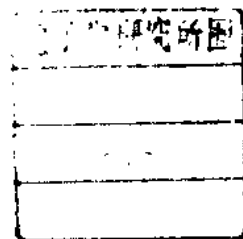


蘇聯 機器製造百科全書



機械工業出版社



苏 联

机 器 制 造 百 科 全 書

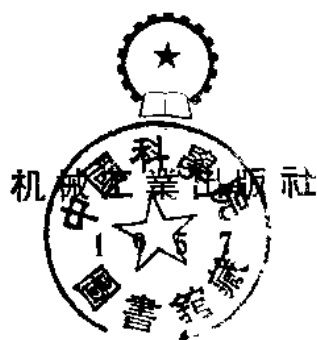
机器制造百科全书編輯委员会編

第 二 部 分

机器制造的材料

第 三 卷

責任編輯 苏联科学院通訊院士 奧金格



几 点 說 明

1. 本卷的譯校与出版过程是比較紧促的，由於時間所限，未能有系統地加以校訂，錯誤与疏漏之处在所难免，希望讀者不吝指正，以待再版时修改。

2. 本卷採用的名詞基本上是通用的，但由於譯校者人數較多，有些名詞未能完全取得一致，因此在書后附有中俄名詞对照表，以供讀者参考。

3. 本卷第一章承石霖同志校訂；第二章光譜分析部分承張志三同志校訂；第三章X射綫試驗法、磁性試驗法、超音波探伤三部分承石霖同志校訂，偏振光研究应力法部分承許晉堃同志校訂；第四章承繆棧同志校訂。

4. 本卷第十章由本社編輯室譯校。

本 卷 譯 者

石霖、江泰富、李淦、鄭正毅、周鴻吉、章雅文、章庆岷、張麟經、
崔崐、陶坤、陈棣华、潘玉良、繆棧、魏玉芝

* * *

NO. 1149

1957年3月第一版 1957年3月第一版第一次印刷

787×1092¹/₁₆ 字數 1391 千字 印張 45⁷/₈ 插頁 3 0.001—4.500 磅

机械工業出版社(北京东交民巷27号)出版

机械工業出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第008号

定价(10) 2.60元

編輯委員會

主任委員兼總編輯院士 丘達科夫(Е.А.Чудаков)

阿科波夫(С. А. Акопов), 阿爾托波列夫斯基(И. И. Артоблевский), 阿切爾康(Н. С. Ачеркан), 別斯普羅茲萬內依(И. М. Беспровзанный), 古德佐夫(Н. Т. Гудцов), 吉古新(В. И. Дикушин), 葉甫利莫夫(А. И. Ефремов), 扎波洛瑞茲(В. К. Запорожец), 濟明(А. И. Зимин), 卡扎科夫(Н. С. Казаков), 吉爾比切夫(М. В. Кирпичев), 柯萬(В. М. Кован), 康紐沙姬(Ю. П. Коношная), 李普噶爾特(А. А. Липгарт), 馬累歇夫(В. А. Малышев), 馬爾簡斯(Л. К. Мартенс), 馬利恩巴哈(Л. М. Мариенбах), 尼古拉也夫(Г. А. Николаев), 奧金格(И. А. Одинг) (編輯委員會副主任委員), 巴頓(Е. О. Патон), 拉姆金(Л. К. Рамзин), 魯勃佐夫(Н. Н. Рубцов), 薩威林(М. А. Саверин) (編輯委員會副主任委員), 謝明欽柯(И. И. Семенченко), 薛倫新(С. В. Серенсен), 赫倫諾夫(К. К. Хренов), 赫魯曉夫(М. М. Хрущов), 沙明(Н. А. Шамин), 謝列斯特(А. Н. Шелест), 舒赫加利切爾(Л. Я. Шухгалчлер) (副總編輯), 雅柯夫列夫(А. С. Яковлев)。

本 卷 著 者

工程师阿噶波夫(П. Ф. Агапов); 技术科学副博士阿噶波娃(Н. П. Агапова); 苏联科学院通讯院士教授化学博士阿盖也夫(Н. В. Агеев); 技术科学副博士阿盖也娃(Д. Л. Агеева); 教授技术科学博士阿洛夫(А. А. Алов); 技术科学副博士包克斯傑因(С. З. Бокштейн); 教授技术科学博士包尔哈維勤諾夫(Н. Ф. Болховитинов); 副教授技术科学副博士包尔茲得卡(А. М. Бордыка); 一級科学工作者盖涅罗卓夫(В. А. Генерозов); 技术科学副博士葛利亞茲諾夫(И. М. Грязнов); 教授技术科学博士古里亞也夫(А. П. Гуляев); 工程师古拉(П. М. Гура); 技术科学副博士古傑尔曼(В. М. Гутерман); 技术科学副博士达維多夫斯卡娅(Е. А. Давидовская); 一級科学工作者扎卡山斯基(Н. М. Закашанский); 技术科学副博士朱金(И. Ф. Зудин); 工程师卡紫涅稜保根(М. Б. Каценеленбоген); 一級科学工作者卡馬罗夫斯基(А. Г. Комаровский); 工程师康諾巴謝維奇(В. А. Конопасевич); 工程师考別里曼(З. И. Копельман); 技术科学副博士克列山諾夫斯基(Н. С. Крещановский); 工程师克羅特科夫(Д. В. Кротков); 技术科学副博士庫德利雅夫采夫(И. В. Кудрявцев); 工程师列万多(В. В. Левандо); 技术科学副博士李甫西茨(Г. Л. Лившиц); 技术科学副博士馬卡罗夫(Е. С. Макаров); 工程师普列依斯(А. К. Прейсс); 教授技术科学博士普利高罗夫斯基(Н. И. Пригоровский); 技术科学副博士里雅布琴科夫(А. В. Рябченков); 工程师西高拉也夫(С. Я. Сиголаев); 一級科学工作者斯密里雅根(А. П. Смирягин); 工程师斯特罗也夫(В. С. Строев); 技术科学副博士杜托夫(И. Е. Тутов); 技术科学副博士烏日克(Г. В. Ужик); 教授物理数学博士弗列曼(Л. С. Фрейман); 技术科学副博士富托連(С. Б. Футорин); 教授赫魯曉夫(М. М. Хрущов); 工程师沙明(Н. А. Шамин); 工程师尤赫維尔(И. А. Юхвец)

* * *

科 学 編 輯

工程师阿噶波夫(П. Ф. Агапов)(第六至十章); 工程师勃里茲涅斯基(А. С. Близнянский)(术语和符号); 工程师勃罗斯基(Г. С. Бродский)(第十一至十章); 教授維全肯(С. Г. Веденкич)(第二章); 工程师格里涅尔(В. М. Глинер)(本卷责任编辑); 化学博士狄莫夫(А. М. Дымов)(第二章); 教授技术科学博士列別傑夫(Т. А. Лебедев)(第一至四章); 技术科学副博士彼得茹謝維奇(А. И. Петрусевич)(第一章); 教授技术科学博士普罗斯維林(В. И. Просвирин)(第六、七章); 教授物理数学博士普羅柯菲也夫(В. К. Прокофьев)(第二章); 工程师沙明(Н. А. Шамин)(第六至十章)

