

现金流量高增长期

1999-2000

现金流量高增长期

1999

2000

2001

2002

2003

2004

2005

2006

2007

2008

2009

2010

76.2721
291

低合金高强度鋼

(16 锰)

冶金工业部鋼鉄研究院

低合金高强度鋼 (16 錳)

冶金工业部鋼鉄研究院

冶金工业出版社出版 (地址: 北京市灯市口甲 45号)

北京市書刊出版业营业許可証出字第 093 号

冶金工业出版社印刷厂印 新华書店发行

—— * ——

1959年 12 月第一版

1959年 12 月北京第一次印刷

印数 2,720 册

开本 787×1092 · 1/32 · 40,000字 · 印张 2 $\frac{6}{32}$

—— * ——

統一書号 15062 · 1957 定价 0.27 元

这本小册子简单地介绍了低合金高强度钢的特点,以及对这种钢的性能的基本要求,概括地叙述了低合金高强度钢的冶炼、铸锭、轧制和热处理等生产工艺过程。对于我国目前大量生产的“16锰”钢号,一年来的生产使用情况,研究检验结果,归纳整理系统地作了介绍。在社会主义建设大跃进期间,它不仅对于生产、设计和使用部门在选择和使用钢材时有所参考。对于低合金高强度钢的进一步发展推广,也将起一定的促进作用。这本小册子由冶金工业部钢铁研究院刘嘉禾、熊滋林、王祖滨、高占芳、姚泽雄等同志集体编写。

目 录

前言.....	1
1. 对低合金高强度鋼性能的基本要求.....	4
2. 各种元素对低合金高强度鋼性能的影响.....	8
3. 低合金高强度鋼的冶炼和浇鑄.....	17
4. 低合金高强度鋼的軋制和热处理.....	27
5. 低合金高强度鋼“16錳”的生产使用情况及 檢驗数据.....	31
6. 国外类似鋼种的化学成份及机械性能.....	59
結束語.....	64

前 言

随着工业交通和科学技术的发展，一般碳素鋼已不能滿足重大建筑結構和新型机器設備的需要。近年来，世界各国都在大量发展低合金高强度鋼，因为它不仅强度高，屈服强度比一般碳素鋼高百分之五十以上，耐腐蝕性能好，时效傾向小，并且具有良好的焊接性能。生产低合金高强度鋼一般都是利用矿石或废鋼中残余合金元素如銅、磷、鎳、鉻等，或者加入一些供应方便价格低廉的合金元素如硅、錳等，不需要消耗大量的貴重合金。对于厚度較小的鋼材，軋后便可直接使用，一般不需要經過复杂的热处理工序。因而成本低，生产过程简单，适合于大量生产条件。低合金高强度鋼的应用范围很广，在車輛制造方面，各国都广泛用它来制造重型卡車、自动卸料車、拖車、铁路貨車、矿車及无軌电車等，因为不仅可以节约鋼材，而且还能減輕車身自重增加装载能力。在船舶制造方面，低合金高强度鋼已成为制造大型貨輪，駁船等不可缺少的鋼种。在石油工业方面，近年来大量用它来制造鉆井架、輸油管及貯油塔，以节约鋼材延长設備寿命。在起重运输設備方面，过去一向用碳素鋼制造起重机、运输帶、料仓及料斗，現在已逐漸被低合金鋼所替代。在农业机械方面，由于低合金高强度鋼具有高的强度和良好的耐腐蝕性能，許多国家已采用它来制造拖拉机、联合收割机及脫穀机等。此外大跨度桥梁以及重要建筑結構，低合金高强度鋼早已被采用并且日益获得推广发展。目前世界各国低合金高强度鋼的牌号很多，苏联 1957 年頒布的 ГОСТ

