

金属学与热处理手册

第一分册

試驗与研究方法

冶金工业出版社

Н.Т.Гудцова, М.Л.Бернштейна, А.Г.Рахштадта
МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА
МЕТОДЫ ИСПЫТАНИИ И ИССЛЕДОВАНИИ
Металлургиздат (Москва—1957)

金屬学与热处理手册 第一分册
試驗与研究方法

1961年2月第一版 1961年2月北京第一次印刷 12,050册

开本850×1168·1/32·字数360,000·印张14 $\frac{18}{32}$ ·插頁4·定价1.80元

統一書号15062·2288 冶金工业出版社印刷厂印

新华书店科技发行所发行 各地新华书店經售

冶金工业出版社出版(地址:北京市灯市口甲45号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第 093 号

75.073

155

102

金屬学与热处理手册

第一分冊

試驗与研究方法

H. T. 古 德 佐 夫

M. Л. 別 倫 施 捷 茵 主編

A. Г. 拉 赫 施 廸 特

何忠治 王建綱 譯

孙珍宝 校

冶金工业出版社

本書內容包括金屬與合金的研究試驗方法，鋼的結構和現代的狀態圖。根據各國最近的科學成就敘述鋼的熱處理，其中包括熱處理方法的分類，加熱與冷卻時的轉變、等溫轉變等。對蘇聯工廠廣泛採用的熱處理和表面化學熱處理分別作了研究。

書中列舉了各種鋼，特別是合金鋼的詳細特性數據。用了較多的篇幅介紹現代機械製造工業部門必需的具有特殊物理性能和化學性質的鋼與合金。闡述了熱處理的設備與工藝。詳細論述採用成套設備及建立流水作業綫時使用的進步的處理方法。

本書適合冶金和機械製造廠、實驗室、科學研究機關的工程技術人員和高等學校師生閱讀。

全書分十一篇，約有 126 萬字，是由幾個單位共同翻譯的。由於篇幅較大，而且譯者脫稿時間先後不一，不能同時合訂出版。為了及時滿足廣大讀者需要，本書中文譯本分十一冊出版。各分冊內容如下：

第一分冊——試驗與研究方法

第二分冊——鋼的結構

第三分冊——鋼的熱處理

第四分冊——半制品的結構、性能和熱處理

第五分冊——表面處理

第六分冊——建築鋼

第七分冊——機械製造鋼

第八分冊——工具鋼

第九分冊——特殊鋼與特殊合金

第十分冊——鑄鐵的成分與性能

第十一分冊——熱處理車間的設計原理與典型設備

參加翻譯本書的同志有：牟秋林，石鎮櫓，陳鑫鰲，歐陽可強，曹用濤，劉榮藻，王建綱，張信鈺，何開元，高樹旗，何忠治，鄧全生，廖子羣。

目 录

第一篇 試驗与研究方法

第 1 章 靜力試驗	7
1. 拉力試驗	8
2. 其他的靜力試驗	19
3. 硬度的測定	29
4. 持久靜力載荷下的机械性能	41
5. 各种不同机械性能之間的关系	42
第 2 章 金屬的动力試驗	45
1. 冲击試驗的方法和用途	45
2. 鋼在冲击載荷下的各种性能	51
第 3 章 磨損試驗的方法	56
1. 耐磨性——必須評定的材料性能	56
2. 机器使用条件下的磨損試驗	57
3. 实验室的磨損試驗	60
4. 磨損試驗机	61
第 4 章 疲劳試驗	69
第 5 章 残余应力的測定方法	83
1. 連續切环法	83
2. 同时切环法	86
3. 环切下和切断的方法	88
4. 鏟削法	92
5. 測定薄壁管中残余应力的H.H.达維堅柯夫法	96
6. 測定矩形截面的帶中应力的方法	98
7. 測定制件表面层中残余应力的方法	99
第 6 章 低温試驗	105
1. 冷脆現象	105
2. 关于各种因素对冷脆性的影响的重要实验数据	108
第 7 章 高温試驗	120

