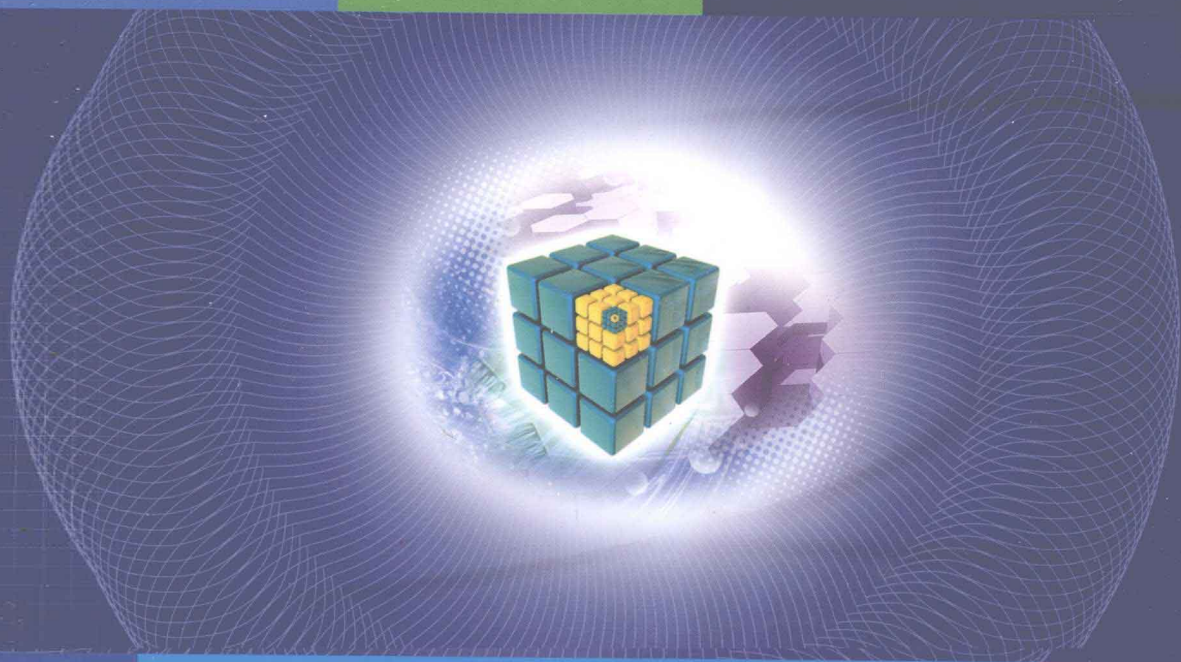




21世纪高职高专规划教材·机电类

模具材料及热处理

主编 严义章 副主编 黄泽森



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪高职高专规划教材·机电类

模具材料及热处理

严义章 主 编

黄泽森 副主编

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

模具材料及热处理 / 严义章主编. —北京: 北京理工大学出版社,
2009. 8

ISBN 978 - 7 - 5640 - 2431 - 4

I. 模… II. 严… III. 模具钢 - 热处理 IV. TG162. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 111671 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / [http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 12. 25

字 数 / 249 千字

版 次 / 2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 4000 册

定 价 / 22. 00 元

责任校对 / 申玉琴

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前 言

模具材料的品种、质量及性能等对模具的结构设计、制造工艺、精度、生产周期及使用寿命等都有着极大的影响，模具工业的快速发展又对模具材料提出了更高要求。因此，在模具设计与制造中能否正确选择模具材料并实施合理的热处理工艺，是模具能否制造成功的关键一环。学习和掌握模具材料及其热处理知识，是模具设计与制造专业学生的一个重要任务。

“模具材料及热处理”是模具专业主干课程之一，但是，现有教材由于编写角度和侧重点不同，基础内容少，专业材料及热处理工艺有些与生产实际脱节，编排形式没有更好地体现职业院校的教学特色。

编者根据多年教学及实践经验，将传统的“金属材料与热处理”（即现在的“机械 engineering 材料”）和不断发展的“模具材料”两门课程有机结合，编写成现在的《模具材料及热处理》教材。