5058—57 列有 24 个鋼种，其他国家的牌号总計約在百种以上。

我国从 1957 年起，首先在鞍鋼及太原鋼厂試制成功苏联鋼号“25 錳硅”高强度鋼筋及“30 鈦”汽車縱梁用鋼板。随后鞍鋼及上鋼等厂先后掌握了民主德国鋼号 ST 52 (16 錳) 的生产工艺，“16 錳”試制成功并投入生产以后，不仅解决了汽車縱梁及高压反应筒的鋼材問題，也为建筑結構增加了一个新的鋼种。1959 年为了制造大型貨輪的需要，又开始进行了“16 錳鋁”及“16 錳鋁鈦”的生产試制工作。由于低合金高强度鋼的优良性能和令人滿意的使用結果，現在已經引起了各方面的重視。

在低合金高强度鋼的研究工作方面，1956 年金屬研究所曾系統地研究了硅、錳、銅、鉬、鈦、磷等元素对低合金高强度鋼机械性能的影响，在 Si—Mn—Cu、Mn—Si—Cu—P、Si—Mn—Cu—P—Mo 三个系統中，确定了屈服强度达到 >35 公斤/毫米² 时的成分范围，并将这些鋼种在大冶鋼厂分別用平爐及轉爐进行了半生产試驗，性能达到了預期的結果。1958 年鋼鐵研究院、鞍鋼与第一汽車厂合作进行了“16 錳”的生产試制并建立了制造过程中的全部技术規程。建筑科学院、焊接研究所、铁道科学研究院、鋼鐵研究院、大連造船厂及大連工礦車輻厂等对“16 錳”的焊接性能进行了較为系統的工作，找到了适宜的焊条，制訂了工艺規程。为了寻找結合我国資源的造船用低合金高强度鋼种，上海材料研究所与上海鋼厂等单位对“16 錳”、“16 錳”加銅、“16 錳”加鈦、Mn—V—Ti、及 Si—Cr—Mo—V—Cu 等鋼号作了对比試驗。冶陶所与大冶鋼厂进行了 Mo—B 鋼的試驗。根

据研究结果认为“16 锰”在正火状态，Mn—V—Ti 及 Mo—B 钢在轧制状态，都具有良好的可焊性，可以分别用作不同强度的造船用钢板。钢铁研究院进行了加铝改善“16 锰”钢低温冲击韧性的试验，并与鞍钢合作进行了“16 锰铝”的生产试制，与上海材料研究所等单位合作完成了“16 锰铝”低温冲击韧性及焊接性能的检验。在 1958 年召开的船舶车辆专业用钢会议上它被采纳为船板用钢种。为了提高“16 锰铝”的强度，使能适合大型货轮的要求，1959 年钢铁研究院与鞍钢又进行了“16 锰铝钛”的试验研究工作。研究了不同含铝量、含钛量以及调整碳、硅、锰成份，改变工艺过程对该钢机械性能的影响。研究的初步结果指出，“16 锰铝”适合于作为屈服强度不小于 35 公斤/毫米²的钢种，“16 锰铝钛”适合于作为屈服强度不小于 40 公斤/毫米²的钢种，这两个钢种已被采纳列入部颁标准草案中。

虽然低合金高强度钢的生产和研究工作才刚刚开始，但已经引起了各方面的重视。许多单位都希望知道我国生产的低合金高强度钢，特别是“16 锰”的各种性能和使用情况，作为推广与使用时参考。为了纪念我国国庆十周年，我们收集了各研究单位和生产使用工厂的一些研究试验报告，归纳整理编写成这本小册子，由于水平所限，错误和遗漏之处很多，希读者指正。

1. 对低合金高强度鋼性能的基本要求

低合金高强度鋼必須具有比一般碳素鋼优良的性能。

对于大量工程用鋼來說，性能至少应包括以下几个方面：强度、塑性、韌性、冷脆傾向性、时效傾向性、疲劳强度、焊接性能、耐腐蝕性能和冷热加工性能。

对于低合金高强度鋼性能的基本要求，簡述如下：

1) **强度** 强度性能包括屈服强度 ($\sigma_{0.2}$) 和抗张强度 (σ_b)。

屈服强度表示对微量塑性变形的抗力，它被使用在沒有交变載荷或者交变載荷仅有次等意义的結構强度計算中，屈服强度愈高，則截面可愈小*，节省的金屬愈多。屈服强度一般指剩余伸长等于其原长 0.2% 时的应力。生产和实践表明，低合金高强度鋼的屈服强度最低应为 34—36 公斤/毫米²，这相当于碳素鋼“鋼三”的 1.5 倍。