04763

1. 高溫拉伸試驗·····	124
2. 蠕變、松弛和持久強度試驗·····	131
3. 高溫扭轉試驗·····	150
4. 高溫彎曲試驗·····	154
5. 高溫疲勞試驗·····	157
6. 熱硬度的測定·····	163
第8章 宏觀及顯微分析·····	169
1. 宏觀分析·····	169
2. 顯微分析·····	172
第9章 定量金相·····	191
第10章 鋼中非金屬夾雜物的測定·····	197
1. 非金屬夾雜物的近代分析方法·····	197
2. 非金屬夾雜物的分析·····	198
第11章 鋼中碳化物相的分析·····	204
1. 碳鋼及低合金鋼中碳化物相的測定·····	204
2. 高速鋼中碳化物相的測定·····	206
3. 奧氏體鉻鎳鋼中碳化物相的測定·····	207
4. 高鉻鐵素體鋼中碳化物相的測定·····	207
5. 分化的碳化物分析·····	208
第12章 電子顯微分析·····	210
1. 電子顯微鏡的工作原理·····	210
2. 電子顯微鏡的直接研究法·····	212
3. 用模型方法間接研究金屬的組織·····	213
4. 二相合金的半直接研究·····	216
5. 研究方法及標本型式之選擇·····	223
6. 一般的實際問題·····	225
第13章 多晶體的X射綫結構分析·····	230
1. 結構晶体学概要·····	230
2. 多晶体X射綫結構分析的原理和方法·····	238
3. 晶面間距和單位晶胞大小(點陣常數)的確定·····	244
4. 點陣常數(面間距離)測定的精確度及其提高的方法·····	246
5. 主要應用範圍·····	249

6. 結構分析用的 X射綫管裝置和照像机	262
第14章 物理研究法	269
1. 热的研究方法	269
2. 合金的热容量及含热量的測定	271
3. 热傳导的測定	283
4. 密度的測定	287
5. 热膨胀法	291
6. 电阻的測定	295
7. 热电法	303
8. 磁的研究法	304
9. 測量誤差	325
第15章 光譜分析	331
第16章 金屬的 X射綫和 γ 射綫透照	344
1. X 射綫的本質及其主要性質	344
2. 透照的一般原理	351
3. 应用透照的基本范圍(領域)	362
4. 透照用的X射綫管和設備	366
5. 对 X射綫和 γ 射綫的防护和安全技术	369
第17章 金屬的物理檢驗方法(探伤法)	373
1. 磁性檢驗法	373
2. 荧光檢驗法	383
3. 超声波檢驗法	384
4. 电感法	391
5. 热电檢驗法	392
第18章 鋼的断口	396
1. 鑑定鋼的断口形狀的意义	396
2. 热处理对鋼的断口形狀的影响	398
3. 綫狀断口	402
4. 石板狀断口	403
5. 根据断口形狀鑑定工艺过程的缺点	404
第19章 鋼在可焊性方面的試驗	407
1. 材料的焊接及可焊性	407

2. 确定鋼可焊性应用最广的一些方法	411
第20章 質量的冶金檢驗	419
1. 檢驗的一般規定	419
2. 化学分析	421
3. 鋼錠、鋼坯、制成品的表面檢查	421
4. 鐵鍛試驗	423
5. 鋼錠收縮头部分的切除	424
6. 淬火的灵敏度	424
7. 鋼的宏觀組織	424
8. 髮裂缺陷的确定	432
9. 非金属夾杂	434
10. 晶粒長大的傾向	437
11. 鋼在加热时延展性的評定	437
12. 鋼的显微組織	440
13. 机械性能	463
14. 磁性及电的性質	463
15. 不銹鋼的晶間腐蝕	463
16. 内部缺陷的測定	463

第一篇 試驗与研究方法

第1章 靜力試驗

金屬在逐漸增長載荷的作用下，它的變形過程順序按其各个不同的阶段，可以区分为三类（圖1）：

- 1) 彈性變形：載荷去除之后，變形即行消失。
- 2) 彈性-塑性變形：載荷去除之后，同時發生彈性和塑性變形（開始時在个別的晶粒中局部發生的）。
- 3) 金屬的斷裂：裂紋形成（局部的開始），然後在最後物體分裂成兩部分。

根據載荷的條件（應力狀態、溫度、加速度、周圍介質的影響等的特性），同一金屬可分為脆性斷裂（有小的變形或者實際上沒有塑性變形）或塑性（韌性）斷裂（具有大量的塑性變形）。換句話說，金屬可處在脆性或塑性（韌性）狀態。

