

鋼的热处理工艺学

索科洛夫著



机械工业出版社

鋼的熱處理工藝學

索科洛夫著

叶銳曾、朱海芹、許庆芳譯

崔崑校



機械工業出版社

1959

出版者的話

本書共分四篇。在第一篇中簡要地敘述了機器零件的結構強度問題，指出了提高合金結構鋼強度的方法；介紹了合金化的原理和碳鋼與合金鋼熱處理的特點及其性能。在第二篇中介紹了各種具有特殊物理性能的鋼和合金的成分及其熱處理規範。第三、第四篇敘述了各種半成品、零件及工具的現代熱處理工藝、所使用的設備以及熱處理車間、工部的平面布置。

本書將鋼的合金理論、熱處理工藝、設備的選擇和平面布置綜合地進行了分析和說明。書內還引入了許多有參考價值的數據和圖表。

本書可供工程技術人員參考，也可作為高等學校熱處理專業的教學參考書。

蘇聯 K. H. Соколов 著 ‘Технология термической обработки стали’ (Машгиз 1954 年第一版)

*

*

*

NO. 2937

1959 年 6 月第一版 1959 年 6 月第一版第一次印刷

787×1092¹/₂₅ 字數 218 千字 印張 11 00,001—15,100 冊

機械工業出版社(北京阜成門外百萬莊)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 號 定價 (11) 1.70 元

目 次

前言	7
緒言	9

第一篇 結構鋼

第一章 零件的結構強度	10
1. 按機械性能評定零件的結構強度	10
2. 提高結構合金強度的一般途徑	25
第二章 合金化——提高結構鋼性能的主要方法	27
1. 碳鋼的缺點	27
2. 用合金元素強化鐵素體	31
用溶解於鐵素體的合金元素強化鐵素體	31
用金屬間化合物強化鐵素體	37
用碳化物強化鐵素體	39
3. 在淬火和回火鋼中合金元素的作用	42
淬火鋼的性能	42
淬火和回火後合金鋼的性能	44
4. 奧氏體的直接分解是一種提高結構鋼性能的方法	53
在第三階段區域內等溫轉變的特點	59
等溫操作實際所採用的介質	60
在連續冷卻過程中合金元素的影响	61
5. 結構鋼的淬透性和性能	64
6. 高強度合金結構鋼	67
調質合金結構鋼	67
進行化學熱處理的結構鋼	70
尋找結構合金鋼代用品的途徑	71
7. 結構鋼的成分	74
第三章 合金結構鋼的組織形成及熱處理的特點	75
1. 合金結構鋼預先熱處理的特點	83
2. 合金結構鋼淬火及回火的特點	90
3. 合金滲碳鋼熱處理的特點	91
4. 由結晶及熱處理過程所引起的合金鋼的缺陷	95

树枝状偏析	95
白点	96
萁状断口及石状断口	99
層板状断口	101
鋼的表面脫碳	101

第二篇 具有特殊物理性能的鋼及合金

第一章 具有特殊化学性能及机械性能的鋼	102
1 不銹鋼及耐酸鋼	102
2 高温抗氧鋼及耐热鋼	111
3 耐磨鋼	119
第二章 具有特殊电学性能的鋼及合金	120
第三章 具有特殊磁性的鋼及合金	124
1 做永久磁鉄用的硬磁合金	124
2 軟磁合金	129
3 用于弱磁場的軟磁合金	132
4 非磁性鋼及鑄鉄	133
第四章 具有特殊膨脹系数的合金	133

第三篇 半成品及零件的热处理工艺

第一章 鋼錠热处理	136
1 热处理的目的及所采用的操作过程	136
2 主要設備及平面布置	137
3 优質鋼生产时的熔煉檢驗	138
第二章 型鋼的热处理	140
1 热处理的目的及所采用的操作规范	140
2 主要設備及平面布置	142
第三章 鉄路用金屬的热处理	148
1 鋼軌	148
技术条件及材料	148
热处理及典型設備	149
工艺过程及热处理工部平面布置的选择	153

