

材料机械性能测定技术

Б. А. 阿夫捷叶夫 著

国家科委計量局力学处譯印

內 容 簡 介

本书是1952年出版的“金属机械性能测定技术”一书的第三次修改补充版。

本书阐述了各种测定材料机械性能的基本方法，并有各种材料試驗机和試驗儀器的說明，同时指出了在这些設備上工作的条件。

此外，本书中还研究了靜載試驗机的檢定方法，并特別注意到計量工作中所应用的标准装置和标准儀器的使用規則。

本书对从事于材料机械試驗和試驗設備檢定工作的技術人員适用，同样也可作为技术学校和有关专业訓練班的教材使用。

譯 者 話

本书是根据1958年出版的“金属机械性能測定技术”的第三次修改补充版譯印的。

本书是有关材料机械性能測定方面知識較完整的一本，对从事材料机械性能試驗和材料試驗机及仪器檢定工作的技術人員都很适用。我处为了滿足各方面的需要，决定將此书翻譯出版，供測力硬度計量工作者及有关技術人員学习參考。

为了不影响作者原意，又要使文句通俗易懂，我們絕大部份是直譯，仅个别部份采用了意譯。

本书由楊迪同志翻譯，蔡正平同志校对，因为本书涉及的知識面較广，我們的俄文水平有限，又因時間十分緊迫，有譯錯或考虑不当的地方請讀者指正。

一九六三年九月

前 言

各工业部門的不断发展，高压、高温和高速的广泛应用，对各种机器和建筑工程的安全性和它們使用的耐久性提出了更高的要求，并力求严格地节省材料。所有这些都要必須仔細地不断地研究各种材料的机械性能。

金属的品种逐年增加，复杂的鑄件、毛坯和半成品的生产也逐年扩大。从而在各研究院、各工厂实验室以及在直接生产中的試驗工作量亦随之增长。

精密机器制造和仪器制造工业为了满足日益增长的要求，生产了各种較完善的試驗机和仪器，不断地改进其结构和实用质量。

在本书中闡述了各种材料机械性能的測定方法，并闡述了各研究室和工厂实验室中广泛使用的材料試驗机和試驗仪器使用及检定的基本知識。

本书該版是第二次版的补充和修改。在有关金属强度靜載試驗一章中，补充了关于以楔形物加压的方法对生鉄焊接物进行試驗的知識，以及最新国产万能試驗机的使用方法。

在金属硬度試驗一章中，对TIII、TK、TII、型硬度計常見的毛病也进行了研究，并提到了各种最新结构的硬度計。

冲击試驗一章重新作了修改。

关于微小变形測量仪一章，补充了有关新型延伸計检定仪的資料。

新增了几章有关非金属材料的机械試驗的資料。

序 論

材料机械性能的知识，对解决各种机器和建筑工程的设计问题，具有特别重要的意义。

以实验法测定材料的机械性能，是为了确定在计算材料机械强度时所必要的特性。机械强度通常以材料在载荷下达到给定的变形量或破裂时所承受的力或应力来评定，或用试样折断所消耗的功来评定。

基于材料机械性能的实验研究之上的苏联有关材料强度方面的科学，在近十年内获得了很大的发展和巨大的成就。

科学研究院在著名的苏联科学家的指导下所作的机械试验结果的实验理论分析，提供了建立新规律的可能，并提出了塑性变形、蠕变、疲劳破坏及其他方面的新理论。

与此同时，在苏联已生产了大量新型和完善的为测定材料机械性能的试验机和试验仪。很多科学研究院和设计局，以及个别的发明家制造出了新颖的静载、变载和动载试验的试验机、研究金属微观用的试验仪器、硬度计以及高温试验机。

，各种试验机和试验仪器的操作方法亦由苏联研究人员确定了。苏联拥有国家标准(ГОСТ)，其中几乎包括了所有试验种类，以及由苏联部长会议所属标准量具与计器委员会制定的大部分试验机和试验仪器的检定规程。