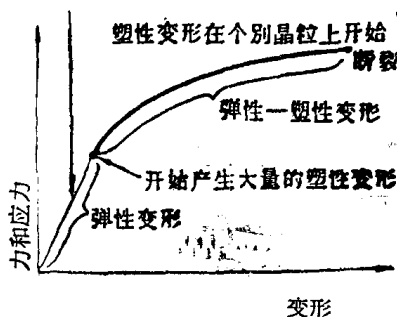


圖1 金屬變形過程圖

在靜載荷的作用下，金屬機械性能的測定是最老的和最普通的方法。

當金屬靜力試驗時可以測定：彈性；在應力下對開始微小塑性變形的抵抗性能；對大量塑性變形的抵抗性能；斷裂時的抵抗性能；塑性及靜力韌性的性能（單位內的變形大小）。

为了完全显示材料的机械性能，必須在各种不同的載荷方法下进行試驗，試驗的載荷（拉力、扭力、压力、弯曲力等）具有各种不同的最大切应力和張应力之比。这样切应力决定其塑性变形的可能，以及在其發展以后，借助于剪力而有可能發生断裂。張应力决定了借助于張力而产生脆性断裂的危險。从这种观点来看，在各种不同应力状态下的特征常常是以「剛性」系数来表示。

$$\alpha = \frac{t_{\text{макс}}}{S_{\text{макс}}^n},$$

式中

$t_{\text{макс}}$ ——最大切应力；

$S_{\text{макс}}^n$ ——表示最大彈性伸長时的最大張应力。 $S_{\text{макс}}^n = S_1 - \mu (S_2 + S_3)$ ， S_1 ， S_2 ， S_3 ——主眞应力， μ ——波桑常数，金屬常采用的为 0.25—0.3。

当靜力試驗时，通常不計試驗机运动部分的慣性力。

变形是用千分尺或游标卡尺来測定变形試样的尺寸，精密一些时則按照用夾在试样上的机械的或电学的延伸計来測定。

1. 拉力試驗

拉力試驗时的剛性系数为：

$$\alpha = \frac{t_{\text{макс}}}{S_{\text{макс}}^n} = 0.5.$$

当鑄鉄及鑄造的輕合金作拉力試驗时，是用「剛性」方法使其断裂，大多数退火的淬火的及回火的鋼以及很多形变的有色合金作拉力試驗时，是用一种相当的「軟性」方法（借助于剪力使其断裂的）。

簡單的应力状态（單軸向性）仅保持到頸变的形成（达到最大載荷之前）。

拉力試驗的机器和试样

拉力試驗时所用的拉力試驗机是由下列主要部分組成：

- 1) 試样載荷 (产生变形) 机构;
- 2) 拉力傳动和試样对准中心机构;
- 3) 測量拉力机构。

根据机器載荷的方法, 可以分为两种主要型式: 机械傳动机构 (机械的): 在这种机器上, 螺絲 (軸) 借助于与其联結的螺帽 (蝸輪, 齿輪) 的旋轉而轉动, 使其試样变形; 液力傳动机构 (液力的), 在这种机器上, 試样的变形由液压汽缸的活塞移动来实现。

在小的机器上最好用机械傳动, 大机器上适于用液力傳动。为了节约机器安裝的面积, 通常采用使試样軸在垂直的位置上的机器。

为了金屬学上的目的, 最常用机器的最大力为 2, 4, 5, 30 及 60 吨。

力是借助于夾头傳动到試样上, 为了减少載荷位置的偏心, 采用球形支座或者特殊的对准器 (аксиаторы)。

力可按下列方法測定: 移动載荷使力平衡 (用十进重量法来称量力的大小); 用摆杆使力平衡, 这是根据傾斜角的改变来測量力的大小; 借助于液压式测力器在特殊的压力計上指示出来。

当应用特殊的夾具——在大多数的拉力試驗机上裝有反向器时, 可以进行压力試驗, 有时也可进行弯曲試驗 (万能試驗机)。苏联所用的若干試驗机表示在下面的圖表中, 并加以說明。

帶机械傳动和槓杆測力机构的 4 吨 ИМ-4Р 型試驗机圖

(中央机器制造与工艺科学研究所) (圖 2)