*

圖表資料編輯: 工程师卡尔岡諾夫(В. Г. Карганов)

*

全卷組織編輯: 盖利金列尔格(М. И. Гильденберг)

*

編輯部主任: 克魯新娜(А. Н. Клушина)

原編者的話

機器制造百科全書第三卷專門討論金屬的近代試驗法以及結構鋼和工具鋼各類品種（包括具有特殊性質的高合金鋼在內）的性能。此外，本卷中還列入討論純金屬的理化性能和機械性能的一章。

第三卷和第四卷一起（第四卷中包含有鑄鐵有色金屬及合金硬質合金、金屬陶瓷材料和非金屬材料方面的數據）共同闡明了在近代機器制造的各項任務中所遇到的材料學問題。

在式樣繁多的材料試驗法中，本卷所選入者僅系經過很好的驗證，已被熟練掌握，並保證能顯示出被試材料的結構性能和工藝性能的那些試驗法。本書所載的有关參考數據和所作的推荐，對於工廠工作人員在妥當地利用近代機器制造材料並在生產中發揮材料的最大效用方面當有所幫助。

如所周知，機械性能試驗法應用最廣。讀者在這一範圍內能獲得一些最重要的知識，包括金屬在靜力、動力及變向載荷的條件下的試驗和行為方面的數據。

有关機器制造材料的化學、熱性、抗蝕、耐磨、電磁以及其他性能的試驗資料，也指望能引起機器制造人員對現代金屬及合金性能的這些最重要的指標加以注意。

在本卷內，載有關於顯現金屬組織、查明機器零件及部件之內部缺陷和應力所用各法的參考數據和說明，這些資料應對機器制造人員有巨大的實用價值。

在專門討論試樣和機器零件中應力分佈的一篇內，給出了有关伸長儀測量法和在透明模型上進行研究的偏振光法所必需的知識。目前，這些方法是研究應力分佈的基本方法。同時對於研究的進行和儀器給以最大的注意。關於在設計機器時利用上述方法的材料在百科全書第一卷第二冊中有所說明。

上述方法的應用，對於各種機器及發動機計算的正確性和制造的工藝精度都產生極大的影響。

雖然工藝試驗有時乃是各種材料的一種輔助試驗法，但它在生產條件下起着顯著的作用，因而本卷也分給它以相當的篇幅。

專門討論鋼性能的各章對於機器制造人員有着非常現實的意義，因為鋼是機器制造中應用最廣的材料。讀者在相應的章內能看到有关鐵基合金結構理論的詳細材料，以及有关鋼的工藝性能和結構性能的最重要知識。在「結構鋼」一章中，載有有关碳鋼及合金鋼的各種類型、各組別、各等級以及各型號的品種和品質的資料。

在「工具鋼」一章中載有各種牌號的碳工具鋼、合金工具鋼和高速鋼的性能數據。

在「具有特殊性能的高合金鋼」一章中，讀者能找到有关不銹鋼及耐酸鋼、熱穩定鋼及抗熱鋼、磁鋼、電鋼和特殊熱膨脹性能鋼的類似數據。

這些資料能使機器制造工廠的設計師和工藝師解決機器制造零件中的鋼號選擇問題，並能確立鋼的最合理熱處理規範，有時尚可確立其他工藝操作的最合理規程。

卷末附有許多表,其中載有最通用鋼号的成分、性能和用途。表中所列的鋼的机械性能指标是依半成品的尺寸和試样切取的部位而定的。

編纂本卷的材料計有:由頒佈的标准和主管机关的規格所确定的金屬性能指标,科学研究所和工厂实验室的最新研究結果,以及由國內及國外的許多文献中引用的最有价值的材料。

將几个斯大林五年计划年代中以及偉大的衛國戰爭中在材料学方面所積累丰富科学和生產經驗加以綜合及系統化,乃是本卷作者和編輯的主要任务。

在本卷准备材料的过程中,評閱者們給与作者和編輯以極大的帮助,他們曾对各節或整章的内容給了廣泛的批評和指示。茲向給以协助的下列各位致以謝意:阿伏盧欽(С. В. Аврутин)工程师(第六章);苏联科学院通訊院士阿盖也夫(Н. В. Агеев)教授(第三章);白俄罗斯苏維埃社会主义共和國科学院院士阿庫洛夫(Н. С. Акулов)教授(第三章);技术科学副博士阿索諾夫(А. Д. Асенов)(第七、九章);彼伯盖里(А. В. Бибергел)工程师(第三章);技术科学博士包尔哈維勤諾夫(Н. Ф. Болховитинов)教授(第四章);布魯克(Г. И. Брук)工程师(第七章);技术科学副博士維那洛夫(С. М. Винаров)(第六章);技术科学副博士盖勒尔(Ю. А. Геллер)(第七章);技术科学博士古里亞也夫(А. П. Гуляев)教授(第七章);技术科学博士古布金(С. И. Губкин)教授(第三章);高皮伍斯(А. Е. Гопиус)工程师(第二章);技术科学副博士格拉茲諾夫(И. М. Грязнов)(第一章);叶尔莫拉耶夫(Н. Ф. Ермолаев)工程师(第七章);扎依采夫(А. К. Зайцев)教授(第三章);依林斯基(С. К. Ильинский)教授(第四章);数学物理科学博士康道尔斯基(Е. И. Кондорский)教授(第三章);技术科学副博士庫德利雅夫采夫(И. В. Кудрявцев)(第一、四章);庫里可夫(Ф. В. Куликов)工程师(第五章);技术科学副博士里夫錫茨(Л. С. Лившиц)(第三章);技术科学副博士馬特維也夫(С. И. Матвеев)(第一、九章);尼基金娜(Л. П. Никитина)工程师(第一章);苏联科学院院士普列德涅基次列夫(А. С. Предводителев)教授(第三章);普拉基洛夫(В. И. Прядилов)工程师(第二章);技术科学副博士斯文欽茨基(Н. С. Свентицкий)(第二章);謝列茲涅夫(А. Г. Селезиев)(第一至四章);斯科洛夫(Д. М. Скоров)工程师(第八章);斯片克特爾(А. Г. Спектор)工程师(第三章);技术科学博士特魯賓(К. Г. Трубин)教授(第六章);費多索夫(Н. Ф. Федосов)工程师(第十章);物理数学科学博士弗列曼(Л. С. Фрейман)教授(第三章);石鉄林格(С. З. Штерлинг)副教授(第四章);沙波夫(Н. П. Шапов)教授(第四章)。

我們對於百科全书第二部分的副責任編輯格里涅尔(Б. М. Глинер)工程师在編輯及校閱第三卷和第四卷中所花的巨大的和細心的劳动表示特別的感謝。

还应指出本卷科学編輯:技术科学博士列別傑夫(Т. А. Лебедев)教授(第一至四章),阿噶波夫(П. Ф. Агапов)工程师和沙明(Н. А. Шамин)工程师(第六至十章)所作的巨大工作。

奧金格(И. Одинг)

目次

原編者的話	V
-------	---

第一章 金屬的机械性能試驗

(總校譯)

