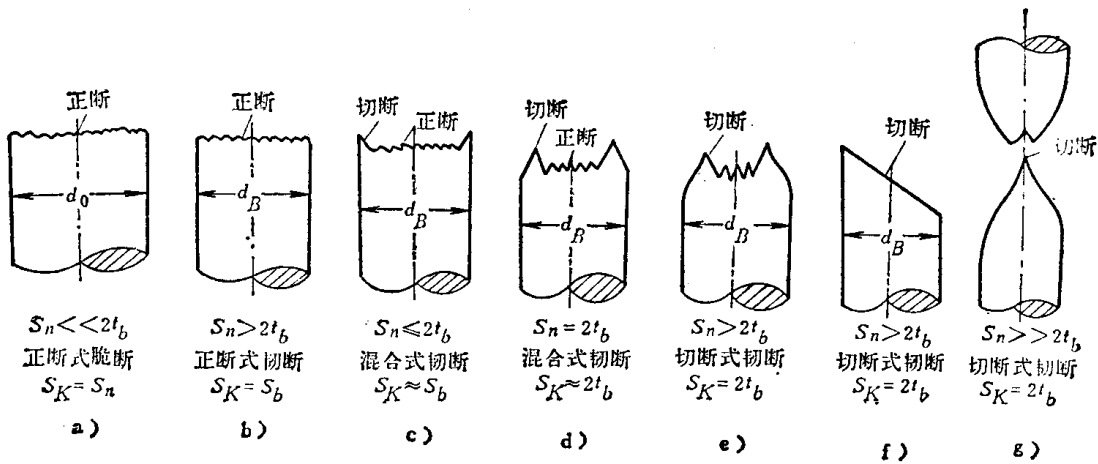
d. 抗拉强度 σ_b 和 S_b 都是代表最大均匀塑性变形的抗力指标。 σ_b 是条件的, 称为抗拉强度; S_b 是真实的抗拉强度, 它们之间的关系是: $\sigma_b = S_b(1 - \psi_b)$, 可见只有在 ψ_b 很小时, σ_b 才近似于 S_b 。必须指出, 在无颈缩的情况下, σ_b 和 S_b 还代表了材料对断裂的抗力; 在有颈缩的情况下, σ_b 和 S_b 尽管不代表材料的断裂抗力, 但因 P_b 是试样实际的最大承载力, 所以 σ_b 也就代表了试样实际的最大拉伸抗力, 它是工程应用中很重要的一个指标。另外, 在设计中常常对材料的屈强比即 $\frac{\sigma_s}{\sigma_b}$ 提出一定的要求, 这是因为屈强比太高的材料, 形变强化容量 ψ_b 很小, 承受过载的能力小; 反之, 如果屈强比过大, 则有效承载能力减低。

从应力应变曲线上可知, σ_b 和 S_b 的高低首先取决于 σ_s (或 $\sigma_{0.2}$) 的高低, 其次取决于 δ_b (或 ψ_b) 的大小和形变强化指数 n 的大小。因此, σ_b 和 S_b 是一个非常活泼的机械性能指标。

1.2.3 断裂阶段的抗力指标

a. 断裂抗力指标 S_n 和 t_b 正断抗力 S_n 是一个脆断强度指标。 S_n 的大小首先取决于金属基体的键合强度; 其次取决于金属体积内的缺陷情况 (宏观健全度和微观健全度); 再其次取决于金属显微组织中各组成体的最低强度相遇的机率。切断抗力 t_b 是一个韧断强度指标, 这个指标代表着实际晶体从抵抗滑移开始直到最后使晶体呈切断式断裂为止这一过程的全部抗力。

b. 实际断裂强度 S_K 静拉伸下, 实际断裂载

图20-2-3 实际断裂强度 S_K 在各种情况下的含义

荷 P_K 除以当时的实际断裂面积 A_K 即得到实际断裂强度 S_K 。 S_K 必须根据不同的实际断裂情况才能确定它的意义。

(1) 如果断裂前不发生塑性变形, 断口齐平, 如图 20·2-3 a 所示, 这表明材料为正断式的脆断, $S_n \ll 2t_b$ (因为 $\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$, 现为正断式的脆断, 所以 $S_n \ll 2t_b$) 材料的塑性极差。此时, S_K 即等于 S_n 。