2- 輪箍及整軋車輪	155
第四章 鋼板的热处理	158
1 厚鋼板	158
用途、采用的材料及处理	158
主要設備及平面布置	161
2 薄鋼板及鋼帶	162
用途、应用的材料及处理	162
主要設備及平面布置	165
第五章 鋼管的热处理	169
1 材料及热处理	169
2 主要設備及平面布置	171
第六章 鋼絲及冷軋鋼帶的热处理	173
1 用途、采用的规范及設備	173
2 鋼絲热处理車間的平面布置	180
3 冷軋鋼帶的热处理	181
第七章 大型鍛件的热处理	183
1 大型鍛件用的鋼材	184
2 大型鍛件的热处理	185
3 設備及平面布置	193
第八章 大量生产的机械制造工厂中的热处理	196
1 机械制造工厂中的主要工艺过程	197
曲軸的热处理	197
凸輪軸的热处理	202
齒輪的热处理	203
閥的热处理	204
套筒的热处理	205
2 設備及平面布置	205

第四篇 工具鋼及合金

第一章 刀具工具鋼及合金	218
1 碳鋼及低合金鋼	218

6		
2	高合金鋼	223
3	高速鋼	227
4	硬質合金	235
5	弥散硬化的鉄合金	238
第二章	冲模工具鋼	239
1	冷变形用的冲模	240
2	冲切工具	244
3	拉拔工具	245
4	热变形用的冲模	245
5	冲模寿命的提高	253
6	用做冲模材料的鑄鉄	254
7	用做冲模材料的石墨化鋼	255
8	冲模的焊补	255
第三章	校准-測量工具用鋼	256
1	量規的表面处理	257
2	制造量規用的变形小的鋼	258
第四章	推荐采用的各种工具用鋼及合金的牌号	260
	金屬加工用的刀具	260
	木材刀具	261
	特殊用途的刀具	261
	金屬冲切刀具	261
	冲模工具	261
	校准-測量工具	262
	校准刀具	262
第五章	工具車間内热处理工部的平面布置	262
1	主要設備和个别設備組的平面布置	262
第六章	滾珠軸承鋼	268
1	滾珠軸承零件的热处理工艺	268
2	冷軋軋輥	271
結束語		273

前 言

热处理在现代机器制造业和冶金工厂半成品生产中有着极其重要的意义。适当地选择钢种及热处理规范能决定半成品及零件的性能，还能决定各种机器、结构及工具的使用寿命及可靠程度。因此，对钢种成分及热处理工艺的选择，应该特别重视。

苏联共产党第十九次代表大会对第五个五年计划的决议规定：在采用先进技术及先进生产组织方法的基础上要进一步提高冶金、机器制造、仪器制造及其它工业部门的生产。

苏联科学家、工程师及工人-革新者的共同努力，制订了若干非常完善的、新的有效的热处理工艺过程（气体渗碳、高温氰化、高频率表面淬火、电介质中加热、等温退火、冷处理等等）。但是对于先进热处理车间及生产革新者的工作经验总结得还不够。在技术文献中对碳钢及合金钢热处理过程的讨论往往与零件、零件工作条件、技术要求及国家标准脱离开来。

作者试图在本书中探讨从零件及结构的工作条件出发来选择钢种成分及热处理工艺。书中还讨论了在一系列生产中现行热处理过程的实际情况，其中包括为进行热处理过程所必需的设备及其在车间内的大致的位置（平面布置）。

本书第一篇是讲述关于结构钢的热处理，它是与合金化问题和提高零件结构强度的热处理方法一起来讨论的。本篇还简要地探讨了机械性能试验的现代方法，这些方法可以得出关于零件的各种工作条件的概念。