本书的编写充分体现了“浅而宽、少而精、新而用”的特点，便于学生学习和应用。

全书分为金属材料基础知识、钢的热处理、常用钢铁材料、典型模具材料及热处理四个篇目，既全面介绍了金属材料，主要是钢铁材料的基础知识，又详细介绍了热处理的基本理论和实际工艺，最后重点而系统地介绍了冷作模具、热作模具及塑料模具用钢的类别、牌号、成分、性能、热处理及用途等，并结合我国模具市场情况，介绍了国外模具钢的相关知识。

本书可作为中、高等职业院校模具类专业的教材使用，也可供有关模具设计、制造、维修等方面的工程技术人员参考。

本书在编写过程中得到了高级工程师张宏福和邹先蓉老师的帮助，在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

绪论	(1)
----------	-----

第一篇 金属材料基础知识

第一章 金属材料的性能	(6)
1.1 金属的物理性能和化学性能	(6)
1.2 金属的力学性能	(8)
1.3 金属的工艺性能	(15)
习题与思考题	(17)
第二章 金属的晶体结构及结晶	(18)
2.1 金属的晶体结构	(18)
2.2 金属的结晶	(24)
习题与思考题	(27)
第三章 铁碳合金相图	(28)
3.1 铁碳合金的基本相	(28)
3.2 铁碳合金相图	(31)
习题与思考题	(39)

第二篇 钢的热处理

第四章 钢的热处理原理	(42)
4.1 钢在加热时的组织转变	(42)
4.2 钢在冷却时的组织转变	(46)
习题与思考题	(53)

第五章 钢的热处理工艺方法	(55)
5.1 钢的普通热处理	(55)
5.2 钢的表面热处理	(64)
习题与思考题	(70)

第三篇 常用钢铁材料

第六章 碳钢	(74)
6.1 钢中杂质元素对性能的影响	(74)
6.2 碳钢的分类	(75)
6.3 碳素结构钢	(76)
6.4 碳素工具钢	(82)
6.5 铸钢	(84)
习题与思考题	(85)

第七章 合金钢	(86)
7.1 合金元素在钢中的作用	(86)
7.2 合金结构钢	(90)
7.3 合金工具钢	(100)
7.4 特殊性能钢	(106)
习题与思考题	(111)

第八章 铸铁	(112)
8.1 铸铁的石墨化	(113)
8.2 灰铸铁	(114)
8.3 球墨铸铁	(116)
8.4 可锻铸铁	(118)
习题与思考题	(120)

第四篇 典型模具材料及热处理

第九章 冷作模具材料	(122)
9.1 冷作模具钢性能要求	(122)
9.2 常用冷作模具钢及热处理	(125)

9.3 冷作模具钢及热处理选用	(138)
习题与思考题	(148)
第十章 热作模具材料	(150)
10.1 热作模具钢性能要求	(150)
10.2 常用热作模具钢及热处理	(151)
10.3 热作模具钢的选用	(156)
习题与思考题	(160)
第十一章 塑料模具材料	(161)
11.1 塑料模具钢性能要求	(161)
11.2 常用塑料模具钢及热处理	(162)
11.3 塑料模具材料的选用	(173)
习题与思考题	(176)
第十二章 国外模具钢介绍	(177)
12.1 外国模具钢简介	(177)
12.2 各国常用模具钢对照	(184)
参考书目	(187)

绪 论

一、我国模具工业及模具钢概况

模具是制造业的基础工艺装备，包括冷冲模具、压铸模具、塑料模具等 10 大类 46 个小类。据统计，家电行业 80% 以上、机电行业 70% 以上的零部件都要依靠模具来生产。以一辆普通汽车为例，仅冲压件就有数百个，再加上仪表板、方向盘等越来越多的塑料制品，所需模具在千副以上，总价值上亿元。因此，模具被称为“现代工业之母”，世界先进工业国家都把发展模具工业作为经济建设的一项重大战略目标。