硬度試驗	葛利亞茲諾夫	1
硬度的靜力測定法		1
硬度的動力測定法		12
用硬度測量確定主要机械特性		14
参考文献		15
拉伸試驗	庫德利雅夫采夫	15
拉伸試驗用的机械		15
拉伸曲綫圖		19
机械性能的特性		20
比例極限、彈性極限及屈服點的測定		21
延伸率的測定		22
鑄鐵的懷壓試驗		23
参考文献		25
壓縮試驗	庫德利雅夫采夫	25
壓縮試驗用的机械和儀器		25
壓縮試驗的試樣		26
壓縮試驗時測定的材料特性		26
参考文献		27
彎曲試驗	庫德利雅夫采夫	27
鑄鐵的標準彎曲試驗		28
参考文献		29
冲击試驗	葛利亞茲諾夫	29
冲击拉伸試驗		29
缺口試樣的冲击彎曲試驗		32
冲击扭轉試驗		39
参考文献		40
剪切試驗	葛利亞茲諾夫	40
参考文献		41
扭轉試驗	葛利亞茲諾夫	41
依据扭轉試驗結果應力與變形的計算		42
参考文献		45
高溫試驗	包爾茲得卡	45
拉伸試驗		45
蠕變試驗		49
扭轉試驗		55
彎曲試驗		57
硬度試驗		58
参考文献		60
低溫試驗	庫德利雅夫采夫	61

冲击韧性试验.....	61
拉伸试验.....	62
疲劳试验.....	62
硬度试验.....	63
预防措施.....	64
参考文献.....	64
疲劳试验.....	烏日克 64
概論.....	64
应力的重复变化.....	65
疲劳试验机.....	66
疲劳试验方法.....	74
参考文献.....	83

第二章 金屬的化学性質試驗

(卓雅文、卓庆毗、潘玉良、魏玉芝譯)

化学分析	蓋涅羅卓夫	1
化学分析用平均樣品的選擇		1
鋼和生鐵的定性分析		1
鋼和生鐵的定量分析		3
有色金屬定量分析		17
参考文献		22
光譜分析	卡馬羅夫斯基	23
光譜分析用的儀器		23
光源		26
光譜分析方法		27
放電條件的影響		29
参考文献		32
腐蝕試驗	達維多夫斯卡婭、里雅布琴科夫	33
腐蝕試驗方法的分類		33
進行腐蝕試驗的一般指示		33
取下腐蝕產物的方法		33
測定腐蝕的方法，金屬耐蝕能力標準表		34
實驗室的腐蝕試驗		37
在自然使用條件下的試驗		41
参考文献		42

第三章 物理試驗法

(張麟經、陳謙華譯)

金相試驗法	斯特羅也夫、古傑爾曼	1
金相研究的技术		1
显微研究的特殊形式		16
参考文献		19

X射线试验法	阿盖也夫, 馬卡罗夫	19
应用范围		19
X射线物理学和光谱分析		20
X射线探伤		25
结构分析		31
参考文献		37
磁性试验法	西高托也夫	38
磁力探伤法		38
磁性分析		43
冲击式磁性测量法		46
成品磁铁的测量		49
参考文献		51
热试验法	杜托夫	51
热电高温计或热电偶		51
金属和合金的加热曲线与冷却曲线的绘制		54
膨胀仪测定临界点法		56
熔度曲线图		58
参考文献		59
导电性、热电法、导热性、密度	阿盖也夫, 阿盖也娃	60
导电性		60
热电法		61
导热性		61
密度		62
参考文献		63
磨损和摩擦试验法	赫鲁晓夫	63
方法的分类		63
机器操作中零件的磨损试验		64
仿照使用条件在试验室装置上的磨损和摩擦试验		66
试验室磨损试验机		66
轴承材料的摩擦试验		71
参考文献		72
残余应力测定法	古拉	74
残余应力分类		74
测定残余应力的验证方程式		74
残余应力测定法		74
参考文献		82
伸长计法	普利高罗夫斯基, 普列依斯	83
材料机械常数的测定		83
伸长计的分类		83
静力测量仪器		84
动力测量用的伸长计		91
静力和动力测量用的记录设备		106
装置伸长计的夹具		108
伸长计的校准		111
伸长计法的误差和精确度		111
参考文献		113

偏振光研究应力法	普利高罗夫斯基	111
应力光学		114
模型制备		117
主要仪器		122
实验研究进行法		128
参考文献		141
超音波探伤	弗列曼	141
方法的物理基础		141
超音波法的最重要系统		142
应用条件		143
应用范围		144
参考文献		144

第四章 工艺试验

(周鸿吉译)

机械加工性试验	富托连	1
切削法试验金属的加工性		1
切削工具的试验		4
参考文献		6
淬透性试验	古里亚也夫	7
焊接性试验	阿洛夫	10
参考文献		15
其他工艺试验	葛利耶兹诺夫	15
参考文献		20

第五章 纯金属的物理化学性质和机械性能

斯密里雅根(陶坤译)

第六章 钢的一般性能和分类

(石霖译)

铁基合金的结构	包克斯捷因	1
参考文献		11
[铁-合金元素]平衡图	古里亚也夫	11
参考文献		13
钢中合金元素的影响	古里亚也夫	13
参考文献		25
钢的淬透性	包尔哈维勤诺夫	25
参考文献		29
结构钢的切削加工性	富托连	29
参考文献		35
金属的焊接性	阿洛夫	36
参考文献		39
钢的分类	阿盖波夫, 古里亚也夫, 沙明	39
参考文献		45

鋼按煉制法的分類和簡短的說明	39
鋼按化學成分分類	40
鋼按機械性能分類	41
鋼按組織分類	41
鋼按用途分類	41
鋼按品質分類	41
鋼按賦予其形狀和尺寸的方法分類	41
參考文獻	45

第七章 結構鋼

(汪泰臨, 李淦, 周鴻吉譯)

熱軋結構型鋼	克羅斯科夫	1
結構型鋼的品種		1
質量規格		4
滾珠軸承鋼		25
彈簧鋼		37
參考文獻		30
鋼板	卡塞涅後保根, 考別里曼	30
鋼板的一般規格		30
各種鋼板的品種和質量規格		36
冷沖壓用鋼板	包爾哈維勤諾夫	42
參考文獻		46
鋼絲	尤赫維赤	46
分類、品種和驗收規則		46
鋼絲最重要的性能和代表其質量的因素		47
隨后加工和使用條件對鋼絲性質的影響		55
機器製造業所應用的鋼絲的最主要類型		56
參考文獻		65
鋼管	扎卡山斯基	66
鋼的牌號和用途		66
結構用鋼管		66
鍋爐用無縫鋼管		72
高壓和高溫鍋爐和裝置用無縫鋼管		73
採油工業用鋼管		75
水及氣體用鋼管和輸油管		77
中俄名詞對照表		1~19

参考文献	79
自动机用鋼.....包尔哈維勤諾夫	79

第八章 工具鋼

(鄭正毅, 崔岷譯)

碳工具鋼	阿噶波娃	1
參考文獻		11
合金工具鋼	古里亞也夫	11
高鉻鋼X12及X12M	列万多	17
參考文獻		20
高速鋼	古里亞也夫	20
PcP1鋼		20
ЭИ262鋼		31
ЭИ347鋼		32
ЭИ184鋼		34
ЭИ382鋼		36
ЭИ276及ЭИ290鋼		36
各種牌號的高速鋼的主要指標		41
參考文獻		41
沖模工具鋼	李甫西茨	41
參考文獻		51