在第二篇中简要地叙述了具有特殊物理性能的钢及合金（不锈钢、耐热钢、高温抗氧钢、磁钢、非磁钢及其它钢种）的成分及其热处理规范。

第三篇讨论了由结构钢制成的半成品及零件的热处理工艺过程；引述了简要的工艺过程，推荐使用的设备及平面布置。

最后，在本書第四篇中引述了对主要各类工具的鋼号及其热处理基本工艺的选择。

由于作者所面对的題目很大，因此，某些热处理工艺問題，在書中沒有获得应有的闡述或者闡述得很不够，是完全可能的。作者对把批評性的意見寄往出版社的讀者，将致以深切的謝意，以便本書再版时把讀者意見考虑进去。

作 者

緒 言

在選擇鋼號及熱處理工藝過程時，总是以零件圖紙上所指出的製造方法，以及設計師對於零件使用條件的要求為根據。在零件的圖紙上便包括了設計師的簡明要求，而詳細的要求則在專門的技術條件中有記載。

但是，第一個向零件提出要求，並且是必須執行的文件，便是全蘇國家標準（簡稱國家標準）。零件供應時的技術條件，無論如何不應與國家標準相抵觸，而只能在考慮該廠生產特點的情況下做到使某些個別部分的要求更加明確。工廠的工程技術領導者，對生產出的非標準及不合格產品和零件的低劣質量，要負個人責任。

對於金屬零件的要求，可能是各種各樣的。根據這些要求，可將所有的金屬零件分為三大類：

第一類，包括要求具有一定機械性能的機器零件及結構的某些部件，製造這類零件的材料採用結構鋼。

第二類，包括主要要求必須具有特殊的物理性能的機器和結構的某些部件，例如要求有：特殊的磁性、特殊的電學性能、高的抗腐蝕性、耐熱強度、高溫抗氧性、特殊的膨脹系數等。對於這類零件，除了要求具有特殊的物理性能以外，經常還要求具有一定水平的機械性能。因此製造這類零件採用結構鋼，而特殊的物理性能可通過加入合金元素使其組織發生變化的方法來獲得。

第三類，包括能使零件具有所需要的形狀或用來測量零件尺寸的各种工具。零件獲得各種形狀，可以通過切削（切削工具）或者塑性變形（沖壓及拉絲工具、軋輥等）的方法來實現。製造這類零件採用工具鋼。它們工作條件的特征是硬度高、耐磨，而某些工具還必須具備熱硬性（在較高溫度時能保持硬度）。

第一篇 結構鋼

選擇結構鋼的成分，或者換句話說，選擇鋼號，要根據所要求的機械性能。根據零件使用條件的不同，不同的機械性能的特性，都可能成為選擇鋼號時的決定性因素。

在實驗室試驗試樣的條件下，要完全創造真實零件在工作時所固有的複雜應力狀態是非常困難的。最可靠的方法是零件「實物試驗」，使試驗接近於零件的實際工作條件。但是這種試驗的費用高，並且只能解決部分問題，同時稍為改變一下零件和結構等的負荷方法、溫度條件、尺寸等因素，就會與使用中零件的工作條件有很大偏差。因此，在選擇試樣機械試驗時，必須：1) 能足夠可靠地確定在使用時承受負荷情況下的金屬狀況，從而使設計師有可能預先評定零件最重要的使用性能。2) 能檢查零件材料所得到的質量，也就是說，檢查該批零件是否符合該種鋼號材料，在規定加工條件下所應具有的標準性能。

確定試樣機械性能與零件工作時使用性能之間的关系，最好的方法之一，是利用數學統計學。當將大量的試驗結果與零件的工藝性能及使用性能作比較時，首先必須將這些結果用統計的方法整理出來。進行這種整理時要分析上述聯系的物理本質，這樣，這類整理就可以得出最合理的機械性能特性，以便將它們納入技術條件及國家標準。

第一章 零件的結構強度

1 按機械性能評定零件的結構強度

經驗證明，很少能在從試樣上測定的機械性能特性，與零件（在廣大範圍內能包括許多種生產情況及負荷方法的）使用條件之間找到

紧密的关系。为了易于评定结构强度和各種机械性能特性要求使零件工作条件多样化。根据作用负荷的特点，机械试验首先应该分为：1) 常温时的静力试验或高温时的持久静力试验；2) 各种温度时的冲击动力试验；3) 常温时的重复定向负荷或重复变向负荷试验。

