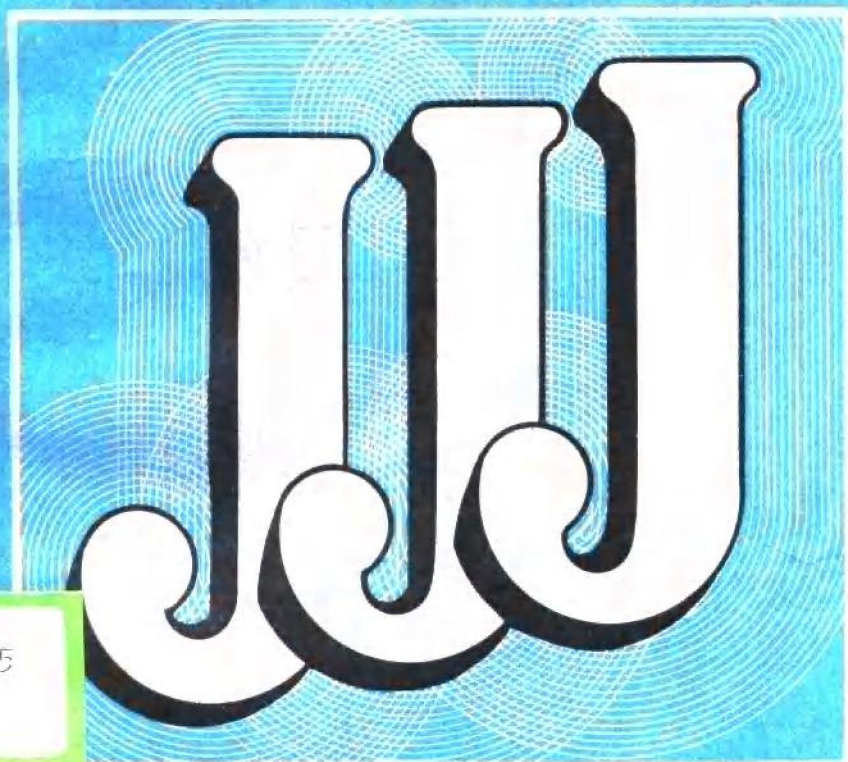


国家机械工业委员会统编

材料机械性能试验基础

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



115.5

机械工业出版社

机械工人技术理论培训教材

材料机械性能试验基础

国家机械工业委员会统编



机械工业出版社

518539

材料的机械性能是指材料在受载荷条件下所反映出来的一系列力学特性。本书内容包括拉伸、硬度、冲击、弯曲、压缩、剪切和金属高温蠕变、持久强度试验。为了适应机械性能实验工初学者的需要，书中着重阐述机械性能各项试验的名词术语、基本原理、试验步骤以及试验实例等，并且一律采用最新标准编写。

本书由国家机械委上海材料研究所宋传国、戎忠良，上海钢铁研究所钟文达，上海机械工艺研究所江小峰，上海发电设备成套设计研究所孙守诚编写，由上海材料研究所陈运远和上海机械工艺研究所于余象等审稿。

材料机械性能试验基础

国家机械工业委员会统编

*

责任编辑：齐福江 版式设计：罗文莉
封面设计：林胜利 方 芬 责任校对：李广孚

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（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

机械工业出版社发行·新华书店经销

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $5 \frac{3}{4}$ · 字数 124 千字
1988年10月北京第一版·1988年10月北京第一次印刷
印数 00,001—10,000 · 定价：2.20 元

*

ISBN 7-111-01067-1/TG·254

前 言

1981年,原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》,确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此,组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲(试行)》,编写了相应的教材,有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作,初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况,取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准(通用部分)》进行了全面修订,原教学计划,教学大纲已不适应新《标准》的要求,而且缺少高级部分;编写的教材,由于时间仓促、经验不足,在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此,原机械工业部根据新《标准》,重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》(初、中、高级),于1987年3月由国家机械工业委员会颁发,并根据培训计划、大纲的要求,编写了配套教材149种。