在不同试验室的各種结构的磨损程度不同的试验机和试验仪器上，所获得的试验结果的可靠性和可比性，只有采用标准方法时才能得到保证。当然，必须正确地使用试验设备，并对其进行定期检定。

对试验机和试验仪器的结构不够了解时，无论进行何种试验不仅得不出正确的试验结果，同时还常常会损坏贵重的试验设备。

只有当试验机和试验仪器按规定的方法经过检定后，其示值不超过规定的允差范围时，才能确信所得数据是正确的。

目 录

前言

序論

I 材料强度及其机械性能之測定方法	(1)
1. 概述	(1)
2. 材料机械性能試驗的分类	(2)
3. 測定材料机械性能的試驗机和試驗仪器的一般分类	(3)
II 金属拉伸和压缩的靜載試驗	(6)
1. 金属拉伸試驗时所測定的基本特性	(6)
2. 金属拉伸試驗用的試样	(10)
3. 拉力、压力和弯曲試驗机	(18)
III 扭轉試驗	(54)
1. 概述	(54)
2. 扭轉試驗机	(55)
IV 灰口鉄和可鍛鑄鉄鑄件的試驗	(59)
1. 弯曲試驗	(59)
2. 压缩試驗	(61)
3. 鋼楔压入的試驗	(62)
V 用延伸計測量变形和应力	(65)
1. 概述	(65)
2. 測定規定屈服极限 $\sigma_{0.2}$ 的延伸計	(67)
3. 測定比例极限和弹性极限用的延伸計	(71)
4. 延伸計的檢定	(76)
5. 帶導綫电阻传感器的电式延伸計	(80)
VI 試驗机的檢定	(82)
1. 基本定义和术语	(82)
2. 对靜載試驗机的要求及允差标准	(84)
3. 檢定測力計的基准和标准装置	(85)
4. 三等标准測力計	(95)
5. 試驗机的檢定方法	(123)
VII 工作測力計	(134)
VIII 冲击試驗	(143)
1. 在立式冲击試驗机上的試驗	(143)
2. 在摆錘式冲击試驗机上的試驗	(144)

IX 金屬硬度	(159)
1. 概述	(159)
2. 按布氏法用鋼球測定硬度	(161)
3. 用金剛石圓錐體測定硬度	(174)
4. 用金剛石角錐體測定硬度	(188)
5. 显微硬度的測定	(207)
6. 用彈性回跳法測定硬度	(215)
7. 用鋼球沖壓的近似硬度測定法	(219)
8. 以搖擺法測定硬度	(222)
9. 以划痕法測定硬度	(225)
10. 以電磁法測定硬度	(226)
11. 硬度值的比較	(227)
X 持久試驗	(230)
1. 概述	(230)
2. 持久極限測定方法	(232)
3. 持久試驗機	(236)
4. 對旋轉的懸臂式固定試樣進行彎曲的持久試驗	(237)
5. 在試樣旋轉時的純彎曲試驗	(244)
6. 軸向載荷的持久試驗	(246)
7. 重複——交變扭力試驗	(254)
8. 快速持久試驗法	(256)
XI 高溫試驗	(259)
1. 概述	(259)
2. 蠕變試驗	(262)
3. 松弛試驗	(271)
XII 磨損試驗	(274)
1. 概述	(274)
2. 磨損試驗機	(275)
XIII 工藝試驗	(281)
1. 概述	(281)
2. 工藝試驗	(281)
3. 綫材的扭轉試驗	(289)
4. 反復彎曲試驗	(291)
5. 金屬板材杯突試驗	(294)
XIV 建築材料的試驗	(298)
1. 天然石材的試驗	(298)
2. 磚的試驗	(301)