(2) 如果断裂前发生了塑性变形, 但无颈缩, 且断口齐平, 如图 20·2-3 b 所示, 这表明材料为正断式的韧性断裂。此时的 S_K 基本上反映着正断抗力 S_n 的大小, 在数值上等于真实抗拉强度 S_b 。

(3) 如果断裂前发生了塑性变形, 但无颈缩, 如图 20·2-3 c 所示; 或者有颈缩但不严重, 断口成杯状, 杯底齐平, 且呈金属光泽, 如图 20·2-3 d 所示。则这种断裂既有切断又有正断, 是一种混合型的韧性断裂。

(4) 如果断裂前有塑性变形, 并形成颈缩, 断口呈杯状, 杯底无金属光泽而呈暗灰色, 且呈 45° 锯齿状, 如图 20·2-3 e 所示。则此种断裂为切断式的韧性断裂, 说明 $S_n > 2t_b$ 。此时 S_K 基本上反映着切断抗力 t_b 的大小。几乎所有退火、正火、调质态的结构钢都呈这种断口。材料的极限塑性越好, 则杯底面积越小。其极限状态如图 20·2-3 g 所示, 有些材料会出现整体 45° 斜断口, 如图 20·2-3 f 所示, 此时 S_K 更无疑是代表 t_b 的大小了。

1.3 材料的真实应力应变曲线

材料的应力应变曲线 ($\sigma - \delta$ 曲线) 实际上是条件的, 另外还可以建立材料的真实应力应变曲线 ($S - \psi$ 曲线), 这样的曲线可以用来寻找机械性能各个指标间的关系。

图 20·2-4 是实际测定下来的真实应力应变曲线。由于金属材料的弹性变形极小, 此时 ψ 的变化更小, 几乎与纵轴相重合, 所以在图中曲线上没有表示出弹性变形一段。图上 S 是真实的, 而 ψ 仍是条件的, 因为一般金属材料的 ψ 最大等于 60%, 在此范围内条件的 ψ 和真实的 ψ 相差不大且 ψ 直接度量较为简便, 另外, 采用 ψ 和 ψ_s 作横坐标曲线形状基本上无改变。

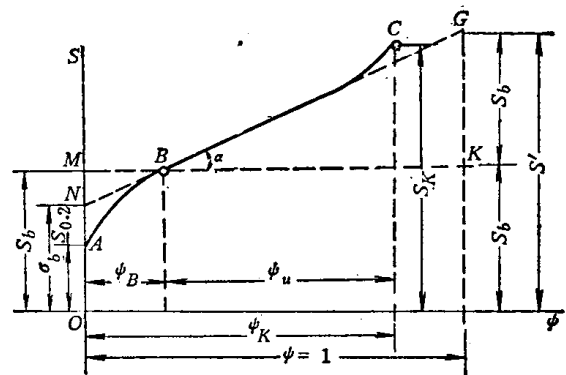


图20-2-4 真实应力应变曲线

在图 20·2-4 上, 除了弹性变形阶段的指标外, 几乎所有塑性阶段的机械性能指标都反映出来了。就缺少一个条件抗拉强度 σ_b 。但经过适当的数学推导即可证明: $S' = 2S_b$, $NO \approx S_b(1 - \psi_s) = \sigma_b$ 。

如果把曲线的起始部分和末尾上翘部分（几何强化所致）近似地取作直线，则真实应力应变曲线可表达成：

$$S = \sigma_b + \frac{S_b}{1 - \psi_b} \cdot \psi = \sigma_b + \frac{\sigma_b}{(1 - \psi_b)^2} \cdot \psi$$

$$= \sigma_b \left[1 + \frac{1}{(1 - \psi_b)^2} \psi \right]$$

此式应满足当 $S = S_K$ 时 $\psi = \psi_K$ 的条件，即

$$S_K = \sigma_b + \frac{\sigma_b}{(1 - \psi_b)^2} \cdot \psi_K$$

1.4 金属的高温短时拉伸性能

有的零部件的工作温度很高，然而工作时间却很短，这时蠕变现象不是主要的，而高温短时的机械性能却具有重要的意义。金属的高温短时机械性能随温度而变化的趋势是：随着温度的升高，材料的屈服点和强度极限均降低，而延伸率和收缩率却增加。但试验时必须注意，时间的影响比温度的波动的影响更大，特别是试验温度接近于材料的等强温度时，材料产生高温蠕变，其影响更显著。为了使结果能互相比较，时间因素应该标准化。