这套新教材的编写,体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神,坚持了文化课为技术基础课服务,技术基础课为专业课服务,专业课为提高操作技能和分解解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上,力求以

基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力的培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易，教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组

1987年11月

目 录

前言

第一章 机械性能的基础知识.....	1
第一节 概述	1
第二节 试验方法标准	4
复习题	12
第二章 材料拉伸试验的基本概念.....	13
第一节 拉伸试验的特点及目的	13
第二节 材料拉伸试验的基本知识	14
第三节 取样及制样	24
第四节 试验方法	34
第五节 金属高温短时拉伸试验	54
复习题	59
第三章 金属硬度试验.....	60
第一节 概述	60
第二节 布氏硬度试验	61
第三节 洛氏硬度试验	81
第四节 维氏硬度试验	97
第五节 肖氏硬度试验.....	107
复习题.....	112
第四章 冲击试验	114
第一节 概述.....	114
第二节 冲击试验原理及试验机.....	115
第三节 试样的取样和制备.....	117
第四节 冲击试验的程序.....	121

VI

复习题.....	124
第五章 弯曲、压缩和剪切试验	125
第一节 弯曲试验.....	125
第二节 压缩试验.....	132
第三节 剪切试验.....	138
复习题.....	141
第六章 金属的高温强度性能试验	142
第一节 概述.....	142
第二节 金属高温蠕变试验.....	144
第三节 金属高温持久强度试验.....	161
复习题.....	175

第一章 机械性能的基础知识

第一节 概 述

一、材料性能

随着生产和科学技术的发展，对材料的选择和应用也越来越科学。要做到经济合理地选用材料，充分发挥材料潜力，就必须熟悉材料性能。材料性能包括物理性能、化学性能、机械性能、工艺性能等。材料的物理性能有密度、熔点、导热性、导电性、磁性等；材料的化学性能有耐腐蚀性、抗氧化性、化学稳定性等；材料的机械性能（也称材料力学性能）有强度、弹性、塑性、韧性、硬度等；材料的工艺性能是指材料的加工性能。金属材料工艺性能，包括铸造性、锻压性、焊接性、切削加工性、热处理工艺性等。

二、材料的机械性能

任何一个构件或机械设备都是由各类材料制成的，所有的构件或设备在工作状态中都要受到外部因素的作用，这些外部因素主要是力或能量。有时在力或能作用的同时，还受到其它外界因素的作用，象温度、介质等。例如，锅炉、压力容器以及管道在工作时受到内压力的作用，因此锅炉、压力容器的壳体及管道都要产生应力。锅炉以及有的压力容器在受力的同时，还有高温的作用；有些化工容器及管道受低温作用；有的在力和温度作用的同时，还受到介质的作用；而核容器还受到核辐照的作用；柴油机上的连杆在工作时不仅受到拉力和压力的作用，还要受到冲击力的作用。

构件或零部件受到外界作用时，在其内部就产生了抗力。此抗力一般用应力来表示，所谓应力是指材料在单位截面面积上的内力。在没有造成试件或构件断裂的情况下，应力无法直接测量，只能通过测量构件或零部件的变形再经过计算得到。这是因为材料由于应力的作用必然会发生变形，通过测量变形就可以计算出应力。一般材料的变形量是很小的，用肉眼不易看出，必须用仪器测量。变形可分为弹性变形和塑性变形。弹性变形是外部载荷去除后，能恢复到原始形状和尺寸的变形；塑性变形是不能恢复到原始形状和尺寸的变形。当材料变形很大，即应力很大或局部区域应力很大时，材料会发生断裂。材料机械性能就是指材料在一定环境下，受力或能的作用时，所反映出来的一系列力学特性，例如弹性、塑性、韧性、强度、硬度等。