第九章 特殊性能的高合金鋼

包爾茲得卡(鄭正毅, 崔岷譯)

不銹鋼和耐酸鋼		1
抗熱鋼		7
熱穩定鋼		9
氣閥鋼		11
高電阻鋼及合金		12
磁性鋼及合金		14
有規定線膨脹系數的合金		18
參考文獻		19

第十章 鋼的成分、性能和用途(參考表)

參考文獻	210
------	-----

第一章 金屬的机械性能試驗

硬 度 試 驗

硬度測定法按載荷加附的方式分为：1)靜力的和2)动力的。

用不同方法測定的硬度特性，無論在数值上或因次上都各不相同。硬度特性从一种数值轉換到另一种数值系按經驗公式或表進行換算。

硬度的靜力測定法

布氏硬度測定法

將直徑为 10, 5 或 2.5 公厘的小球用力 P 压入被試驗的金屬內(圖 1)。硬度的度量是：

$$H_B = \frac{P}{F} \text{ 公斤/公厘}^2,$$

式中 F ——球面压痕的表面面積，这面積可按下列公式算出：

$$F = \frac{\pi D^2}{2} - \frac{\pi D}{2} \sqrt{D^2 - d^2} \text{ 或 } F = \pi D h.$$

硬度的測定根据压痕的直徑 d 要比根据压痕的深度 h 可靠，因为 d 的改变在 $0.2D < d < 0.5D$ 範圍之內，而 h 的改变則在 $0.01D < h < 0.066D$ 範圍之內 (D ——小球的直徑)。

除此之外，現有的仪器僅可測量 h_0 值，即測量不同於 h 值(达 15%)的，以起始表面起量的小球压入金屬的深度。因此当進行快速試驗按压痕深度測定硬度时，必須根据由实验确定的、以压痕的測量直徑 d 为依据的 h_0 与 H_B 之間的关系。

相似定律 在某一材料中应力相等时相对的变形相同。应用不同直徑的小球進行試驗时要得到相同的材料硬度值必須使 $\frac{d}{D} = \sin \frac{\varphi}{2} = \text{常数}$ ，式中 φ ——压入角(圖 1)。在某一已定球徑 D 时， $\frac{d}{D}$ 之比取決於載荷 P 。

圖 2 所示是某几种材料的 H_B 与 $\frac{d}{D}$ 的关系。 H_B 系随 $\frac{d}{D}$ 的增大而增高，这是由于小球压入时冷作硬化引起金屬强化所致。

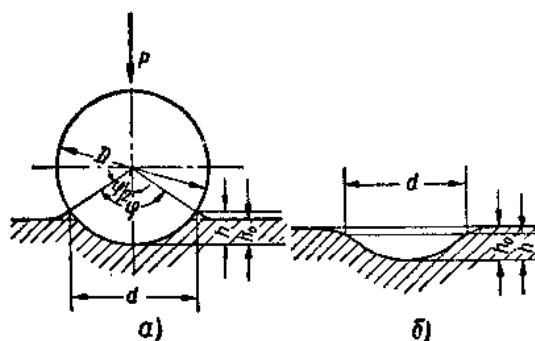


圖 1 布氏硬度試驗簡圖：
a——上種凸屑式压痕；b——下陷凹穴式压痕。

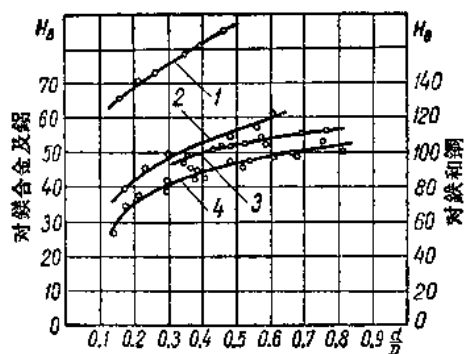


圖 2 H_B 与 $\frac{d}{D}$ 的关系：

1—含鎳 25% 的鋼；2—鋁合金(элктрон)；
3—鉄；4—鋁。

$$\text{因为 } H_B = \frac{P}{D^2} \left(\frac{2}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2}} \right),$$

所以当同一材料应用不同直徑的小球試驗时僅只在 $\frac{d}{D} = \text{常数}$ ，因而应使 $\frac{P}{D^2} = K = \text{常数}$ 时才可得相同的 H_B 值。

K 的数值在 P 以公斤計和 D 以公厘計时等於：黑色金屬为 30，有色金屬为 10，極軟的金屬为 2.5。 K 值的正确选择标志是 $0.2D < d < 0.5D$ 。減摩合金和某些鋁合金的硬度值系随試样保持載荷的时间增長而減低，鋼的硬度則在这种情況下並無顯著改变。在載荷下

的持續時間一般取 10~30 秒。

小球的硬度應不小於試樣硬度的 1.7 倍，以避免小球發生殘留變形以及壓痕的尺寸和形狀發生歪曲 (H_B 值降低)。

壓痕的形狀 小球上的載荷消除之後，壓痕的尺寸將由於受試材料的彈性還原（還原壓痕）而稍有改變。還原壓痕的球面直徑將稍大於小球的直徑，但這在實踐上通常是認為與球徑相等的。這種假設引致了 H_B 值的一定誤差（各種金屬各不相同）。

小球壓入金屬時沿壓痕邊緣形成上積凸肩或下陷凹印。梅叶爾 (Мейер) 比式 (參閱下文 [梅叶爾法]) n 值小和冷作硬化傾向小的金屬形成上積凸肩式壓痕， n 值大和冷作硬化傾向大的金屬則形成下陷凹印式壓痕。上積凸肩或下陷凹印的存在都減低壓痕邊緣輪廓的顯明性。這種顯明性可借採用經過侵蝕處理的小球而提高。侵蝕處理 (脫除油脂後) 可在 1~5% 的硝酸 (HNO_3) 酒精溶液中進行。小球在侵蝕處理之後球徑必須加以檢驗。金屬的硬度不超過 130 公斤/公厘² 時用經過侵蝕處理的小球測出的 H_B 值比用拋光的小球測出的高 4%；而當金屬的硬度高時則兩者將無顯著差別。