抗张强度表示对巨量塑性变形的抗力，在一般强度計算中不应用这个数值，有意义的是屈服强度和抗张强度的比值，即所謂屈服比 σ_b/σ_s 。它永远小于 1，这个值愈小，也就是說二者之差愈大，則金屬結構在应力超过屈服强度工作时的可靠性愈大。从另一方面來說，这个值愈大，則金屬能更有效地被利用，因而在实际使用中，有一个理想的比值，大約在 0.65—0.75 之間。

* 在实际中有时必須考虑到刚度，因此截面的縮小不完全决定于根据屈服强度算出来的数值，而需要考虑到刚度的要求。

由此低合金高强度鋼的抗张强度最低应为 48—63 公斤/毫米²。

2) 塑性 低合金高强度鋼在具有高的强度同时必須保証在加工和使用中有足够的塑性。

塑性表示經受巨量残余变形而不断裂的能力。一般用延伸率 (δ) 和断面收縮率 (ψ) 来衡量。对大多数在抗张試驗中产生縮頸的塑性金屬來說，均匀变形的值 (由 δ 所表示) 要比集中变形 (由 ψ 所表示) 的值小得多。因此用断面收縮率来表示塑性要比用延伸率表示更为合理。但在实际檢驗时，特别是板材試样的檢驗，測定 δ 比 ψ 简单，所以一般仍用 δ 表示。

低合金高强度鋼长試棒的延伸率 (δ_{10}) 的最低值应不小于 18%，断面收縮率应不小于 50%。

3) 韌性 韌性表示使金屬断裂所需要的功。所耗的功愈大則韌性愈好。

实际中一般都測定冲击韌性，即在負荷增长极迅速——冲击——的条件下，使金屬断裂所耗的功。冲击韌性值是反映金屬質量的最敏感指标。金屬組織中的极小变化 (譬如晶粒变大或变小、夹杂物的大小、形状和分布、有无气孔等) 都会显著地改变冲击韌性值。一般認為冲击韌性是最敏感地反映金屬断裂阻力和引起金屬脆性的各种过程的特性。因而虽然冲击韌性值不直接用在强度計算中，但冲击韌性檢驗在实际应用中認為是很重要的一項。

生产和使用实践表明，低合金高强度鋼在常溫 (+20°C) 时，以标准試样檢驗所得到的冲击韌性值，橫向应不小于 6 公斤—米/厘米²，縱向应不小于 3 公斤—米/厘米²。

4) **冷脆傾向性** 低合金高强度鋼应保証結構能在低溫下工作。当溫度降低到一定程度时，金屬一般都呈脆性，即不經塑性变形而断裂。金屬随溫度降低而变脆的这种性能，冲击韌性能够最明显地反映出来，即溫度降低时，冲击韌性也降低，当降低到一定的所謂临界溫度时，金屬就呈現脆性状态。

在实际檢驗中一般測定 -40°C 时金屬变脆情况，因为这个溫度是結構在使用时最常遇到的最低溫度。另外这个溫度对大多数低合金高强度鋼和碳素鋼來說最明显地显示出冷脆极限。

按照研究試驗資料，低合金高强度鋼在 -40°C 时的冲击韌性值比 $+20^{\circ}\text{C}$ 时降低应不超过50—60%，即 -40°C 时絕對值应不小于3—4公斤—米/厘米²。