材料由于外力作用而产生的变形可分三个阶段：弹性变形、塑性变形、断裂。金属材料三个变形阶段表现很明显，因此可从分析金属材料的变形过程来阐明材料的一系列机械性能。将材料制成一定规格的试样，放到试验机上进行试验时，在外力逐渐增大的过程中，材料的变形也由弹性变形、塑性变形直至最后断裂。相应于变形的不同阶段引出了一系列的力学特性参量。在弹性变形过程中的抗力指标有弹性模量、比例极限、弹性极限；在塑性变形过程中的抗力指标有硬度、屈服点；在断裂时的抗力指标有强度极限及断裂强度。伸长率和断面收缩率是材料的塑性指标。冲击韧性、断裂韧性是强度和变形的综合参量。

三、机械性能试验的意义及应用

目前，机械性能试验主要应用于以下几个方面：

- 1) 对原材料进行检验，以确定所选材料是否合适，是

否符合设计要求。

2) 测定材料机械性能, 为改进和研究其合金成分、金相组织和熔炼、铸造、焊接、热处理工艺等提供依据。例如, 钢中碳含量会影响强度, 磷含量增加会降低低温冲击韧性等。不同的金相组织, 其强度和韧性也不同, 因此在观察金相组织时, 可以用硬度来帮助判断组织。不同的熔炼方法对性能也会有很大影响, 转炉钢夹杂物较多, 性能较差, 平炉钢性能较好, 电炉钢性能更好; 铸件如形成片状偏析或夹杂物较多, 也将大大降低强度和韧性; 另外, 在研究新的焊接材料或制定焊接工艺规范时, 也需要进行机械性能试验。有些热处理车间也用机械性能试验来检查产品是否达到要求, 或用以检查热处理工艺是否合理。

3) 对零部件进行机械性能试验, 可以了解实物的受力情况。同时, 从零部件上测出的机械性能指标, 可作为设计构件、改进工艺的参考或依据。

4) 对进口材料和设备进行机械性能试验、分析, 有助于技术消化, 提高我国的技术水平。

5) 对失效的产品零件进行分析, 是提高产品质量的一条重要途径。选材不当和材料热处理不当都可以通过机械性能试验发现。另外, 通过失效分析, 可以提出一些新的试验方法和新的机械性能指标, 例如, 为了分析二次大战中大量船舶脆性破坏的原因而发展起来的落锤试验, 提出无塑性转变温度指标 NDT; 由火箭壳体的脆性破坏而发展出断裂韧性试验, 提出材料平面应变断裂韧性指标 K_{Ic} 等。

四、机械性能试验的内容

机械性能试验可分为静力试验和动力试验两大类。包括: 拉伸试验、压缩试验、剪切试验、扭转试验、弯曲试验、

硬度试验、冲击试验、疲劳试验、工艺试验、磨损试验、蠕变试验、持久试验、松弛试验及断裂力学试验。随着生产技术的不断发展，机械性能试验方法也在不断改进，并越来越接近实际的工作情况。例如，新出现的腐蚀疲劳试验；随机疲劳试验；多次冲击试验；冲击耐磨试验；复合应力试验等。这些试验方法的产生都是来自工程实际的需要。例如，大多数机械零部件，在实际工程中，很少承受一次的大能量冲击，而是小能量下的重复冲击，因此小能量多次冲击试验更能反映大多数受冲击载荷零件的实际工况。又如，复合应力疲劳试验也比纯弯曲疲劳试验更能反映零部件的疲劳抗力。

第二节 试验方法标准

一、试验方法标准的重要性

材料的机械性能是通过实验测得的。因此，应非常重视试验方法。下面举几个从取样到试验中的例子来说明试验方法标准化的重要性。

例 1 取样方面：从大锻件或厚钢板上取样进行试验时，在心部和接近表面取样所测得的结果是有差别的。表面取样所测得的数据比心部高。

例 2 试样形状尺寸方面：在 $\phi 40\text{mm}$ 的棒料的同一截面上取 $\phi 10$ 、 20 和 40mm 的试样进行试验，结果是，比例极限、抗拉强度随着试样截面的增大而降低了 $10\sim 15\%$ 。又如，冲击试样，同样是取 $10\times 10\times 55\text{mm}$ 的尺寸，但缺口的形状不同，一种是 U 型缺口，另一种是 V 型缺口，两者的试验结果不一样。特别是冷脆温度区域，V 型缺口仅有几焦耳，而同一温度下的 U 型缺口，其冲击值有时可达到上百