我国国务院、国家计委、科技部等先后在 1989 年、1997 年和 2000 年把模具列为机械工业和高新技术产业重点发展行业，充分说明了模具在国民经济中的地位和作用。我国模具行业近 20 年来发展很快。据不完全统计，目前全国（大陆）模具生产企业共有近 2 万家，从业人员数十万人，全年模具产值已接近 1 000 亿元。按模具总量排名，我国紧随日本、美国之后，位居世界第三。但我国模具工业与先进国家相比，在技术水平上还存在较大的差距，一些中、高档模具，如精密、复杂、大型的冲压模具和塑料模具，主要依赖进口。

现代工业产品质量和性能要求越来越高，更新换代越来越快，这就要求模具性能更好、精度更高、制模周期更短、使用寿命更长等。要做到这些，必须采用优质的模具材料、实施合理的热处理工艺及采用先进的表面强化技术。

我国模具工业的快速发展，也有力地推动了模具钢的研发和生产。目前，我国已初步形成了比较完整的模具钢系列。通过引进先进的设备和技术，绝大部分标准模具钢我国都能生产。我国的模具钢年产量达 50 万吨左右，已跃居世界前列。国产模具钢的品种和质量也有了较大的发展和提高，并自主开发了一些新型模具材料。但从总体上看，我国模具材料市场仍落后于模具工业的发展，尤其高档次模具的制造，仍然以进口钢为主。我国每年从国外进口模具钢约 10 万吨左右，而进口的模具钢价格要比国内同类产品高出几倍乃至十几倍。

与国际先进水平相比，国产模具钢主要存在以下问题：

(1) 材质差。一般质量的模具钢多，高质量的模具钢少。高品质的模具钢都需要经过真空精炼和电渣重熔，以保证钢材的高纯净度、高致密度、高等向性，而我国模具钢生产装备和工艺比较落后，采用新技术生产的模具钢所占的份额很小。

(2) 性能低。国产模具钢力学性能及热处理性能都不能满足高档模具的要求。

(3) 品种少、规格不全。我国模具钢市场扁钢、模块、精料以及预硬钢少，特别是大

尺寸的锻制模块及扁钢更少，80%左右是黑皮圆棒材，用户还要自己改锻改制，导致材料利用率低，生产周期长，不能适应模具制造业的需要。

(4) 热处理技术落后。先进合理的模具热处理工艺是保证模具材料力学性能的关键环节。据统计，引起模具失效的各种因素中，热处理不当的模具约占45%。国内大部分企业在模具淬火时仍采用盐熔炉或电炉加热，质量不高且不稳定，直接影响模具使用质量和寿命。

二、国外模具钢发展简介

为了适应模具工业的快速发展，国外先进工业国家模具钢生产80%以上采用真空精炼和电渣重熔生产，钢材纯净度高，等向性好，力学性能高，模具寿命长，模具钢的品种与规格齐全。国外研制生产的以合金钢为主的冷作模具钢、热作模具钢及塑料模具钢都有完整的系列和制品，适应于各类模具的特殊要求。

此外，国外模具钢企业销售渠道通畅，如日本的日立及大同公司、瑞典联合钢公司（一胜百）、奥地利百禄公司、德国蒂森克鲁伯公司等在我国已建立了销售网络，这些公司可以提供多品种的优质模具钢精料和制品，但是产品售价都很高。

三、我国模具钢发展展望

模具材料是模具工业的基础。目前，在我国模具材料行业，要积极引进和使用先进的模具钢生产工艺，采用真空精炼和电渣重熔技术生产纯净度高的模具钢，彻底改变我国高档模具生产主要依赖进口模具钢的现状。努力增加模具钢品种与质量，加速模具钢生产的规格化、精品化和商品化，大力开发和推广新型模具钢，并逐步形成我国更加完整的模具钢系列，以满足快速发展的模具工业的需要。