被夾紧在夾头 6 和 7 上的試样, 是由电动机 1 經過傳动裝置 3, 使在軸承 4 內的直軸 2 向前移动而加力的。拉力的測定是按指針 15 摆錘 18 的位置在刻度 13 上表示出来, 指針和摆錘均联結于拉杆和槓杆 (12, 11, 9) (支座 10, 8) 系統, 拉杆則与夾头 7 相連。指針 15 上裝有鋼笔头的滑架, 沿刻度 13 上移动,

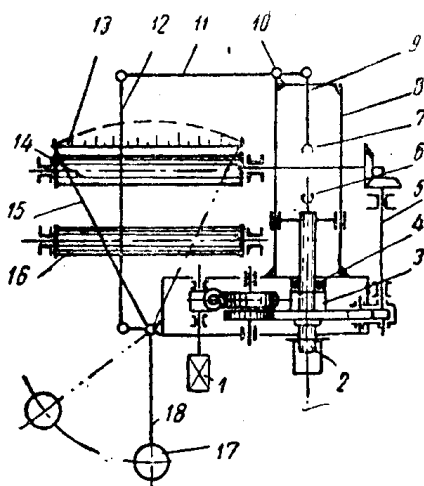


圖 2 ИМ-4Р型拉力機圖（中央機器製造與工藝科學研究所）

使夾緊在滾筒上的毫米格子上画出力來。滾筒14是經過傳動機構4得到角度的旋轉，它與試樣的伸長成正比。這樣在紙上画出縮尺的拉力曲綫：按照變形：1毫米=0.01毫米的試樣伸長，力：1公厘=10公斤（或5公斤）。試驗機根據放在擺錘(18)上重量(17)的大小而有兩種載荷4000公斤和2000公斤。

帶機械傳動和槓杆擺錘的測力機構的5噸万能試驗機圖(圖3)

手柄1(當用手搖加載荷時)或者電動機2(當機械加載荷時)轉動時，經過傳動系統，使連有夾頭4的螺桿帽移動，夾頭4的上下移動而使夾緊在夾頭4和5上的試樣拉伸或壓縮。

測力機構是經過夾頭5，而在拉杆12和擺錘7的槓杆系統表示出來，擺錘轉動角度經過齒條6和小齒輪而引起指針在刻度表8上的傾斜，刻度表上的分度是按各種不同的載荷而定。

為了自動記錄變形的曲綫，試驗機裝有鉛筆的繪圖裝置9，而齒條6的前後移動是與載荷成正比

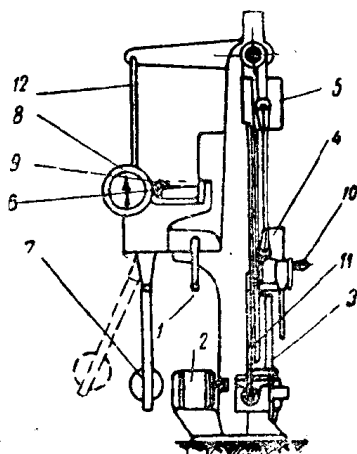


圖 3 5噸万能試驗機圖

的。

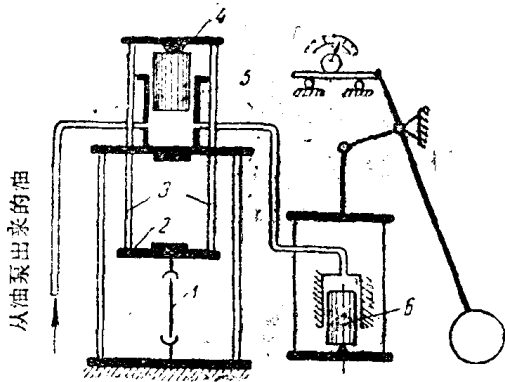
与传动机构相联系的繪圖滾筒的旋轉，是与試样的变形成正比的。

为了很快的裝置試样，旋轉手柄 10 可以很快的抬高或放下夾头 4。机械传动机构的变速箱，可以借助于槓杆 11 而換档。

改变載荷和摆錘臂 7，可以在 500，1000，2500，5000 公斤載荷下工作。

液力传动和測力机构的 50 吨万能試驗机圖（圖 4）

試样 1 的加载荷是由橫梁 2 的移动以加力到試样 1 上去，橫梁 2 联結于直杆 3 和橫梁 4 再与液压气缸 5 的活塞相連，在試样上力的大小是根据工作汽缸 5 的液压借助于由有活塞的液压气缸和重塊所組成的測功机 6 上来測定的。当載荷增加时引起油压的增加会使測力機構活塞的移动和摆錘的傾斜。力是按照刻度表上的均匀分度来計算的。