梅叶爾法 按布氏法試驗時不同硬度的材料是在不相等的條件下試驗的，因為所得的 $\frac{d}{D}$ 之比是不同的數值 (不遵守相似定律)。

梅叶爾曾找到在小球負荷 P (公斤) 與還原壓痕 d (公厘) 之間有一定的關係，應用這種關係可以比較不同金屬在相同條件下所具的硬度：

$$P = \alpha d^n,$$

式中 α 及 n —— 常數。梅氏硬度與布氏硬度的差別在於它是以載荷與壓痕投影面積之比求出的：

$$H_M = \frac{P}{\frac{\pi d^2}{4}}.$$

$$\text{因為 } P = \alpha d^n, d = D \sin \frac{\varphi}{2},$$

$$\text{因此 } H_M = \frac{4}{\pi} \alpha D^{n-2} \sin^{n-2} \frac{\varphi}{2}.$$

當 $\frac{\varphi}{2} = 90^\circ$ ，即 $d = D$ 時，也就是壓痕深度等於 $\frac{D}{2}$ 時所得硬度值為最大：

$$H_0 = \frac{4}{\pi} \alpha D^{n-2}.$$

H_0 係在小球相同的壓入條件下求出 (直徑的一半)。這保證了可對不同硬度的金屬進行試驗結果的比較。

系數 α 表示該直徑的小球壓入金屬中時相對於該金屬屈服點的載荷，它隨材料和 D 而相異。對某一材料來說

$$\alpha D^{n-2} = \frac{\pi H_0}{4} = \text{常數}.$$

n 的數值與 D 無關，它表征金屬冷作硬化^① 的強化程度，數值自 2.0 至 2.8。冷作硬化程度增加則 n 減小，接近於 2 (退火鋼的 $n = 2.52$ ，強烈冷作硬化的鋼 $n = 2.01$)。系數 α 隨冷作硬化程度的增高而增大。表 1 中所列是某幾種材料的 α 及 n 值。

表 1

材 料	H_B 當 $D = 10$ 公厘	α	n
鉛	—	20.3	1.91
鋁	42.4	28.5	2.07
軋制鋼	68.3	45.0	2.09
黃銅	156.7	100.0	2.13
白鐵	229.2	116.0	2.31
灰鑄鐵	181.7	81.0	2.38
鐵	135.3	78.5	2.18
碳鋼	289.0	174.0	2.20
鎢鋼	464.0	158.0	2.32

當 α 及 n 值為已知時 H_0 易於算出，但用實驗測定 H_0 只有極軟的和塑性的材料才可能。測定硬質材料的 H_0 是困難的，因為小球必須在高載荷下才能被壓入材料達到球徑一半的深度，而小球在這樣的高載荷下會產生變形，同時脆性材料在小球壓到這深度之前早已破裂了。

H_B 可通過 H_0 用下式表示：

$$H_B = \frac{H_0}{2} \frac{\left(\sqrt{\frac{n(n-2)}{n-1}} \right)^n}{\frac{n-2}{n-1}}.$$

梅氏硬度 H_M 取決於 $\frac{P}{d^2}$ 的程度比 H_B 為大，在實際工作上梅氏硬度測量法並未得到推廣。

標準法 硬度值 H_B 是隨試驗條件而轉移的。 H_B 的測定應根據 OCT 10241-40 (H_B 在 450 以下者) 規定的條件進行。試樣的硬度測定處應具有平整的表面，以便獲得充分清晰的壓痕邊緣以供進行符合要求準確度 3 的測量。試樣的厚度應不小於壓痕深度的 10 倍。壓痕的深度

① 鉛的 $n < 2$ ，由於它在「休息」影響下產生解除強化以及在室溫下發生再結晶。

② 依照英國的標準，當用 2 公厘和 1 公厘直徑的小球試驗時，試樣表面應該用 000 號砂紙加工。

$$h = \frac{P}{\pi D H_B}$$

表 2 中所列是对不同 H_B 值算出的試样最小厚度。

表 2

小球直径 (公厘)	载荷 (公斤)	硬度 H_B (公斤/公厘 ²)							
		100	120	150	200	300	400	500	
		最小的厚度(公厘)							
2.5	62.5	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	
	187.5	2.4	2.0	1.6	1.2	0.8	0.6	0.5	
5	250.0	1.6	1.3	1.1	0.8	0.5	—	—	
	750.0	5.0	4.0	3.2	2.4	1.6	1.2	1.0	
10	1000.0	3.2	2.6	2.1	1.6	1.1	—	—	
	3000.0	—	—	6.4	4.8	3.2	2.4	1.9	

压痕中心距离試样的边缘应大于 D ，相邻压痕的中心距应大于 $2D$ 。

小球採用直径 $D=10, 5$ 及 2.5 公厘的鋼珠。鋼珠应选择这样一种硬度,使它在载荷 $P=30 D^2$ 下压入 $H_B > 500$ 的鋼板中时鋼珠直径的殘留改变不超过 0.0025 公厘。小球的表面应是抛光的,但亦容許使用经过硝酸侵蚀的(参阅前文)。在进行試驗之前应将小球仔細地拭淨。

依据受試材料的厚度及本性应该採用的载荷和球徑大小列於表 3 中(依据 OCT 10241-40)。

所加载荷应均匀調而無冲动地在 15 秒鐘內逐漸增加到規定的载荷。

表 3

材 料	硬度 H_B (公斤/公厘 ²)	受試金 屬的厚 度 (公厘)	P D^2	小球 直径 D (公厘)	载荷 P (公斤)	保持載 荷的特 續時間 (秒)
黑色金屬	140~450	>6	30	10	3000	10
		$3\sim6$	30	5	750	10
		<3	30	2.5	187.5	10
	140以下	>6	30	10	3000	30
		$3\sim6$	30	5	750	30
		<3	30	2.5	187.5	30
銅,黃銅,青 銅,鋁合金	31.8~130	>6	10	10	1000	30
		$3\sim6$	10	5	250	30
		<3	10	2.5	62.5	30
鋁,軸承合金	8~35	>6	2.5	10	250	60
		$3\sim6$	2.5	5	62.5	60
		<3	2.5	2.5	15.6	60

压痕的直径是取两个相互垂直方向所測直径值的算術平均值(容許的 α 值偏差不大於 2%)。

压痕直径 α 的測量准确度在用 $D=10$ 及 5 公厘的小球时应在 ± 0.05 公厘範圍之內,而在用 $D=2.5$ 公厘的小球时則应在 ± 0.01 公厘範圍之內。依照 OCT 10241-40 測定的硬度值系用 H_B 表明。不符标准的試驗必須註明試驗的条件;例如 10/3000/15 的标记表示試驗是用 $D=10$ 公厘的小球在 3000 公斤载荷下保持 15 秒鐘的条件下进行的。

硬度值可利用表 5 (参阅下文)中的数据按压痕的直径求出。

硬度值与其他机械性能的关系 拉伸强度極限 σ_b 与布氏硬度 H_B 之間的关系在 $n < 2.2$ 时接近於直線关系[22]。大致地可取: 鍛鋼与軋鋼 $\sigma_b = 0.36 H_B$, 灰

鑄鐵 $\sigma_b = \frac{H_B - 40}{6}$, 鋅合金鑄件 $\sigma_b = 0.09 H_B$ 及鑄鋼件 $\sigma_b = (0.3 \sim 0.4) H_B$ 。

某些有色金屬及合金的 $\sigma_b : H_B$ 的值列於表 4 中。

表 4 在 $P=10 D^2$ 时 $\sigma_b : H_B$ 的值

金屬状态	銅	鋁	黃 銅				鋁 2.5 $\times$ D^2	硬 鋁
			MS 90	MS 85	MS 62	MS 40		
退火	0.48	0.57	0.51	0.47	0.53	0.49	0.40	0.37
冷軋, 当減縮 率為:								
5%	0.35	0.38	0.36	0.36	0.41	0.40	0.37	0.37
10%	0.34	0.35	0.32	0.34	0.38	0.37	0.35	0.36
90%	0.40	0.40	0.40	0.40	0.42	0.44	0.40	—