静力试验包括：拉伸试验、压缩试验、扭转试验、静力弯曲试验及蠕变试验。

技术条件中最常见的强度特性是以平滑试样静力拉伸时所得到的假定应力 σ_b 、 σ_s 、 σ_p 、 σ_e (公斤/公厘²) 来表示的(图1)。

弹性极限 σ_e (点 a)、比例极限 σ_p (点 b)、屈服极限 σ_s (点 c) 表示小量塑性变形的抗力，并可将其们看作残余变形量不大时原来截面上的假定应力。当没有屈服区 σ_s 时， σ_s 可采用 0.2% 残余变形 (与原来计算长度相比)，而 σ_e 经常采用 0.005%。

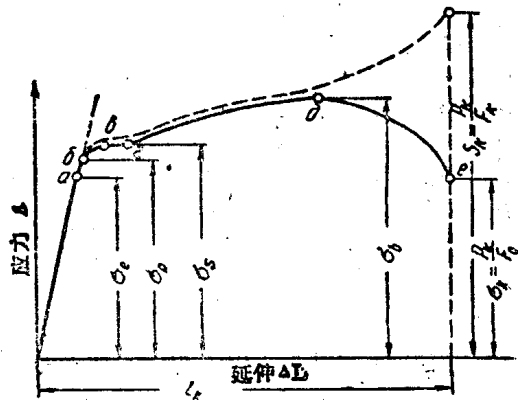


图1 軟鋼拉伸試驗圖：

实线表示假定应力的曲线；虚线表示真实应力的曲线。

强度极限 σ_b 表示大量塑性变形的抗力，可将其看作试样断裂前最大负荷 (点 d) 时的假定应力。

拉伸时材料的塑性由延伸率 $\delta_{10}\%$ 及横断面上的面积相对收缩率 $\psi\%$ 决定。

断裂处的最大变形值用断面收缩评定，而试样整个工作部分的形变用延伸评定。

相对延伸率的大小决定于试样的尺寸，它随着试样的计算长度与其直径的比值的增加而减少，因此，表示相对延伸率时，用指标指明试样的倍数，即试样的计算长度与直径的比值。

拉伸试验用的试样形状及尺寸由国家标准 1492-42 规定。

当塑性变形很大而形成缩颈及变形局限在试样长度上很狭的区域

内时，假定应力的图表不能反映在负荷情况下金属的状况。因此，最近广泛地利用了真实应力图表，这时负荷是对每一该时刻的试样断面而言的。真实应力一直增长到试样断裂为止，而断裂就用最后真实正应力 s_k 来标志。

以 [真实应力——真实延伸] 座标表示的应力图，可粗略地看成由两条直线组成(图2)：第一条直线到屈服极限 σ_s 为止，它有倾斜度，倾斜角的正切等于弹性模数 E ；第二条由 σ_s 到 s_k ，其倾斜角度的正切等于塑性模数 D 。如果忽略弹性变形(由于其值很小)，那末塑性 e 及静力断裂的单位功 a 可通过主要的机械性能特性表示出来：

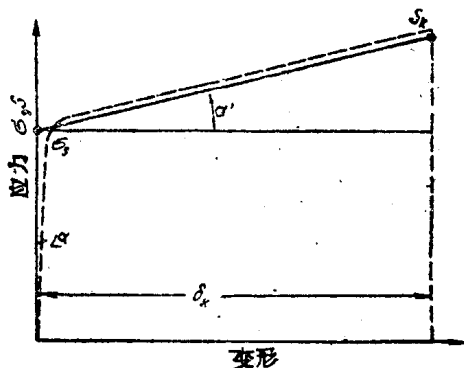


圖 2 真實应力圖。

$$e = \frac{s_k - \sigma_s}{D} \quad \text{及} \quad a = \frac{s_k^2 - \sigma_s^2}{2D}。$$