模具工业中发展最快的是塑料模具和冲压模具两大类，其产值约占模具总产值的80%左右。在塑料模具钢中应大力推广纯净度高、等向性好的预硬化型塑料模具钢。采用预硬模具材料，可以简化模具制造工艺，缩短模具的制造周期，提高模具的制造精度。可以预见，随着加工技术的进步，预硬化模具材料会用于更多的模具类型。在冷作模具钢方面，应大力推广国际通用、性能较好的冷作模具钢，并积极开发高耐磨、高韧性模具钢及高性能的粉末冶金模具钢，以适应大型、精密、复杂、长寿命模具的需要。

模具热处理技术发展的趋势是更多地采用真空热处理、各种模具表面强化技术及预硬化技术，进一步细化钢材组织，提高模具的表面质量和力学性能。

四、模具材料的类别

模具的用途很广，各种模具的工作条件差别很大。所以，制造模具所用材料范围很广，从碳钢到合金钢，从铸铁到硬质合金等，无不用到。

就一副模具而言，一般有几个零件，分为结构零件和成型零件两大类。结构零件大多采用一般的结构钢和铸铁，这些将在常用钢铁材料部分中介绍。而成型零件是模具中直接参与产品加工成型的零件，包括凸模、凹模、型腔、型芯等，这些零件在性能和精度等方面的要求比结构零件要高得多，自然对材料的要求也高得多，它们主要用各类专用合金钢来做，少量要求不高者可以用碳素钢来做。通常我们所说的模具钢主要就是用来制造成型零件的钢材，本书将根据模具的用途和工作条件，在典型模具材料部分按冷作模具材料、热作模具材料及塑料模具材料三大类重点介绍。

五、学习本课程的要求

“模具材料及热处理”是学习模具材料的牌号、成分、组织结构、性能特点、热处理及应用的一门专业课程。通过本课程的学习，使学生获得有关金属材料的基本理论知识，重点掌握冲压模具和塑料模具的常用材料及热处理工艺知识，具备合理选择模具材料和妥善安排热处理工艺方案的能力。

本课程主要包括金属学基础、钢的热处理、常用钢铁材料、典型模具材料及热处理四个部分。通过本课程的教学，要求学生达到下列基本要求：

(1) 掌握金属材料的力学性能，了解金属学方面的基本知识，掌握钢铁材料的成分、组织结构、性能之间的相互关系及其变化规律。

(2) 熟悉热处理工艺方法，对常见的机械及模具零件，具有正确实施热处理工艺的能力。

(3) 熟悉各类常用模具材料的牌号、性能、用途及热处理，并具有合理选择材料的能力。

本课程的特点是内容繁杂、抽象，实践性及应用性强，需要记忆的东西较多。因此，在教和学的过程中，要善于抓住材料的“化学成分—组织结构—性能用途”这条“关系主线”，把握课程的内在规律性，学习起来将会有事半功倍的效果。

第一篇

金属材料基础知识

第一章

金属材料的性能

教学目标 本章介绍了金属材料的力学性能、理化性能和工艺性能。要求学生了解金属材料的理化性能和工艺性能，掌握各项力学性能指标，以便于正确选择与使用金属材料。

教学重点 各种力学性能指标（强度 σ_s 、 σ_b ，塑性 ψ 、 δ ，冲击韧性 a_k ，硬度 HB、HRC，疲劳强度 σ_{-1} ）的特征意义和单位。

金属材料是由金属元素或以金属元素为主形成的具有一般金属特征（如导电性、导热性、延展性等）的重要工程材料，包括纯金属及其合金。金属材料资源丰富，具有优良的综合性能，而且还能通过热处理及合金化等措施提高其性能，所以被广泛应用于机械工程领域，包括模具行业。

金属材料的性能一般分为使用性能和工艺性能。使用性能包括各种力学性能和理化性能，以满足使用上的各项要求。使用性能是零件选材及确定尺寸大小的主要依据。工艺性能是指金属材料在采用各种加工方法时的难易程度，包括铸造性能、锻压性能、焊接性能、切削加工性能及热处理性能等。工艺性能是确定零件加工方法的主要依据。