用不同方法測出的硬度值的相对关系列於表 5 中。

布氏硬度試驗压力机 凡測力精确度在 $\pm 1\%$ 並可均匀調地加荷同时能按規定時間保持载荷的任何压力机都適用於布氏硬度試驗。

最普遍应用的压力机是阿耳法型(тип Альфа)特种液压机(圖 3)。

將試样安置在升降螺桿 1 的試驗台上。旋轉手輪 2 使試样上昇与小球接触。当儲油器上的閥 3 在关闭状态时,用泵 4 抽吸油压入压力筒 5 的工作部分,直到帶着砝碼的秤桿 6 (規定的荷重)升起为止。从压力計 7 上取压力讀数。緩慢地打开閥 3 以撤除小球上的載

表 5

維氏硬度 H_V	布氏硬度 H_B			洛氏硬度 H_R							莫諾脫 濕硬度	善氏硬度		蕭氏 硬度 H_{Sh}	莫氏 硬度
	壓痕 直徑 (公厘)	用鋼 球試 驗時	用碳化 錳小 球試 驗時	標 度								按擺動 時間 H_z	按標度 H_{sk}		
				C	D	A	B	E	30-A'	30-T'					
1224	2.20	780	872	72	78	84	—	—	87	—	130	90	64	106	8.5
1116	2.25	745	840	70	77	83	—	—	86	—	122	85	59	102	
1022	2.30	712	812	68	75	82	—	—	84	—	117	80	56	98	
941	2.35	682	794	66	74	81	—	—	83	—	103	76	52	94	
868	2.40	653	760	64	72	80	—	—	81	—	96	72	49	91	8.0
804	2.45	627	724	62	71	79	—	—	79	—	91	67	47	87	
746	2.50	601	682	60	70	78	—	—	78	—	86	63	45	84	
694	2.55	578	646	58	68	78	—	—	76	—	82	60	42	81	
650	2.60	555	614	56	67	77	—	—	74	—	78	56	40	78	7.5
606	2.65	534	578	54	65	76	—	—	72	—	74	53	38	76	
587	2.70	514	555	52	64	75	—	—	70	—	71	51	37	73	
551	2.75	495	525	50	63	74	—	—	69	—	68	48	36	71	
534	2.80	477	514	49	62	74	—	—	68	—	66	47	35	68	7.0
502	2.85	461	477	48	61	73	—	—	67	—	63	44	34	66	
474	2.90	444	460	46	60	73	—	—	66	—	61	41	33	64	
460	2.95	429	432	45	59	72	—	—	65	—	59	40	32	62	
435	3.00	415	418	43	58	72	—	—	64	—	57	37	30	61	6.5
423	3.05	401	401	42	57	71	—	—	63	—	55	35	29	59	
401	3.10	388	388	41	56	71	—	—	62	—	53	34	28	57	
390	3.15	375	375	40	56	70	—	—	61	—	51	33	27	56	
380	3.20	363	364	39	55	70	—	—	60	—	50	32	26	54	6.0
361	3.25	352	352	38	54	69	—	—	59	—	48	30	26	53	
344	3.30	341	341	36	53	68	—	—	58	—	47	29	25	51	
334	3.35	331	330	35	52	67	—	—	57	—	45	28	24	50	
320	3.40	321	321	33	50	67	—	—	56	—	44	27	24	49	5.5
311	3.45	311	311	32	50	66	—	—	55	—	42	26	23	47	
303	3.50	302	302	31	49	66	—	—	54	—	41	24	23	46	
292	3.55	293	—	30	48	65	—	—	53	—	40	24	22	45	
285	3.60	285	—	29	47	65	—	—	52	—	39	23	22	44	5.0
278	3.65	277	—	28	47	64	—	—	51	—	38	23	21	43	
270	3.70	269	—	27	46	64	—	—	50	—	37	22	21	42	
261	3.75	262	—	26	45	63	—	—	49	—	36	22	20	41	
255	3.80	255	—	25	45	63	—	—	48	—	35	21	20	40	4.5
249	3.85	248	—	24	44	62	—	—	47	—	34	21	19	39	
240	3.90	241	—	23	43	62	102	—	46	85	33	20	19	38	
235	3.95	235	—	21	42	61	101	—	45	84	32	20	19	37	
228	4.00	229	—	20	41	61	100	—	44	83	31	19	18	36	4.0
222	4.05	223	—	19	40	60	99	—	43	82	30	19	18	35	
217	4.10	217	—	17	39	60	98	110	42	82	29	19	18	34	
213	4.15	212	—	15	38	59	97	110	40	81	29	18	17	34	
208	4.20	207	—	14	37	59	95	110	39	81	28	18	17	33	3.5
201	4.25	201	—	13	37	58	94	109	38	80	28	18	17	32	
197	4.30	197	—	12	36	58	93	109	37	79	27	17	16	31	
192	4.35	192	—	11	35	57	92	108	36	78	26	17	16	30	
186	4.40	187	—	9	34	57	91	108	35	78	26	17	16	30	3.0
183	4.45	183	—	8	34	56	90	108	34	77	25	17	16	29	
178	4.50	179	—	7	33	56	90	107	33	77	25	17	16	29	
174	4.55	174	—	6	33	55	89	107	32	76	24	16	15	28	
171	4.60	170	—	4	32	55	88	106	31	76	23	16	15	28	2.5
166	4.65	167	—	3	32	54	87	106	30	75	23	16	15	27	
162	4.70	163	—	2	31	53	86	105	29	74	22	16	15	27	
159	4.75	159	—	1	31	53	85	105	28	73	22	16	15	26	
155	4.80	156	—	0	30	52	84	104	27	73	21	16	15	26	2.0
152	4.85	152	—	—	—	—	83	104	—	72	21	16	15	25	
149	4.90	149	—	—	—	—	82	103	—	71	20	15	14	24	
148	4.95	146	—	—	—	—	81	103	—	71	20	15	14	24	
143	5.00	143	—	—	—	—	80	102	—	70	19	15	14	24	1.5
140	5.05	140	—	—	—	—	79	102	—	69	19	15	14	23	
138	5.10	137	—	—	—	—	78	101	—	68	19	15	14	23	
134	5.15	134	—	—	—	—	77	101	—	68	18	15	14	23	
131	5.20	131	—	—	—	—	76	100	—	67	18	14	13	22	1.0
129	5.25	128	—	—	—	—	75	100	—	67	18	14	13	22	
127	5.30	126	—	—	—	—	74	99	—	66	17	14	13	22	
123	5.35	123	—	—	—	—	73	99	—	66	17	14	13	21	
121	5.40	121	—	—	—	—	72	98	—	65	17	14	13	21	

(續)

維氏硬度 H_V	布氏硬度 H_B			洛氏硬度 H_R								莫諾脫 浪硬度	蓋氏硬度		蕭氏 硬度 H_{Sh}	莫氏 硬度
	壓痕 直徑 (公厘)	用鋼 球試 驗時	用碳化 鎢小球 試驗時	標 度									按擺動 時間 H_z	按標度 H_{sk}		
				C	D	A	B	E	30-A	30-T						
118	5.45	118	—	—	—	—	71	98	—	64	16	14	13	21		
116	5.50	116	—	—	—	—	70	97	—	63	16	—	—	20		
115	5.55	114	—	—	—	—	68	97	—	63	16	—	—	20		
113	5.60	111	—	—	—	—	67	96	—	62	15	—	—	20		
110	5.65	110	—	—	—	—	66	95	—	61	15	—	—	20		
109	5.70	109	—	—	—	—	65	95	—	60	15	—	—	19		
108	5.75	107	—	—	—	—	64	94	—	59	14	—	—	19		