焦耳。两者的结果可相差几十倍，而且U型缺口和V型缺口之间没有通用的换算关系。

例 3 试样加工质量方面：试样表面的加工质量对材料的机械性能也有影响，特别在疲劳试验中表现得更为明显。粗糙的表面状态相当于存在很多微缺口，由于缺口应力集中而导致疲劳强度降低。表面越粗糙，疲劳极限降低越严重。另外，材料的强度越高，表面质量对试验结果的影响也越大。

例 4 试验速度方面：试验时的加载速度对试验结果也会有很大影响。例如，加载速度快，会提高上屈服点，对于塑性较低的材料还会提高抗拉强度。

例 5 试验机方面：试验机应符合一定的技术条件。对试验工作者来讲，也应该掌握一定的知识。在 50 年代，我国有些工厂使用 WPM 冲击机，但用该试验机所得的试验结果偏高。用现在的技术条件来检查，就发现试验机的某些技术指标达不到规定的要求，因此这种试验机必须淘汰。所以，在目前的试验方法标准中，对所用的试验仪器也提出了一定要求。

例 6 试验结果计算方面：试验结果的计算有各种情况，有取整数的，有取小数点后一位的，也有取二位的，有采用四舍五入法的，有采用四舍六入五单双的。这样，同一个试验采用不同的取舍原则，其结果是有差别的。

从上述的几个例子可以看出：统一试验方法是很重要的，故需要制订试验方法的有关标准，并严格按照标准执行。因为机械性能数据，在一定程度上取决于所采用的试验方法。如果所用的方法和条件不同，就无法对不同试验室和不同人员得出的结果进行比较。另外，试验标准有一定的科

学性，因此，根据标准进行试验，可保证所测得的试验结果准确、可靠。

二、试验标准简介

1. 我国和其它国家的机械性能试验标准 每个国家都有自己的试验标准，我国的国家标准代号为 GB，YB 为冶金部标准代号，JB 为原第一机械工业部标准代号。美国国家标准代号为 ANSI；苏联国家标准代号为 ГOCT。目前，机械性能试验中的许多方法已有了国际标准，代号为 ISO。有关机械性能试验的各国标准代号如下：