3. 水泥的試驗.....	(302)
4. 混凝土試驗.....	(311)
XV 紡織材料的試驗.....	(318)
1. 拉伸強度的試驗.....	(316)
2. 扭轉試驗.....	(326)
3. 持久試驗.....	(326)
4. 撕破試驗.....	(327)
5. 紡織品的磨損試驗.....	(328)
6. 壓縮試驗.....	(330)
XVI 塑料試驗.....	(333)
1. 拉伸試驗.....	(333)
2. 壓縮試驗.....	(335)
3. 彎曲試驗.....	(336)
4. 沖擊試驗.....	(336)
5. 硬度的測定.....	(338)
XVII 橡皮和硬橡膠試驗.....	(340)
1. 概述.....	(340)
2. 橡皮的拉伸試驗.....	(340)
3. 橡皮的壓縮試驗.....	(344)
4. 撕破和剝層的強度試驗.....	(344)
5. 橡皮耐寒性的測定.....	(347)
6. 橡皮硬度的測定.....	(349)
7. 橡皮的多次變形試驗.....	(353)
8. 橡皮的磨損試驗.....	(353)
9. 硬橡膠的彎曲試驗.....	(354)
10. 硬橡膠的剪切試驗.....	(354)
11. 硬橡膠的脆性試驗.....	(355)
12. 硬橡膠硬度的測定.....	(356)
13. 硬橡膠的耐熱試驗.....	(356)
附 錄.....	(359)

I 材料强度及其机械性能之测定方法

1. 概 述

制造各种工件的材料强度，对工件的使用寿命有决定性的影响。强度的计算，即，确定零件在载荷作用下所产生的应力，这些在材料力学和弹性理论的教科书中均有阐述。但这两门课程都不是研究材料的真实性能，而只是解决抽象的弹性体性能的研究问题。为了解决计算时所求得的允许应力的安全性问题，必须知道所用材料的机械性能。

对金属机械强度的基本要求就在于：使各种构件和机械保证长期的无事故的工作，同时所有在静力作用下工作的零件不应有显著的塑性变形。但是工作时所产生的不显著的塑性变形能减小超应力，提高结构强度。

塑性变形的能力，即所谓“塑性”，是零件在消除变形力后其尺寸永久变化的特性。为了防止塑性变形的产生，机器设计师应当知道该种零件材料的允许应力值。这就必须要测定比例极限、弹性极限、屈服极限和其他等等机械性能，这些量值用实验方法来确定。

但为了正确地解决零件和构件必要强度的问题，在很多情况下只了解这些性能是远远不够的。例如，航空发动机制造业、涡轮制造业及其他工业部门每年都要采用一些较复杂的新机械，这些机构要在载荷高速增长下，在温度变动范围很大的条件下，在高压和超高压下工作。在长期静力作用下，在冲击和重复交变载荷作用下材料强度的计算，在现代具有决定性的意义。

在很多情况下发现，现代机器零件的损坏是由于金属疲劳影响所致，即，在多次重复加荷（特别是异向交变载荷）后所形成的裂纹的特征而引起的。

很多材料的相应于持久（疲劳）极限的应力低于零件在静力作用下所能承受的安全极限应力值。所以，对于在工作时承受千万次和亿万次载荷的零件，精确地掌握其材料的持久极限，对设计师和使用人员都是极其重要的。

零件在接近其材料再结晶温度下长期负载，也会过早遭到损坏。因此，设计长期负载并受热的结构，必须要知道其蠕变极限，即材料在长期负载和高温的条件下，产生一定数量的塑性变形时所承受的最大应力。

以上所述均证明，研究材料的机械性能，对于正确地判定零件或构件的允许应力是极其重要的。

计算时作为依据的机械性能的数据，在很大程度上取决于所采用的试验方法。如果不知道所采用的试验方法，就不能正确地判断材料的机械性能，同样也无法对各个试验室和不同人员所得出的机械性能的数据进行比较。