在高温短时拉伸时，由于蠕变、松弛和弹性后效等的影响，使弹性模量的测定难于准确进行，因此一般在高温下是用共振方法来测 E （即通过测定试样的共振频率后换算出 E 来）。

2 静载荷下材料的缺口敏感度

2.1 静载缺口敏感度的定义

零部件的性能和光滑试样上所得到的性能有很大的差距，引起这种差别的原因之一是缺口的存在。由于缺口的存在，改变了原来的受力状态，增加了脆性的倾向，引起了材料抗力的变化。缺口敏感度试验就是将材料制成具有一定形状缺口的试样，进行拉伸或弯曲试验，观察材料强度和塑性的变化情况（与光滑试样对比），以确定材料的脆化趋势的一个性能指标。

2.2 缺口处应力分布的特点

2.2.1 弹性变形阶段

在弹性变形阶段，缺口的存在会引起下列现象：

a. 出现三向应力状态

图 20·2-5 为缺口试样受拉伸的情况，由图可见，除了轴向拉应力 σ_l 外，还产生了切向应力 σ_t 和径向应力 σ_r ，它们在缺口底部的截面上分布是不均匀的， σ_l 和 σ_t 均在缺口根部最大， σ_r 在缺口根部为 0，在离根部一定距离处达到最大值。

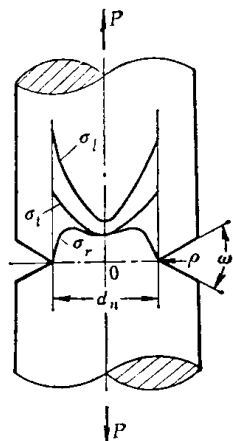


图 20·2-5 缺口附近的应力分布

b. 出现应力集中现象

这里主要指轴向应力的集中，集中系数 $\alpha = \frac{\sigma_{lmax}}{\sigma_m}$ 。

σ_m 为平均应力， σ_{lmax} 为最大轴向应力。当平均应力还很低时， σ_{lmax} 却很高了，它可能达到材料的正断抗力 S_n 而发生早期的脆性断裂。

2.2.2 塑性变形阶段应力的重分布

缺口截面上任一点只要它的最大剪应力满足 $\tau_{max} = \frac{\sigma_l - \sigma_r}{2} \geq t_s$ ，就产生屈服，由于缺口根部附近 σ_l 最大， σ_r 却接近于 0， $\sigma_l - \sigma_r$ 差值最大，因此，该处首先产生塑性变形。随着载荷的增大，塑性变形区域逐渐向试样中心发展，见图 20·2-6。

继续下去就会出现：

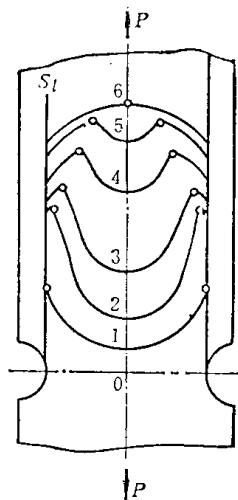


图 20·2-6 拉伸时缺口根部塑性变形发展对截面上应力分布及应力大小的影响
曲线 1~6 表示 σ_l 由线弹性发展到全塑性的整个过程

(1) 当 σ_l 已达到材料的 S_n 值时，则在弹性区内将产生垂直于试样轴线的正断式裂纹，然后裂纹在弹性区内发展，最后在试样周围塑变区内沿与轴线成 45° 的方向上切断而告终（因该处 τ_{max} 已超过材料的 t_b ），断口呈杯锥状。

(2) 当 σ_l 没有达到材料的 S_n 水平，而塑变区内的 τ_{max} 已达到了材料的 t_b 的水平时，那么在塑变区内沿与轴线呈 45° 的方向上将首先产生切断式裂纹，最后整个试样以切断告终。

(3) 当材料具有足够的塑性时，则由于缺口处三

向应力状态的存在妨碍塑变的发展,使标志最大塑变抗力的指标 σ_b 提高,结果是缺口试样的抗拉强度比同样材料光滑试样的要高。必须指出,这种现象的产生不能认为缺口提高了材料的强度,因为除了已经产生塑性变形部分发生应变强化外,材料的本质(即 t_s 、 t_b 和 S_n)没有变,相反,由于缺口应力状态的变化,增加了零件的脆性破坏倾向,特别尖锐缺口是要尽量避免的。