其它条件相同时，材料的塑性及静力韧性随着 s_k 的上升及 σ_s 与 D 的下降而增加。

决定结构元件稳定性及残留变形存在与否的最重要的强度特性是屈服极限及弹性极限。它们对于不允许产生很大塑性变形的零件(系紧螺栓、双端螺栓、卷弹簧、板弹簧、专用轴、板状链带等)更为重要。屈服极限值在计算强度时经常用来确定允许应力的大小。屈服极限对有切口的试样同样有意义，它可以确定应力再分配的起点。

但是在某些结构中，对于材料的工作有意义的是断裂抗力，因为这些结构损坏与零件断裂有关，而强度计算(包括在航空技术中)通常是以[断裂]为基准的。假定强度极限 σ_b ，仅在拉伸时脆性断裂情况下能决定材料断裂抗力的性质。采用其它负荷方法时，如弯曲、扭转、拉伸时的韧性断裂、应力集中时的断裂瞬间决定于真实强度极限 s_k 。

零件的真实强度及断裂性质在极大程度上决定于折断抗力 $s_{\sigma 0}$ 。

折断抗力 s_{OT} 意味着没有塑性变形时的断裂应力。折断抗力 s_{OT} 很少随温度及变形速度而改变，而塑性变形抗力——屈服极限 σ_s ，一般来说，随温度的降低及负荷速度的增加而增高。圖3是約菲(A. Ф. Иоффе)的簡圖，它指出了温度及变形速度对折断抗力 s_{OT} 及以屈服极限 σ_s 表示的塑性变形抗力的影响。

簡圖指出，高温时（或变形速度小时）屈服极限大大低于折断抗力，这时材料是塑性的。温度降低时（或变形速度提高时）剪切抗力就剧烈增长，这时金属可以在正应力作用下发生脆性断裂。折断抗力是钢的非常重要的机械性能特性：高的折断抗力可降低脆性断裂，而提高材料的总的结构强度。因此，提高结构强度这一重要而又困难的任务，就在于既要得到高的屈服极限，同时又要得到高的折断抗力。

试样试验时断口的形状有着特殊意义。只有在零件与试样断口形状相同的条件下，机械试验才能反映出零件断裂的真正性质。真实零件总有应力集中的地方，如切口、断面遽然过渡处及局部应力处，因此，平滑试样静力试验时所得到的高的强度性能，常常不能反映真实零件工作时的应力状态。

苏联学者们证明：钢的强度极限的提高必须限制在一定的水平上，如超过此水平，由于零件对切口的灵敏度提高，便失去了强化的效用。因此曾制订了若干带有切口及歪斜度的平滑试样的试验方法，以便测定[切口灵敏度]的数值。由于在切口上存在着横向拉伸应力，高强度钢的切口试样的断裂，可能是脆性的。真实的强度极限随切口

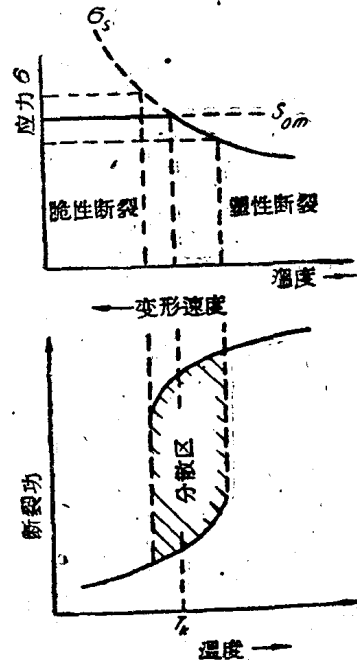


圖3 温度及变形速度对折断抗力 s_{OT} 、屈服极限 σ_s 及断裂功的影响（約菲）。

的剛性程度与歪斜度的增加而减少。

对直径不小于 20 公厘，有着 90° 的环形槽的（槽深 2 公厘，圆角半径为 0.1 公厘）切口试样（切口大小为 36%），其静力弯曲试验在切口灵敏度方面能给出良好的结果。弯曲时的不均匀的应力状态增加了对缺口的灵敏度。材料对缺口的灵敏度间接地表示了較低的脆性强度值。对于韧性材料来说，切口试样的公称强度甚至还能提高，因为在试验时切口能促使应力减弱，并使应力比较均匀地分布。