试验的条件、设备、试样的形状和尺寸、加荷速度及温度等等，对试验的最终结果

有极重要的，甚至是决定性的影响。所以很多科学研究部門都在研究制定和改进統一的合理的試驗方法問題。

2. 材料机械性能試驗的分类

試驗时所造成的材料的应力状态，应当尽可能的与零件或試样在使用时的条件相符。

根据这一原則，材料試驗按零件或試样在研究过程中承受的载荷形式来进行分类。主要的机械性能試驗有以下几种：

- 1) 拉伸、压缩、弯曲、扭轉和剪切的靜載試驗；
- 2) 冲击韌性的动載試驗；
- 3) 持久試驗；
- 4) 蠕变試驗。

此外，与試样的复杂应力状态有关的下列試驗在实验技术中具有很大意义：

- 1) 硬度試驗；
- 2) 磨損和微磨損試驗；
- 3) 工艺試驗。

靜載試驗是以对試样平稳地逐渐地加荷，直至其断裂为止来进行的。同时，藉試驗机的测力机构可以十分准确地测定出任何时刻內試样所承受的力值，以及可以用相应的仪器测量出試样的变形。

动載試驗就是对試样施加冲击载荷。因为确定作用在試样上的力值是很复杂的，所以，試驗結果只测定試样总变形功。

因为动載試驗的目的是为了表明材料的冲击韌性，所以采用带刻槽的試样以提高試驗方法的灵敏度。試样做成带刻槽状的，是为了产生其正应力远大于剪应力的体应力，由此而促进脆性断裂。

持久試驗是对試样施加多次重复的周期性交变载荷。

試驗过程中测定出极限周期应力，同样有时测定試样的溫度变化、功和变形量。用專門的計数器自动記錄下試样負載的周期数。

蠕变試驗是为了确定金属蠕变速度与溫度和应力之間的关系。

硬度試驗在大多数情况下，是为了評定試样和另件的表面或截面的抵抗塑性变形的能力。这些試驗广泛地应用于檢驗金属的热处理，以及按經驗公式把所得硬度值进行換算以确定出机械性能的基本特性。

磨損和微磨損試驗是测定材料表面經长期摩擦力作用后，其机械性能的变化，以及测定試样重量的損耗；进行該类試驗时一般采用比較法。

工艺試驗。即，为确定材料是否适合一定的工艺过程而进行的試驗。此类試驗一般不是为了确定出所加載荷的精确量值，而是尽快地确定出所試材料在质量上是否符合技术条件的要求。在計算結構强度时不采用工艺試驗結果的数据。

研究金屬時所做的此類試驗稱為工藝試驗；它們是為了查明金屬承受一定變形的能力，這種變形與在熱加工或冷加工過程中，或是在以後的使用條件下所能產生的變形相同。屬於工藝試驗的，例如：將金屬彎曲到給定的角度、將試樣在一定直徑的型胎上彎曲成兩邊平行或相接觸的形狀，金屬綫材的彎曲試驗以及所有管材的試驗等等。工藝試驗可以在試樣加熱和冷卻下進行。

上述的各種試驗型式未完全概括現有的實驗技術中所採用的全部方法，實驗技術是逐漸完善並逐步充實新的專門的試驗型式。

正如上面所述，只有按統一的試驗方法進行試驗，才能將所得的數據進行比較。在全蘇國家標準（ГОСТ）中規定了適應於試驗技術現時狀況的合理方法。

每個國家標準（ГОСТ）試驗法中不僅包括名詞術語的定義和試驗的規則，同時也詳盡地指明了試樣製備的程序及其形狀、尺寸和標號。在ГОСТ中載明了对試驗設備的基本要求，指出了試驗結果的處理方法，並列出了試驗的記錄格式。

至於試驗設備的檢定方法要按照蘇聯部長會議所屬標準量具與計器委員會所規定的一定要求進行。這些要求列於委員會頒布的規程中，在規程中同樣規定了被檢試驗機和試驗儀器的允許誤差標準。