拉力試驗用的試样

圖 4 50吨万能試驗机的原理圖

是根据 ГОСТ-1997-42 采用圓柱形或者扁平試样(圖 5)，通常均采用圓柱形試样。常用試样的兩端做成試样的头部根据机器的夾头，决定試样头部的形狀和尺寸。对于良好的塑性材料有时采用沒有头部的試样，該試样是裝在有尖銳切紋夾头上的；对于試驗脆性材料（淬火未經回火的鋼、鑄鉄、硅酸鹽、水泥）試样的圓柱形部分和夾头的过渡部分应为平滑的，成較大弧度的圓角，通常采用的試样，在有效長度上完全不能帶有圓角的圓柱形部分。

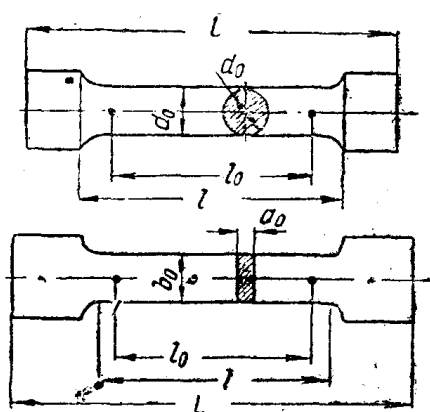


圖 5 拉力試驗的試樣

下列比例來決定：

$$\frac{l_0}{\sqrt{F_0}} = 11.3 \text{ (長試樣)}$$

$$\text{和} \quad \frac{l_0}{\sqrt{F_0}} = 5.65 \text{ (短試樣)}$$

式中 F_0 = 橫截面面積。

同樣也允許採用 l_0 和 F_0 其他比值的試樣。在表 1 中列舉圓柱形試樣尺寸的容許偏差。

圓柱形試樣有效（計算）長度的容許偏差

表 1

試 樣 直 徑 毫米	容 許 偏 差, 毫 米		
	直 徑	計 算 長 度	最大直徑和最小直徑之間的容許差
10以下	± 0.1	± 0.1	± 0.02
大于10	± 0.2	± 0.2	± 0.05

在長方形截面的扁平試樣，寬度的標準尺寸的容許偏差為 ± 0.5 毫米，有效長度的變動不應超過 ± 0.1 毫米。

試樣切取的部位應根據標準或技術條件規定的。

標準試樣具有橫截面面積 3.4 毫米² ($d=20$ 毫米)。在試樣上的計算長度 l_0 為 200 毫米 (長試樣 $\frac{l_0}{d_0}=10$) 或者 100 毫米 (短試樣 $\frac{l_0}{d_0}=5$)。其他尺寸的試樣可按比例計算，如果幾何形狀相似的試樣，其計算長度應按

拉伸时的变形曲线圖

力和变形之间的关系是可以利用試驗机的繪圖裝置描繪出「拉力 P -試样的絕對長度 Δl 」的曲綫。圖 6 所示为标准的拉伸曲綫圖。

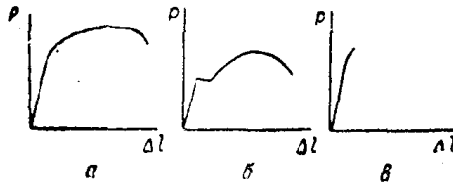


圖 6. 拉伸曲綫圖

- a—大多數金屬的塑性狀態，自彈性區域逐漸过渡到塑性區域的圖解（合金鋼、銅、青銅）
- б—若干金屬的塑性狀態，突變式过渡到塑性區域，屈服点呈齿形或「平台形」的圖解（軟鋼、β-黃銅、若干退火的錳青銅和鋁青銅）
- в—金屬拉伸時呈脆性狀態的圖解（淬火和低温回火鋼、鑄鐵、硅鋁明）