烏齐克 (Г. В. Ужик) 利用切口试样来直接测定折断抗力的企图未获成功。对塑性材料来说，切口试样在室温下试验时，断面在很大程度上呈韧性，而断裂则在剪切裂纹处开始。

因此目前只有将冷脆材料的平滑试样在低温进行拉伸试验才能确实可靠地测出折断抗力。

韧性材料（奥氏体钢、面心立方晶格的有色金属、大多数结构钢），就是在液态氮的温度下 (-196°C) 也不能产生脆性断裂。因此测定这种材料的折断抗力的可靠方法尚没有。聶姆茨斯基 (А. Л. Немчинский) 提供了一种在平滑试样上测定折断抗力的特殊方法，这种方法是将试样与另一种屈服极限高于该试样折断抗力的材料牢固地焊接起来，使试样的塑性变形发生严重的困难。试验是在直径 15 公厘的试样上进行的，试样材料放在厚度为 1.5 公厘的中心夹层。试验结果良好：试样的断口得到了完全没有塑性变形痕迹的晶体结构。

若干研究者建议采用周围支持着的圆盘（直径 55 公厘，厚度不小于 6 公厘）在 -196°C 进行圆形弯曲试验来测定折断抗力。

材料的高塑性 (δ , ψ) 有着巨大的意义，它是决定材料在零件使用及安装上承受超负荷能力的特性。塑性高时，能使局部超负荷进行平衡。塑性低时，对此不均匀性的平衡过程则无能为力，因此当负荷大大低于真实断裂抗力时，甚至高强度试样也会发生断裂。

静力拉伸试验时测定材料塑性最可靠的特性是断面面积收缩率，它同样与试样的尺寸无关。当假定强度极限 σ_b 相同时，面积收缩率就间接地表示出真实强度极限的大小。为了评定有着应力集中处的真实零件在使用时的塑性，重要的将不是平滑试样的塑性，而是切口试

样的塑性——切口处的塑性。切口处的塑性愈大，对真实零件的歪斜度及切口的灵敏度就愈小。切口试样静力拉伸试验时断面面积收缩率的测定工作常常可以代替冲击试验，因为在大多数情况下，切口处塑性改变的方向与冲击功相同。由于静力弯曲时负荷的刚性较大，结构塑性用静力弯曲时所测得的切口处的塑性能更好地标志出来。

许多研究者都指出，在材料的技术条件中加入塑性特性是合理的，塑性特性能衡量拉伸时的均匀变形（均匀的面积收缩率 $\psi_{\text{均}}$ ）。回火时 $\psi_{\text{均}}$ 的改变与冲击韧性的变化有着密切的联系， $\psi_{\text{均}}$ 的改变表示了静力试验及疲劳试验时的切口灵敏度，显示了材料承受冷冲压的能力。

延伸率 δ_{10} 只有在某些个别条件下才能表示材料的塑性，例如，当断面均匀的长物体（管子、板材）进行静力拉伸时就是一例。

平滑试样的扭转试验可以作为一种合理的试验方法加以推荐。

扭转时的负荷没有拉伸时那样激烈。拉伸试验时，脆性材料在扭转中却产生了大量的塑性变形。扭转时的最大正应力等于最大切应力，而当拉深、压缩及弯曲时最大正应力却是切应力的两倍。