1.1 金属的物理性能和化学性能

一、金属的物理性能

金属的物理性能是金属自身固有的一些属性，在模具生产和使用中涉及的主要有密度、熔点、导电性、导热性及热膨胀性等。

1. 密度

密度是指物质单位体积质量。常用金属材料的密度差别很大，因此，根据密度大小将金属分为轻金属和重金属：密度小于 $5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 的金属为轻金属，如铝（ $2.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ）、镁（ $1.74 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ）等；密度大于 $5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 的金属为重金属，如铁（ $7.87 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ）、

铜 ($8.96 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) 等。模具材料通常要求具有足够的强度和硬度, 因此, 一般采用重金属材料。

2. 熔点

金属由固态向液态转变时的熔化温度称为熔点。纯金属都有固定的熔点, 如锡的熔点为 232°C , 铁的熔点为 1538°C , 钨的熔点为 3380°C 。

熔点不但是金属铸造的重要工艺指标, 而且对模具的选材和工作有着较大影响。

3. 导电性

导电性指金属传导电流的性能。衡量其导电性好坏的指标是电阻率, 电阻率越小, 金属的导电性越好。金属都有导电性, 其中以银最好, 铜和铝次之。纯金属导电性优于合金。

4. 导热性

导热性指金属材料传导热能的性能。一般用热导率来衡量金属材料导热性的优劣, 热导率越大, 金属的导热性越好。纯金属中银和铜的导热性最好, 合金的导热性较差。导热性对零件的热加工工艺及模具散热等有重要意义。

5. 热膨胀性

热膨胀性反映了金属材料的热胀冷缩特性, 其大小一般用线胀系数来表示。精密零件和设备在加工和使用过程中要考虑金属材料的热膨胀性。

6. 磁性

金属材料被磁铁磁化或吸引的性能称为磁性。衡量磁化材料导磁能力的指标是磁导率。根据在磁场中表现出的磁性差别, 金属材料分为铁磁材料 (如铁、钴、镍)、顺磁材料 (如锰、铬、钼) 和抗磁材料 (如铜、锌、锡) 三类。其中铁磁材料在外磁场中能够被强烈地磁化, 在工业领域被广泛用于制作变压器、电机、仪表等, 而抗磁材料则可用来制造要求避免电磁场干扰的零件, 模具钢中就有一类无磁模具钢。

铁磁材料在温度升高到一定值时 (如铁在 770°C) 还会失去磁性, 变为顺磁体。

二、金属的化学性能

金属材料在室温或高温下抵抗介质对其化学侵蚀的能力, 称为金属材料的化学性能, 一般包括耐腐蚀性及抗氧化性。

1. 耐腐蚀性

耐腐蚀性是指金属材料抵抗各种介质 (空气、水蒸气及其他化学物质) 腐蚀破坏的能力。金属材料的腐蚀主要是锈蚀, 它不仅使金属材料受腐蚀而浪费, 严重时还使金属构件遭到破坏, 造成灾难性事故。因此, 一些石油、化工及医药设备等都需要有较高的耐腐蚀性。模具在保管时也要做好防腐防锈处理。

2. 抗氧化性

抗氧化性是指金属材料在高温时抵抗氧化腐蚀作用的性能。钢材零件在热加工时, 会发

生表面氧化和脱碳,造成材料的损耗和零件的缺陷,因此,在零件热加工时,周围要形成一种气氛,以避免金属材料的氧化。另外,对热作模具,由于其长期在高温下工作,要尽量选择抗氧化能力强的材料。

1.2 金属的力学性能

金属材料的力学性能又称机械性能,它是金属在各种外力作用下表现出的变形及抵抗变形和破坏的能力,主要包括:强度、硬度、塑性、韧性及疲劳强度等。这些性能指标是零件设计、选材、加工和使用的主要依据。