GB——中国国家标准代号

YB——中国冶金部标准代号

ISO——国际标准代号

ANSI——美国国家标准代号

ASTM——美国材料与试验协会标准代号

ГOCT——苏联国家标准代号

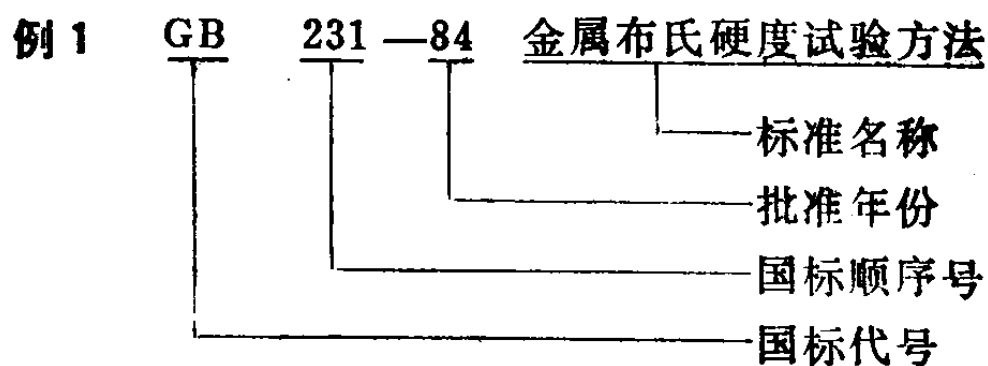
JIS——日本工业标准（作为日本国家标准）代号

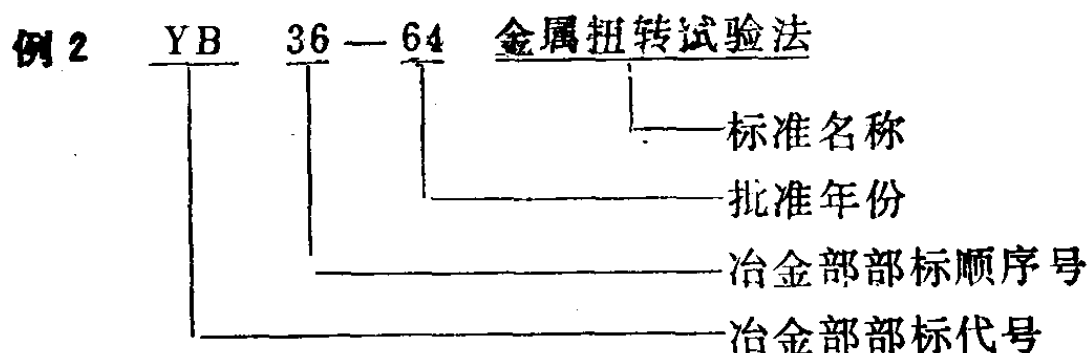
DIN——联邦德国国家标准代号

B. S——英国国家标准代号

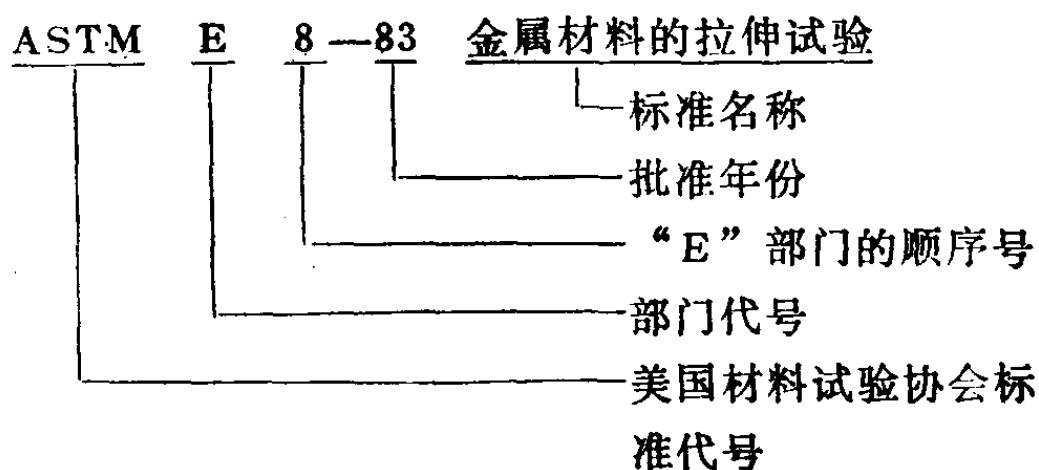
NF——法国国家标准代号

为了对标准的编号及涵义有所了解，下面举例说明：





例 3



有关 ASTM 部门代号说明如下：

- A——黑色金属；
- B——有色金属；
- C——水泥、陶瓷与砌筑材料；
- D——杂类材料；
- E——杂项标准；
- F——专用材料；
- G——材料的腐蚀、变质和递降。