後面將說明每種試驗應遵循的ГОСТ和蘇聯部長會議所屬標準量具與計器委員會的現行規程。

3. 測定材料機械性能的試驗機和試驗儀器的一般分類

在現代實驗技術中廣泛採用一系列種類繁多的，為測定材料機械性能（即機械試驗）的試驗機和試驗儀器。這些試驗機和試驗儀器按其用途、使用範圍、工作原理和結構特徵而有所區別。現代廣泛使用的試驗機和試驗儀器的型號品種可數以千計；所以，制定出包括一切品種的統一分類，將是一個極其龐大的系統。

試驗機和試驗儀器一般都按用途和使用範圍進行分類。至於按其工作原理和結構特性分類，則在研究各類試驗時的各節中予以說明。

按測定金屬機械性能的試驗機和試驗儀器的用途及其使用範圍，可分為以下幾類：

I. 靜載試驗機：

- 1) 標準試樣的拉力試驗機（拉斷試驗機）；
- 2) 壓力試驗機（壓力機）
- 3) 彎曲試驗機；
- 4) 拉力、壓力及彎曲試驗機（萬能試驗機）；
- 5) 扭轉試驗機；
- 6) 微試樣試驗機（載荷小於 100 公斤）；
- 7) 載荷大於 300 噸的（超載荷）試驗機；
- 8) 試樣處於複雜應力狀態下（拉力加扭力，壓力加扭力等等）的試驗機；
- 9) 用於成品工件和零件；如彈簧、板簧等的試驗機（專用試驗機）。

I. 冲击試驗机:

- 1) 落錘式冲击試驗机;
- 2) 摆錘式冲击試驗机;
- 3) 扭轉式冲击試驗机 (轉动試驗机)。

II. 硬度計:

- 1) 以鋼球压入的硬度計;
- 2) 以金剛石圓錐体压入的硬度計;
- 3) 以金剛石角錐体压入的硬度計;
- 4) 划痕硬度計;
- 5) 彈性回跳法硬度計;
- 6) 搖摆法硬度計;
- 7) 电磁硬度計。

IV. 重复交变載荷試驗机 (持久試驗机):

- 1) 弯曲旋轉疲劳試驗机;
- 2) 平面弯曲疲劳試驗机;
- 3) 拉压疲劳試驗机;
- 4) 扭轉疲劳試驗机;
- 5) 試样处于复杂应力状态的疲劳試驗机;
- 6) 重复冲击疲劳試驗机。

V. 长期試驗机:

- 1) 持久强度試驗机 (在試样加热和恒定載荷的条件下試驗);
- 2) 蠕变試驗机 (在試样加热和恒定載荷的条件下試驗);
- 3) 松弛試驗机 (在試样恒定变形的条件下試驗)。

VI. 磨損試驗机:

- 1) 双試样相互磨損試驗机;
- 2) 以高硬度合金盘磨損試样的試驗机。

VII. 測力仪器:

- 1) 基准測力装置;
- 2) 标准測力計 (机);
- 3) 拉力測力計;
- 4) 扭矩計。

VIII. 微量变形測量仪器:

- 1) 靜載延伸計;
- 2) 动載延伸計。

IX. 工艺試驗机和試驗仪器:

- 1) 試样外觀檢定仪 (工艺試驗);
- 2) 金属綫材扭轉試驗机;

3) 重复弯折試驗机;

4) 杯突試驗机和其他試驗机。

在現有的分类中未列出极限(名义)载荷值, 这些极限载荷值在各种試驗机的詳細分类中才考虑。因为这一特性对确定試驗机的使用范围是一极重要的指标, 所以, 当我们研究所采用的几种主要試驗机和試驗仪器时, 要列出这些数据。