荷。而后降下螺桿，取出試樣進行壓痕直徑的測量。阿耳法型壓力機工作的主要缺點是在加荷時有液壓的沖動。

更完善的是自動壓力機(圖4)，在這種壓力機上載荷是通過槓桿系統的荷重加載於小球上。在這種自動壓力機中加載速度，載荷持續時間及卸載速度都是常數，因而它保證了相同的試驗條件。

將試樣安置在試驗台1上。旋轉手柄2使試樣上昇抵達連着小球的軸，直到指針3對准分度線為止。這時彈簧4產生的初壓力達100公斤，足以預防試樣在繼續加荷時發生移動。此後乃接合電動機，電動機的旋轉運動便通過變速器5而傳至偏心輪6。偏心輪將連桿7放下，其結果乃使荷重通過槓桿9及10而產生載荷於小球11上。當偏心輪繼續旋轉時連桿7被頂昇，同時便撤除了小球上的載荷。當荷重回復到開始位置時，鈴12便發出信號。在反方向旋轉手柄2試樣即可從小球脫出。

圖5所示是ЦНИИТМАШ●所設計的槓桿式壓力機的總示圖和簡圖[9]。

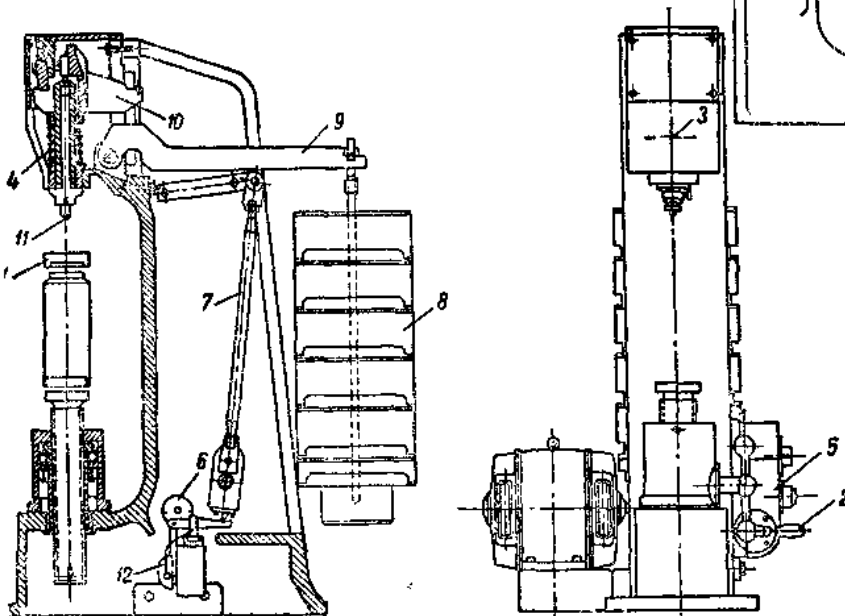


圖4 布氏自動壓力機。

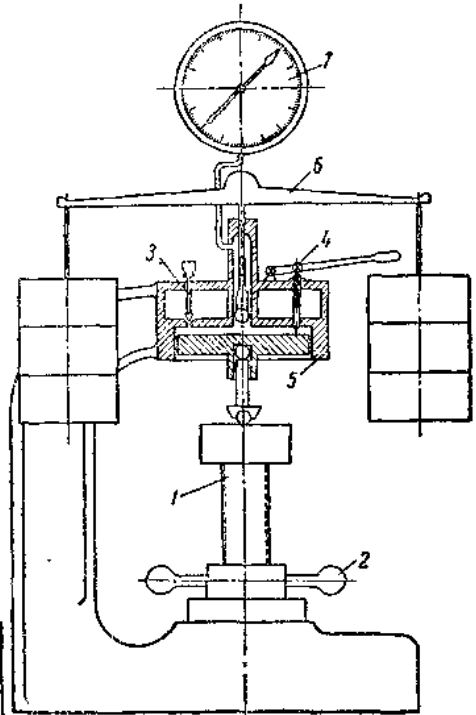


圖3 阿耳法型液壓機。

機身1是由兩對槽鐵和兩張豎置的板用螺栓緊固構成的。在上部槽鐵之間有一第二類槓桿。帶小球的柱塞2支撐在槓桿3的稜柱上，槓桿上則掛有砝碼組4。試樣5系借試驗台6的螺桿而導引至小球，手柄7供勻調地昇降槓桿之用。這壓力機

● 蘇聯重型機器製造部中央機器製造工藝科學研究所。

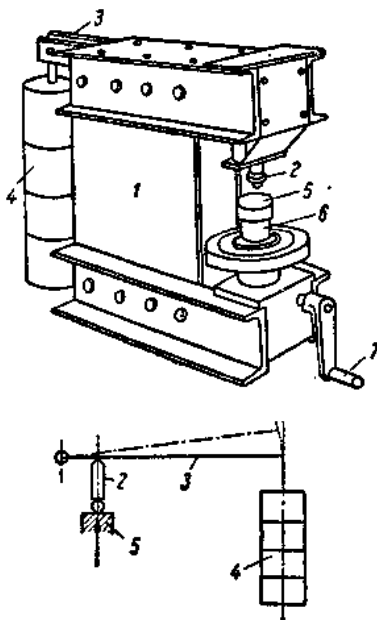


圖5 ЦНИИТМАШ所設計的槓桿式壓力機的總示圖和簡圖。

是按載荷至3000公斤設計的。

對同類產品的大量試驗可採用 ЦНИИТМАШ 按洛氏硬度測定法原理設計的 ПБ-750А型壓力機。這壓力機是用5公厘直徑的小球以 $P_0=40$ 公斤的預加載荷和 $P=750$ 公斤的最後載荷壓入試樣。測量小球壓陷深度的指示器的讀數則按實驗所得的表換算為 H_B 硬度數，該表是按壓痕直徑尺寸編成的。這種壓力機的生產率比之一般的布氏壓力機大2倍。

笨重工件就地試驗用移動式壓力機較為便利。圖6所示是測定硬度的一種卡具。帶有起重傳動器的卡頭1中有一連着小球軸，當工件卡住在支持螺絲2和帶球軸之間時小球便可被壓入工件中。測力器是指示器3，它測量卡具4的彈性變形。

維氏硬度測定法

在維氏硬度儀中壓頭是用金鋼鑽的四稜錐，稜錐相對面之間的角度等於 $136^\circ \pm 30'$ 。稜錐壓入試樣系垂直於試樣表面。試驗可在1~120公斤載荷下進行。

推荐的載荷為：5, 10, 20, 30, 50, 100 及 120 公斤。

維氏硬度的計算按下列公式進行：

$$H_V = \frac{P}{F} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} \text{ 公斤/公厘}^2,$$