根据试样扭转后的断口形状，很容易确定断裂的特点：与试样轴线相垂直的断口表示韧性断裂，45°螺旋线状的断口表示脆性断裂。

扭转试验时，可以很明显地看出金属的不均匀性，因为扭转是在抗力最小的地方最先产生的。由于扭转时没有缩颈，因此可以测定真实应力。当用座标法建立扭转图[最大切应力——最大位移角]时，得到了扭转图与拉伸图相符合的情况，即综合的形变图。最大的相对位移是塑性可靠的指标。扭转时的最大应力必须根据鲁德维克（Лудвик）——卡尔曼（Карман）——纳达（Надай）的公式来计算。

当研究拉伸时塑性很低的材料的性能时，静力弯曲试验获得了应用，因为塑性低的材料对切口及歪斜度具有高的灵敏度。属于这种低塑性材料的有：工具钢、渗碳钢及表面淬火钢、铸铁、铝合金及镁合金、硬质合金及超硬质合金等。

应当再一次指出，塑性与强度的大小以及断裂的特点对许多金属及合金来说，都取决于负荷的方法。例如：淬火钢在采用所有的普通

試驗方法时，是非塑性材料。但是將試樣裝在軟質材料制成的圓柱形厚套筒中進行壓縮試驗时，格羅靜（Б. Д. Грозин）確定出高碳淬火鋼具有很大的塑性。採用這種試驗方法时，負荷與試樣和套筒的頂端相接觸，此時試樣在四面不均勻壓縮的條件下處於三向受力狀態（圖4）。實驗證明，採用這種負荷方法时經過400~500公斤/公厘²

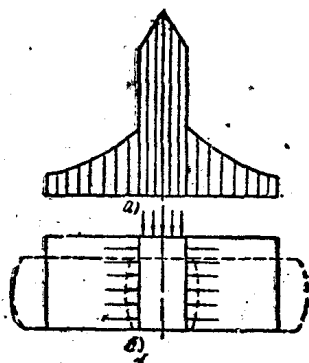


圖4 試樣在套筒中進行壓縮試驗时壓力的分布（a）及試驗的簡圖（b）（格羅靜）。

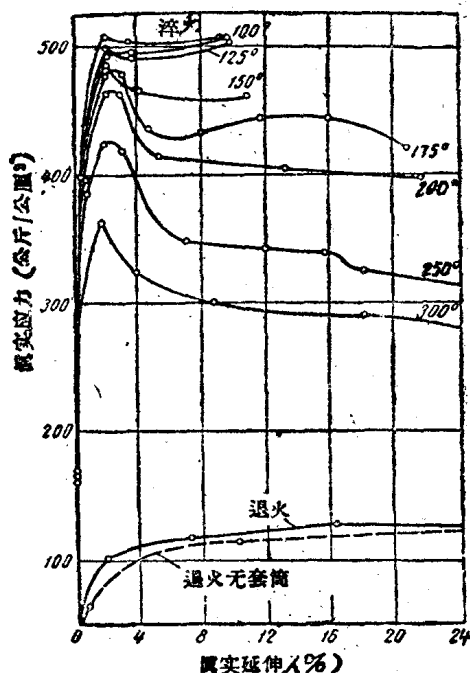


圖5 Y12號鋼制成的試樣在套筒中進行壓縮試驗的圖表：

淬火後無回火的；淬火後進行100~300°C低溫回火的；退火後的（格羅靜）。

軸向壓縮的硬質淬火鋼（Y8、Y10、Y12、XT等）的相對塑性變形量等於8~12%。圖5所示是Y12鋼淬火後不進行回火和在100~300°C進行低溫回火後的試驗結果。這種方法可以用來鑒定在磨損條件下進行工作的鋼。在總的應力狀態及摩擦條件下進行工作时，機器零件的外層就承受接觸負荷，這種負荷能引起大量的塑性變形。

在車間條件下測定金屬質量时，必須要有一種既簡單又迅速的檢查機械性能的方法，所測出的機械性能又能切實地表示與正常生產條件發生偏差的情形。用壓入淬火鋼球或金鋼石錐以測定硬度，就是這樣的方法。