非金屬材料的机械性能試驗机和試驗仪, 基本上也是按与金属材料試驗机相同的特征进行分类的。如测定特殊材料性能的专用試驗机和試驗仪, 另有单独的分类。

必須指出, 很多非金屬材料的机械性能試驗, 可以在金属材料試驗机上进行。

所有国内各工业部門成批生产的机械性能試驗机和試驗仪。必須經過标准量具与計器委员会的国家試驗。試驗結果, 經評定样品是合格的, 則允許在苏联生产和使用, 并列入国家仪器登記簿內。

批准生产的仪器說明书, 以及全部技术規格、仪器示值的检定程序和各部件的檢驗, 均应載入标准量具与計器委员会定期出版的《苏联允許使用的量具和計器》的汇编中。

II 金属拉伸和压缩的静载试验

1. 金属拉伸试验时所测定的基本特性

静载拉伸试验可以测定金属机械性能的下列基本特性:

- a) 试样承受的力值 (公斤), 或材料变形时承受的应力 (公斤/毫米²);
- b) 试样的弹性和塑性 (永久) 变形的绝对值 (毫米) 或相对值 (%);
- b) 试样变形时材料的全阻力功 (公斤-厘米) 或单位阻力功 (公斤-厘米/厘米³)。

在静载拉伸试验时, 试样在载荷平稳增加下发生变形, 直到断裂。同时, 在试验机所带的绘图器上自动画出作用在试样上的力和由此而引起的变形之间的函数关系曲线。

图1所示的是在试验退火软钢试样时所得的拉伸曲线图。纵坐标表示所加的载荷 P , 而横坐标则表示计算长度 L_0 的增加量或绝对伸长量 ΔL 。

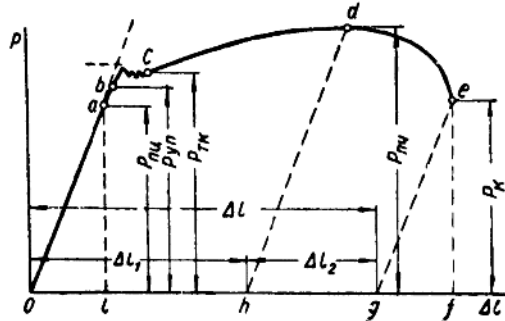


图1 退火软钢的拉伸曲线

由曲线图可看出, 从拉伸开始到达某点 a 以前, 载荷与变形的关系用直线 oa 表示。所以, 在这一直线段上, 试样的变形随着载荷的增加成比例地增大。这种关系叫做正比定律, 即: 在达到某一极限以前, 试样的变形与载荷或应力成正比。

用开始离开这个定律时的载荷来计算比例极限。

在正比定律未破坏时, 材料承受的最大应力叫做比例极限。

直线 oa 表示正比定律。正比定律失去作用的那一点 a 的纵坐标 P_{nu} , 用以计算比例极限。比例极限按下式计算:

$$\sigma_{nu} = \frac{P_{nu}}{F_0} \text{ 公斤/毫米}^2 \quad (1)$$

式中 F_0 —— 试样原有的横截面面积 (毫米²)。

由于不是所有金属的弹性变形都能精确地服从于正比定律, 所以, ГОСТ 1497—42 引用了规定比例极限的概念, 这个极限在试验时测定。

規定比例极限是一种应力，在这种应力下应力与变形之間偏离綫性关系所达到的值为：拉伸曲綫 $\sigma_{n\lambda} = f(\Delta L)$ 与应力軸綫 $\sigma_{n\lambda}$ 所形成的角的正切值比原角正切值增大50%。

在某些情况下，对于所試材料，用測定弹性极限来代替比例极限。

在卸荷后材料未产生塑性（永久）变形的特征而能承受的最大应力叫弹性极限。

弹性极限按下式計算：

$$\sigma_{yn} = \frac{P_{yn}}{F_0} \text{ 公斤/毫米}^2. \quad (2)$$

如在試样上逐漸增加載荷 P ，每次又重新卸荷到零，則在达到弹性极限前所观察到的变形都消除，即試样恢复到原来尺寸。但自纵坐标 P_{yn} 的某一点 b 开始出現塑性（永久）变形，这种变形即为达到弹性极限的特征。