5) **时效傾向性** 低合金高强度鋼应具有小的时效傾向性。

时效傾向性表示金屬經過一定时期以后，韌性大大降低而变脆的性能。有时效傾向的鋼在加工变形和 $100\sim 300^{\circ}\text{C}$ 加热以后，强度增高，冲击韌性大大降低。这样使得原始状态的金屬（虽有較高的机械性能）在經加工、加热、以及长时期工作以后，不能保証可靠地使用。

一般用經人工时效（拉伸或压縮10%，在 250°C 保持1小时）以后，冲击韌性的降低来估价金屬的时效傾向性。

低合金高强度鋼經人工时效以后的冲击韌性值比时效前常溫时的值，降低不应超过40—50%。

6) **疲劳强度** 疲劳强度表示金屬經受应力的周期变化而不断裂的能力。疲劳强度与鋼的抗张强度，金屬的表面状

态以及鋼的質量有密切关系，一般低合金高强度鋼的疲劳强度約为抗张强度的50%左右。

7) 焊接性能 目前愈来愈广泛地采用焊接方法来制造金屬結構，因此低合金高强度鋼必須具有良好的焊接性能。

焊接性能包括两个方面：一方面是在一定的焊接工艺条件下，能經受焊接时所发生的热周期作用而不产生裂紋。另一方面是焊接結構在焊后的性能不低于母材的性能。

应该指出，金屬是否可以焊接，在很大程度上决定于焊接工艺的选择，同样的金屬在不同的工艺条件下可以有不同的表现。

由于焊接过程中的变化复杂和多样性，不可能只用某一种方法来檢驗金屬的焊接性能，同时檢驗方法本身也比较复杂。到目前为止，用一定的量来表示焊接性能的方法还不多。

对于低合金高强度鋼焊接性能的基本要求是：保証焊接后不产生裂紋、焊接結構有良好的机械性能、焊接工艺簡便易行。

8) 耐腐蝕性能 腐蝕过程是金屬与周围介質所起化学和局部电解作用而逐漸損坏的过程。对于大量工程用鋼來說，常遇到的介質是大气、海水及河水，这些介質所起的作用是不同的，因此又有耐大气腐蝕和耐海水或河水腐蝕之分。

金屬的耐腐蝕性能除了和金屬的化学成份有关外，还和其他很多因素有关，如表面情况、組織均匀情况、非金屬夹杂純洁度以及残余应力等等。

低合金高强度鋼必須具有比碳素鋼較好的耐腐蝕性能，因为使用低合金高强度鋼后，金屬的截面相应的減小了，腐

蝕造成的影响对于小截面要比大截面来得严重。

对于耐腐蚀性能的估价标准一般采用试样或成品每年厚度减少多少毫米或单位面积重量减少多少 (克/米²) 来衡量其平均腐蚀稳定性。如用厚度表示时, 低合金高强度钢每年的腐蚀厚度不应大于 0.025 毫米, 在海水中每年不应超过 0.04 毫米。

9) 加工性能 低合金高强度钢经切削加工、冷热压力加工, 特别是局部加热变形以后, 性能不应显著降低。为了恢复其性能, 尽可能不采用特殊的热处理, 在切削加工时不应要求特别刀具, 也不应显著降低加工速度。

2. 各种元素对低合金高强度

钢性能的影响

碳——碳几乎对上述所有性能都有影响。随着钢中碳含量增加, 屈服强度、抗张强度和疲劳强度均提高。抗张强度的提高比屈服强度来得多, 所以增加碳含量, 使屈服比 σ_s/σ_b 降低。增加碳含量使钢的塑性和韧性降低, 使钢的冷脆倾向性和时效倾向性提高。

当碳含量超过 0.23% 时, 钢的焊接性能变坏。碳高时钢的塑性降低, 钢的变形能力减弱, 因而对焊接过程中产生的热应力和相变应力敏感增大, 焊接结构的机械性能则大大降低。因此用于焊接结构的低合金高强度钢, 含碳量一般不