式中 P ——載荷(公斤)； F ——稜錐壓痕的面積(平方公厘)； d ——壓痕的對角線長度(公厘)； α ——稜錐頂相對面間的角度。 $\alpha=136^\circ$ 時， $H_V=1.8544 \frac{P}{d^2}$ 。

維氏硬度的符號中還表明載荷的大小，例如 $H_V/20$ 即表明試驗是在20公斤載荷下進行的。

H_V 值可按上述公式算出的表求出。

H_V 與應用其他方法所得硬度數之間的相對關係引列於表5中。

因為稜錐形的壓痕在幾何上是相似的，因此同一材料的硬度數 H_V 不隨壓入力而有改變。

稜錐體相對面間的角度選為 136° 的目的是使所得的 H_V 值接近於 H_B 。但是對鋼料來說只在 H_B 值不超出400的情況下 H_V 及 H_B 值才是相符的。

維氏硬度儀及試驗條件 圖7所示是維氏硬度儀的簡圖。試樣放置在試驗台1上。旋轉縱輪2將試樣引昇到距金鋼鑽四稜錐3的頂部0.5~1.0公厘處。軸桿4將載荷從不等臂槓桿5傳至四稜錐上，其中荷重7系借桿6懸於不等臂槓桿的自由端上。旋轉起動把手8使偏心輪松脫時，偏心輪便在荷重10的作用下帶動旋轉。該荷重系用鋼索懸掛在滑輪上。當偏心輪9旋轉時，柱塞11降落，槓桿5即松脫，載荷便勻調地傳於四稜錐上。偏心輪的旋轉速度是由油壓制動器12控制，它可使加荷延續時間和保持載荷的時間調節等於10秒鐘。柱塞11的上部是一橡膠墊，它支持在固定於槓桿上的圓錐體上。這種裝置可使荷重的升降不發生沖擊。使槓桿5及與它相連的零件回復到開始位置系借壓下腳踏板13而達到。在壓痕之後，即將試驗台1下降少許，以便將裝在支架鉸鏈上的顯微鏡14轉過來。在顯微鏡的視界內有兩塊布帘，兩布帘的分合是由計量器確定。兩布帘在合攏時計量器是調整在零點上。依據物鏡的倍數($\times 12.3$ 或 $\times 5$)計量器上的分度相當於1.0或2.5公忽。顯微鏡是調整到使左面的固定布帘邊緣與壓痕左角重合。右面的布帘則借測微螺絲移動使它的邊緣與壓痕右角重合(圖8)。根據規定硬度執行大量檢驗工作時可使用第三塊布帘(圖9)。此時布帘是根據硬度調整在一定的位置上。位置A表示超過規定硬度，B——硬度在規定範圍之內，C——硬度低於規定硬度。

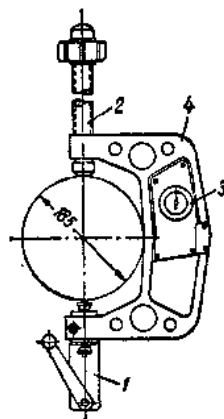


圖6 測定硬度的卡具。

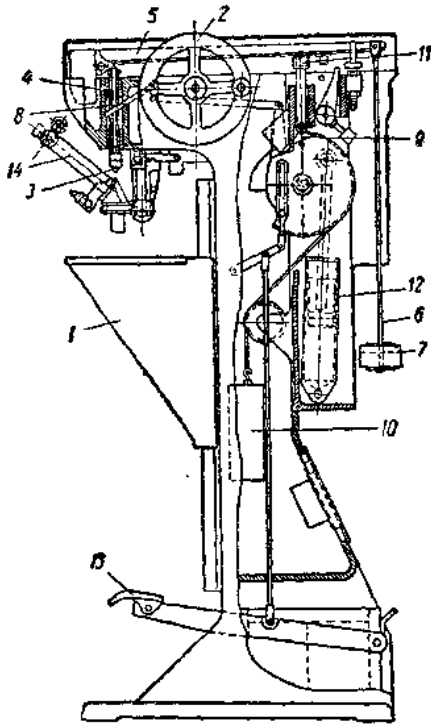


圖 7 維氏硬度儀簡圖。



圖 8 顯微鏡中的布帶： 圖 9 顯微鏡中的布帶。
1—固定布帶；2—移動布帶。

為了得到最高的準確性，載荷 P 可選用適合試樣尺寸和硬度的最大載荷。但是在載荷超過 100 公斤時可能會招致金鋼鑽的損壞。

兩個壓痕的中心間距或壓痕中心離試樣邊緣的距離，在試驗鋼時應不小於對角線的 2.5 倍，在試驗有色金屬時應不小於對角線的 5 倍。受試驗的試樣厚度應不小於壓痕對角線的 1.5 倍。

選擇載荷 P 時，對實心試樣的硬度測定可遵照表 6 的數據，試驗管子時則照表 7 的數據。

當測定滲碳或滲氮零件的硬度時應該用不同的載荷做幾次壓痕試驗（例如 10, 20 及 50 公斤）。如果在这种情况下 H_V 的數值有減小或增加，則必須使用較小的載荷直到兩種載荷的結果符合為止。滲碳（或滲氮）層的厚度在 0.5 公厘以下時載荷 P 選擇 10 公斤，大於上述厚度時則選用 30 公斤。

表 6

試樣厚度 (公厘)	維氏硬度			
	20~50	50~100	100~300	300~900
	推薦的載荷 P (公斤)			
0.3~0.5	—	—	—	5~10
0.5~1.0	—	—	5~10	10~20
1~2	5~10	25~10	10~20	—
2~4	10~20	0~30	20~50	20~50
>4	≥20	≥30	≥50	—

表 7

管子外徑 (公厘)	管壁厚度(公厘)							
	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	2.0	2.5	3.0
	推薦的載荷(公斤)							
0~10	10	—	20	—	—	—	—	—
10~20	5	10	20	—	30	—	—	—
20~30	—	5	10	—	30	30	30	30
30~40	—	5	10	—	20	30	30	30
40~50	—	5	5	10	20	30	30	30
50~60	—	—	5	10	10	20	30	30
60~70	—	—	5	5	10	20	30	30
70~80	—	—	5	5	10	20	30	30

柳氏硬度測定法

柳氏硬度系按下列公式求出：

$$H_L = \frac{P}{\frac{\pi a^2}{4}}$$

式中 P ——90°頂角圓錐體的壓力； $\frac{\pi a^2}{4}$ ——圓錐壓痕的投影面積。

因為圓錐體壓痕在幾何上是相似的，因此硬度值與載荷無關。

柳氏硬度值接近於 H_B 值，即 $H_L \approx 1.08 H_B$ 。

根據 H_L 求 σ_b 在採用 90° 角波別基特合金圓錐體而以 2000 公斤的力壓入時可用公式

$$\sigma_b = 0.32 H_L - 16 \text{ 公斤/公厘}^2 [6]。$$

在壓痕的某些區域中是塑性變形。在這區域外輪廓上的應力等於屈服點 σ_s 。

變形區外徑可很容易地用逐漸研磨或用測量加工表面不平度的方法來測定。

如果變形區的直徑為 a ，壓力為 P 則

$$\sigma_s = \frac{4P}{\pi a^2} [2, 23]。$$