弹性极限与正比定律无关，在拉伸曲綫图上 b 点可能高于和低于 a 点，或与 a 点重合。

比例极限和弹性极限間的差数的绝对值很小，所以对于一般加工的鋼材只測其中之一即可。

屈服极限。金属机械性能的一个极重要的特性是屈服极限（物理的），即在載荷未显著增加而試样就发生变形时的最小的应力。屈服极限按下式計算：

$$\sigma_{mk} = \frac{P_{mk}}{F_0} \text{ 公斤/毫米}^2. \quad (3)$$

当自动記錄拉伸曲綫时，屈服段曲綫呈锯齿形。

拉伸曲綫图上的屈服段与横坐标軸平行，因此，在載荷恒定下，試样的整个工作部分逐漸变形。这个水平綫段叫屈服台。

当通过屈服台时，計算长度的个别部分立刻（几乎是瞬时），产生显著的塑性变形（1—3%）。然后变形扩展到邻近的区域。在全长尚未产生塑性变形以前，在試样工作部分范围内，截面的变形仅仅为弹性变形。

但是并不是所有的金属在拉伸曲綫图上都有明显的屈服台。例如，軟鋼（經過正火的、退火的和軋制状态下的）以及某些有色金属具有这种屈服台。經過正火的軟鋼的屈服台最为明显。大晶粒的軟鋼、含碳量較高的鋼及大部分經過淬火和回火的合金鋼沒有这种台（图2）。

在后者的情况下，要測定規定屈服极限，即要測定試样获得的永久变形为原来計算长度的0.2%时的应力。規定屈服极限按下式計算：

$$\sigma_{0.2} = \frac{P_{0.2}}{F_0} \text{ 公斤/毫米}^2. \quad (4)$$

下面敘述在拉伸图上求出屈服极限（物理的和規定的）的方法，这个拉伸图是在試驗試样时从繪图器上得出的。而在69頁上列举了用橫杆指針式延伸計測定規定屈服极限 $\sigma_{0.2}$ 的例子。



图2 經热处理后鋼的拉伸曲綫

强度极限。从图1看出，在这一点 d ，拉伸曲綫达到了最大值。与試样承受的最大

載荷相應的應力，叫強度極限（規定的），並按下式計算：

$$\sigma_{ny} = \frac{P_{ny}}{F_0} \text{ 公斤/毫米}^2. \quad (5)$$

按此式算出來的強度極限（規定的）僅為近似值，因為當最大載荷時試樣的截面積小於原有的面積 F_0 ，所以在 d 點處的实际應力將大於 σ_{ny} 。

實際上利用公式 $\sigma_{ny} = \frac{P_{ny}}{F_0}$ 是由于在不斷的拉伸下測量試樣橫截面是極複雜的。對不同直徑的圓柱形試樣的 F_0 值列於表1（參看附錄）。

當產生細頸的試樣斷裂時，破裂載荷 P_k 的絕對值比與該種材料強度極限相應的載荷 P_{ny} 小，但是实际的應力 S_k （实际強度極限）總是大于 σ_{ny} ，因為实际的應力是按試樣破裂載荷 P_k 被破裂時的橫截面積 F_k 所除來計算的。由於試樣形成了細頸， F_k 的值顯著地小於試樣的原有橫截面積 F_0 。

所以，实际強度極限等於：

$$S_k = \frac{P_k}{F_k} \text{ 公斤/毫米}^2. \quad (6)$$

計算與比例極限、彈性極限、屈服極限及強度極限等相當的應力時，如這些極限大於30~40公斤/毫米²，其計算的精度到0.5公斤/毫米²。這時，小於0.25公斤/毫米²的小數捨去，而把等於和大于0.25公斤/毫米²的小數進為0.5公斤/毫米²。