在讨论这些力学性能之前,有几个基本概念先要搞清楚。

金属受外力作用时,在材料内部存在着与外力相抗衡的力,称之为内力。单位面积上的内力称为应力。金属材料在受拉伸力 F 作用时,其横截面积 S_0 上的应力 σ 为

$$\sigma = \frac{F}{S_0}$$

式中, F 、 S_0 、 σ 的单位分别为 N、 mm^2 、MPa。

由外力引起的材料尺寸的相对变化量称为应变。如果物体在某一方向上的原始长度为 l_0 , 受力后的变形量为 Δl , 则该方向上的应变 ε 为

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

金属材料在受到外力作用时所产生的变形,一般分为弹性变形和塑性变形两种。所谓弹性变形就是在外力去除之后,由外力引起的变形也随之消失。塑性变形则被永久保留下来。

通过不同类型的试验,可以测定金属材料的各种力学性能指标。

一、拉伸试验及拉伸曲线

金属的弹性、刚度、塑性及强度等都可以通过拉伸试验来测定。

在做拉伸试验时,依据国家标准 (GB/T 228—1987), 选择材料为低碳钢的圆形标准拉伸试样 (如图 1-1)。实验段直径 $d_0 = 10 \text{ mm}$, 标距 $l_0 = 100 \text{ mm}$ 。

在进行拉伸实验时,注意缓慢加载,与实验机相联的计算机会自动绘制出拉伸曲线 (如图 1-2)。随着载荷的逐渐增大,材料呈现出不同的变形特征。

观察和分析拉伸曲线的变化特点,其拉伸过程可以分为以下几个阶段:

1. 弹性变形阶段

在弹性变形阶段,拉伸曲线为直线,如果在此阶段卸载,拉伸曲线会沿原曲线返回,载荷卸到零时,变形也完全消失。

2. 屈服阶段

过了弹性变形阶段后,拉力只是在某一微小范围内上下波动,而变形却急剧增加,曲线

呈平台状，这种现象称为“屈服”。“屈服”是材料开始产生塑性变形的明显标志。

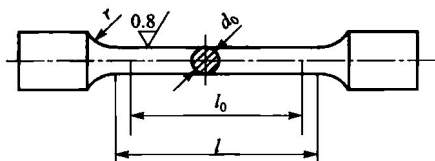


图 1-1 圆形拉伸试样

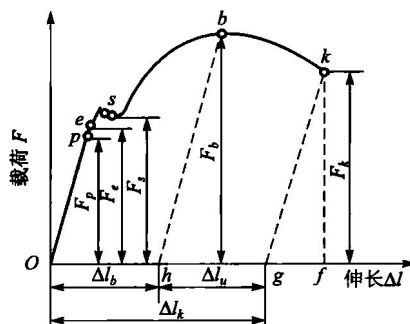


图 1-2 低碳钢拉伸曲线

3. 塑性变形阶段

经过屈服阶段后，拉伸曲线呈现上升趋势，这说明材料的抗变形能力又增强了。若在此阶段卸载，则卸载过程的拉伸曲线为一条斜线，其斜率与弹性变形阶段的直线段斜率大致相等。当载荷卸载到零时，变形并未完全消失，残留的变形即是塑性变形，而相应地消失的变形即为弹性变形。

4. 颈缩断裂阶段

在拉伸曲线达到最高点之前，塑性变形都是均匀的。当拉力增大至极限值时，在承载力最薄弱的截面处，试样出现局部横截面急剧收缩，这一现象称为颈缩。颈缩出现后，曲线不升反降，因为颈缩导致试样截面减小，使得试件继续变形所需载荷也减小。所以，拉伸曲线呈现下降趋势，直至最后在 k 点断裂。试样的断裂位置处于颈缩处。

上述拉伸过程中，弹性变形—屈服—塑性变形—颈缩—断裂等阶段比较清楚，但这只是对低碳钢等塑性材料而言，而铸铁等脆性材料则在无明显塑性变形现象时便已断裂，前者称为韧性断裂，后者称为脆性断裂。

二、弹性与刚度

弹性是指金属材料在外力作用下产生弹性变形的能力。在弹性变形范围内（即拉伸曲线的直线部分），金属材料能够承受的最大应力称为弹性极限，用符号 σ_e 表示，单位为 MPa。

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0}$$

式中， F_e 是材料产生完全弹性变形时的最大拉力（N）；

S_0 为试样的原始横截面积（ mm^2 ）。

弹性极限值越大，说明该材料的弹性越好。