材料的單位机械性能与試样的尺寸無關，要求得某一材料的單位机械性能，可在座标上繪制「拉应力 σ -伸長率 ε 」的拉伸变形曲綫圖。

$$\sigma = \frac{P}{F_0}$$

式中 P ——拉力， F_0 ——試驗前的橫截面面积。

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

式中 Δl ——試样的絕對伸長， l_0 ——試样在試驗前的計算長度。

σ - ε 圖和 P - Δl 圖仅有比例上的不同，因此常常在收付試驗（приемосдаточный испытание）时机械性能的特征用 P - Δl 第一类圖来表示（圖 7）。

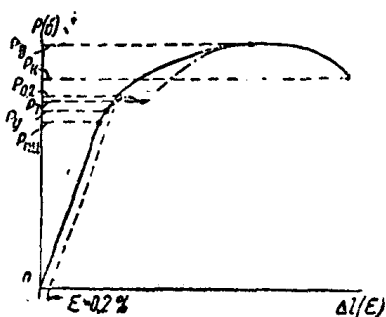


圖 7 拉伸圖的特性区和点。在圖中兼有逐漸或者突然过渡到塑性区域的圖解

当在彈性区域加载荷时，材料的伸長率与其对应的載荷之間成正比例（圖 7 上 OP_{nu} 部份），縱彈性模数（第一类模数或楊氏模数）是其主要的特性。

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{P \cdot l_0}{F_0 \cdot \Delta l} \text{ 公斤/毫米}^2.$$

当自彈性区域过渡到塑性区域时所發生的起初(小的)①

塑性变形的抗力以及在圖上所表示的直線关系的偏斜部分上的抗力，用下列数值表示之。

1. **比例極限 σ_{nu}** ——假定应力，它相当于变形曲線上直線行程偏差时的应力（根据虎克定律）。偏差值規定有一定的容差（例如：当自直線部份过渡到曲線时其变形曲線与应力軸傾向所成角度的正切角增加为 20—50%）。

$$\sigma_{nu} = \frac{P_{nu}}{F_0}$$

式中 P_{nu} ——比例極限时的載荷。

2. **彈性極限 σ_y** ——假定应力，它相当于呈現規定的一定数值殘余变形（0.001%，0.003%，0.005%）时的应力。

σ_y 的指数（例如： $\sigma_{0.005}$ ）表示殘余变形的容差。

$$\sigma_y = \frac{P_y}{F_0}$$

式中 P_y ——彈性極限时的載荷。

3. **屈服点(物理的)**——假定应力，它相当于載荷不增加而發生試样变形时，在屈服「平台」上最小載荷下的应力。

① 这里所指的是宏观变形，在个别晶粒中开始显微塑性变形要比它早得多。

$$\sigma_r = \frac{P_r}{F_0}$$

式中 P_r ——屈服点的載荷。

4. 屈服点(标准的) $\sigma_{0.2}$ ——假定应力, 它相当于在变形圖上沒有«平台»屈服或«齒形»屈服的材料, 殘余变形用达到 0.2% 值来測定的应力。

$$\sigma_{0.2} = \frac{P_{0.2}}{F_0}$$

式中 $P_{0.2}$ ——条件屈服点的載荷。

5. 塑性材料在最大塑性变形时的抗力用强度極限(瞬时抗力) σ_B 来表示。 σ_B ——假定应力, 它相当于試样經受最大載荷时的应力。

$$\sigma_B = \frac{P_B}{F_0}$$

式中 P_B ——实际上与塑性材料制成的試样开始形成頸变时, 同时發生的达到的最大載荷 (在試样全部有效長度上的均匀变形改变到在一定截面上的集中变形)。

金屬的塑性用下列数值表示之。

1. 相对伸長 δ ——試样在断裂后長度的增長与最初的計算長度之比。

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100\%$$

式中 l ——試样断裂后計算長度的長度。

δ (δ_5, δ_{10}) 的指数表示試驗的試样倍数 ($\frac{l_0}{d_0}$ 之比)。

2. 相对縮減 ψ ——試样橫截面的最大縮減 (断裂处) 对橫截面原始面积之比。

$$\psi = \frac{F_0 - F_K}{F_0} \times 100$$

式中 F_K ——試样断裂处的橫截面面积。