我国现有的常用试验方法标准如下：

1. GB228—87 金属拉力试验法
2. GB229—84 金属夏比（U型缺口）冲击试验方法
3. GB230—83 金属洛氏硬度试验方法
4. GB231—84 金属布氏硬度试验方法

5. GB232—82 金属弯曲试验方法
6. GB233—82 金属顶锻试验方法
7. GB234—82 型材展平弯曲试验方法
8. GB235—82 金属反复弯曲试验方法
9. GB236—82 金属不淬硬性弯曲试验方法
10. GB237—82 金属锻平试验方法
11. GB238—82 线材反复弯曲试验方法
12. GB239—82 金属线材扭转试验方法
13. GB240—82 薄板双层咬合弯曲试验方法
14. GB241—81 金属管液压试验方法
15. GB242—82 金属管扩口试验方法
16. GB243—82 金属管缩口试验方法
17. GB244—82 金属管弯曲试验方法
18. GB245—82 金属管卷边试验方法
19. GB246—82 金属管压扁试验方法
20. GB347—82 钢丝脆性试验方法
21. GB977—84 灰铸铁机械性能试验方法
22. GB1172—74 黑色金属硬度及强度换算表
23. GB1817—79 硬质合金常温冲击韧性试验方法
24. GB2038—80 利用 J_R 阻力曲线确定金属材料延性断裂韧度试验方法
25. GB2039—80 金属拉伸蠕变试验方法
26. GB2105—80 金属材料切变模量及泊松比测量方法
27. GB2106—80 金属夏比(V型缺口)冲击试验方法
28. GB2107—80 金属高温旋转弯曲疲劳试验方法
29. GB2358—80 裂纹张开位移(COD)试验方法

30. GB2610—81 拉力试验系统 K 值的测定
31. GB2975—82 钢材力学及工艺性能试验取样规定
32. GB2976—82 线材缠绕、松懈试验方法
33. GB3075—82 金属轴向疲劳试验方法
34. GB3076—82 金属薄板(带)拉伸试验方法
35. GB3251—82 铝及铝合金管材压缩试验
36. GB3652—83 金属管材高温拉伸试验方法
37. GB4159—84 金属低温夏比冲击试验方法
38. GB4160—84 钢的应变时效敏感性试验方法(夏比冲击试验法)
39. GB4161—84 金属材料平面应变断裂韧度 (K_{Ic}) 试验方法
40. GB4164—84 金属杯突试验方法
41. GB4337—84 金属旋转弯曲疲劳试验方法
42. GB4338—84 金属高温拉伸试验方法
43. GB4340—84 金属维氏硬度试验方法
44. GB4341—84 金属肖氏硬度试验方法
45. GB4342—84 金属显微维氏硬度试验方法
46. GB5027—85 金属薄板塑性应变 ν 值试验方法
47. GB5028—85 金属薄板应变硬化指数 n 值试验方法
48. GB6397—86 金属拉伸试验试样
49. GB6393—86 金属材料疲劳裂纹扩展速率试验方法
50. GB6399—86 金属材料轴向等幅低循环疲劳试验方法
51. GB6400—86 金属丝材和铆钉的高温剪切试验方法

52. GB6803—86 铁素体钢的无塑性转变温度落锤试验方法

53. GB7314—87 金属压缩试验方法

54. YB36—64 金属扭转试验方法

55. YB42—73 细钢丝绳疲劳试验方法

上述标准是常见的金属材料机械性能试验标准，没有包括焊接试件和烧结金属的机械性能试验方法，以及在有些工厂里可能遇到的工程塑料机械性能试验方法等。

2. 工厂中常用标准简介 上面所介绍的标准可以分为几类：1) 基础标准，即取样标准。2) 最常用的标准，即拉伸试验、硬度试验、冲击试验。这些试验的设备是中、小工厂中最基本的试验设备，大部分工厂都能进行这些试验。3) 工艺性方面的试验标准，例如，金属弯曲、顶锻、锻平、反复弯曲、杯突、金属管扩口、缩口、卷边、压扁等试验，这类试验在有关工厂进行。4) 断裂韧性方面的试验，例如平面应变断裂韧性 K_{Ic} ，阻力曲线 J_R ，裂纹张开位移 COD 等试验方法，这类试验难度较大，大多数工厂不进行这种试验。5) 较少进行的试验，如压缩、剪切、扭转等试验。这些试验并不复杂，只要掌握了基本知识后就可以进行，但它们不象拉伸那样经常遇到。6) 疲劳试验，例如旋转弯曲疲劳，轴向疲劳、疲劳裂纹扩展速率、轴向等幅低循环疲劳试验等。由于这种试验不是马上就能完成，而且在产品上也不是马上就能反映出来，因此大多数工厂不进行此项试验。7) 高温试验，例如蠕变试验等，这是动力设备制造工厂必须进行的试验项目。下面以一个基础标准和几个最常用的标准为例作一简单的介绍。

(1) 钢材力学及工艺性能试验取样规定 (GB2975—