2.3 缺口拉伸试验

缺口拉伸试验用于测定静拉伸条件下材料对缺口的敏感度。通常用光滑试样的 σ_b 和缺口试样的 $\sigma_{b,n}$ 的比值作为衡量缺口敏感度的指标。 $\sigma_b/\sigma_{b,n} \leq 1$ 时说明金属对缺口不敏感, $\sigma_b/\sigma_{b,n} > 1$ 说明金属对缺口敏感。

常用的缺口试样的形状如下:

缺口角: $45^\circ \leq \omega \leq 60^\circ$; 一般取 60°

缺口最小直径: $10\text{mm} \leq d_n \leq 20\text{mm}$

缺口根部半径: $\rho \leq 0.1\text{mm}$, 一般取 0.025mm

缺口面积与光滑试样面积之比: $\frac{d_0^2 - d_n^2}{d_0^2} = 50\%$

测光滑试样的 σ_b 时,其直径大小取 d_n 。试验时要注意对正中心,严防试样偏斜带来的附加影响。

2.4 缺口偏斜拉伸试验

实际零部件(如联接螺钉)在装配中不可避免地存在着偏心,这就需要作缺口偏斜拉伸试验。40CrNi钢制造的螺钉经淬火后在 200°C 、 450°C 和 600°C 分别回火,它们的缺口拉伸结果差别不大,而在缺口偏斜拉伸中却显示出较大的差别, 600°C 回火的最不敏感, 200°C 回火的最敏感。

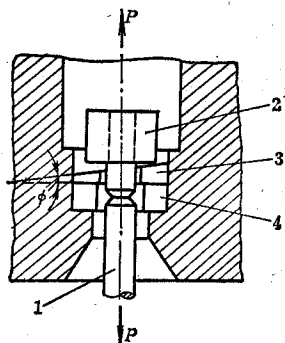


图20-2-7 缺口偏斜拉伸试验装置

缺口偏斜拉伸装置如图20-2-7所示。在试样螺母夹头2和试验机上夹头内支座4之间,放上垫圈3(倾角可取 4° 、 8° 或 12° 等),当试验机上夹头向上运动时,通过垫圈传递到试样螺帽夹头的作用力 P 非均匀接触,使试样1工作部分倾斜,其偏斜角度等于垫圈的角度。在这种偏斜拉伸作用下,缺口截面上的应力分布极不均匀,更易导致早期断裂,所以它能够更灵敏地显示出材料的缺口敏感度。

对于材料的静载缺口敏感度的评定,应根据零部件所受的载荷类型、应力集中程度以及工作条件下最大可能的偏心度等,准确地选择试验方法,使试样试验的结果更符合零部件的实际抗力。

3 静载荷下的尺寸效应

3.1 尺寸效应的含义

从实验室得到的材料强度数据,一般都是用小尺寸的试样做的,而零部件的尺寸可能远远大于试样尺寸,如果小试样和大尺寸零件的材料组织完全相同,它们的强度特性则不相同,这就是尺寸效应问题。目前,由于重型机器制造业的迅速发展而使这一问题具有很大的实际意义。例如10万千瓦水力发电机转子的重量在60吨以上,其直径约1米,长10米多;10万千瓦水轮机叶片重约20吨,轴的直径达1.4米;大型水压机的个别零件有重达几十吨的。目前,动力、运输机械和其他方面所应用的轴,直径在 $200 \sim 500\text{mm}$ 的是很多的。因此,为了判断实际零件的强度,必须考虑尺寸效应的问题。

应该指出,尺寸效应在疲劳中最重要的,在冲击载荷下次之,在静载荷下更次之。但不能由此忽视静载下的尺寸效应。

3.2 静载下尺寸效应的表现

在静载荷下,尺寸效应的表现主要是材料强度降低,脆性倾向增大。下面我们举几个例子:

1) 对于大型锻件往往是在各个部位取样,进行小试样的试验,然后对它作出评价。如从直径为 40mm 的棒料中,切出直径为 5mm 的试样,其结果见表20-2-3。由表可知,该材料性能沿截面是非常均匀的。但如果用同样的棒料在同一截面取直径10、20和 40mm 的试样进行试验,这时,他们的