利用附錄中的表2來計算試驗試樣時所得應力的數值是很方便的，表2中列舉了已經算好的常用的幾種圓截面試樣的應力值。

拉伸曲綫圖（圖1）上的綫段 og 相應於試樣的絕對永久變形 Δl 。這個永久變形是由試樣全部計算長度的均勻伸長度 Δl_1 （即進行測量的長度）和開始形成細頸後的集中伸長度 Δl_2 組成。

綫段 gf 表示試樣拉斷時的彈性（消除了的）變形。這一綫段是用從 e 點至橫坐標軸引垂綫的方法獲得的。

這種消除了的彈性變形，比起永久變形 Δl 來，是一個很小的數值，所以，綫段 oa ， hd 及 ge 的方向近似地垂直於橫坐標。

變形功。破裂前，試樣變形時力 P 的總功 A 按下式計算：

$$A = \int_0^{\Delta l} P d(\Delta l) = \int_0^l P dl. \quad (7)$$

式中的積分是以拉伸曲綫圖上的面積 $oabcdef$ 來確定的。

為了測定單位變形功 α ，即試樣工作部分單位體積的變形功的值，應該用試樣產生變形 Δl 的那一部分的體積 V 除值 A ：

$$\alpha = \frac{A}{V}. \quad (8)$$

值 α 按試樣單位體積的功的單位來測量，即具有應力的量綱。

延伸率是試样长度（断裂后）的增量对原长度的比。按下式計算：

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\% \quad (9)$$

式中 l_1 ——試样拉断后长度（毫米）；

l_0 ——試样計算（原来）长度（毫米）。

試样在計算长度內拉断的地点影响延伸率的值，如果在計算时不考虑此点，則同一材料試样的延伸率的值可能不同，而且，試样拉断的地方离試样长度的中点愈远，那末所得的延伸率也就愈小。

为了避免拉断点影响延伸率，在計算时把拉断点作为試样的中点。为了換算的方便和精确，在試驗前把試样在分划机上，順着試样軸綫标志出計算长度。根据試样的长度，每隔10或5毫米打冲眼或刻綫，所規定的換算法对均匀伸长較大的試样，即延伸率大于10%的試样是适用的。

測定延伸率的工作程序。为了測量試样拉断后的长度 l_1 ，將試样拉断的两部分尽可能紧密地接上。如在試驗扁試样后，把两部分接上，而在破裂的地方形成空隙，那末該空隙要計入試样拉断后的长度內。长度 l_1 按下述方法之一測定。

第一种方法。不考虑試样在計算长度范围内的拉断地点，只測量确定計算长度界限的两个极边的冲眼或刻綫之間的距离。这就是 l_1 。

第二种方法。試样拉断后的长度 l_1 与計算长度的中点有关。

例：設 l_0 含有 n 个分度（图3）。从拉断点向右取 $\frac{n}{2}$ 个分度，作一記号 a 。如果 $\frac{n}{2}$ 为小数，則进为整数。从拉断点到右边的第一条刻綫之間的分度部分，在計算分度数时取作整数。

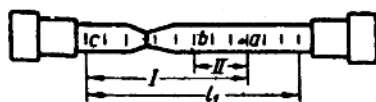


图3 拉断后，測定 l_1 的示意图

从記号 a 向左取若干分度数，使与从記号 a 到計算长度的右端所有分度数相同，做記号 b 。

l_1 的值为两段 ac 和 ab ($I + I$) 之和。在这个总数中的分度数总是应该与計算长度 l_0 內所有度数相同。

計算延伸率时，精确度要达到0.5%。同时，把小于0.25%的分数捨去，而把等于或大于0.25%的分数进为0.5%。

如果拉断是在离开試样头或夹紧地方的距离等于試样直径或寬度的两倍之处发生的，而且按第二种方法換算又得不出金属或工件技术条件所要求的最小延伸率，那末，这个試驗就认为无效并且要重做一次，因此，要从同一批材料或同一炉鋼中取新的試