宜超过0.2%。

由于碳能提高鋼的冷脆傾向性，特別当磷高时更为严重，对于含磷高的低合金高强度鋼，含碳量不应超过0.1—0.12%。

碳能提高鋼的淬透性，为了使不同断面的鋼材具有相同的物理机械性能，特别是断面較大的鋼材，提高碳含量是有利的。

提高碳含量会降低低合金高强度鋼的耐大气腐蝕性能。

由此可见，碳在鋼中的主要作用是提高强度，对其他性能都是不利的，因此在低合金高强度鋼中，在保证一定强度的条件下，降低碳含量是有利的。

錳——錳在低合金高强度鋼中是最常用的元素。錳能提高鋼的强度。当錳含量增加时，屈服强度和抗张强度的提高相差不多，因此屈服比几乎不改变，但塑性将略有降低。

据文献資料，錳含量在0.8—1.0%以下不会降低鋼的冲击韌性，按照另外一些資料，在低碳鋼中錳还会提高韌性。

关于錳对冷脆傾向性的影响，目前有不同的說法。一些資料証明，小于1%时不会降低冲击韌性而且降低临界变脆溫度，即减小鋼的冷脆傾向性，比較一些新的研究錳对低合金鋼脆裂敏感性的資料指出，当錳含量一直提高到1.6%时，都会降低临界变脆溫度，而且还提高鋼在韌断时的冲击韌性。根据某些資料認為，錳会提高低碳鋼的时效傾向性。

應該指出，錳在鋼中是用作脫氧剂的，它能固定硫因而减少硫对鋼的性能的坏影响。

錳会增加鋼对过热和冷却速度的敏感性，易使晶粒粗化，这对鋼的性能不利。

当碳含量低时，錳在1.6%以下，对焊接性能不起什么坏的影响，同时由于錳能結合一部分硫，对焊接性能有利。

錳不提高鋼的耐腐蝕性能，增加錳含量还会降低鋼在酸中，特别是在硫酸中的腐蝕稳定性。

錳是比較便宜而又非稀有的合金元素，当鋼中含量少于1.6%并和其他元素在一起时，能保証鋼在軋制以后具有相当好的性能。因此在低合金高强度鋼中，錳是被广泛采用的合金元素。

硅——硅显著地提高鋼的抗张强度和弹性极限，而屈服强度則提高得較少。因此随着硅含量增加，屈服比将降低，当碳含量低时，塑性降低不多。

关于硅对韌性的影响，有着不同的說法，按某些資料，在低碳鋼中当硅含量不超过1%时，能提高冲击韌性，与此相反按另外一些資料，在这样高的硅含量时，冲击韌性将显著降低。

硅显著地提高鋼的临界变脆溫度，这一点是比較肯定的，含量愈高，起的作用愈大，因而硅增加了鋼的冷脆傾向性。硅少許提高鋼的时效傾向性。

关于硅对焊接性能的影响也是个爭論的問題，一些文献資料指出，硅使碳素鋼的焊接性能变坏。但另一些資料証明，当鋼中碳含量低，而又有其他合金元素存在时，硅含量即使增加到1.2%，也不会对焊接性能起什么坏的影响。

硅对鋼耐腐蝕性能的影响不大，个别資料指出，当硅单独存在或与其他合金元素在一起的时候，能稍改善鋼的耐腐

蝕性能。

綜合上述，在低合金高强度鋼中，硅可以用来提高鋼的强度，当其含量不太多时，对其他性能不会起什么坏的影响。

磷——磷一般被認為是鋼中的有害元素，因此其含量愈少愈好。但最近以来很多研究表明，在一定的条件下，磷可以用作合金元素。

磷对鋼的强化作用仅次于碳，而且能提高屈服比，但显著地降低鋼的冲击韌性，特别是低溫冲击韌性。磷显著地提高临界变脆溫度，增大鋼的冷脆傾向性。

磷的有利作用表现在它能大大提高鋼的抗大气腐蝕性能，这一作用当和其他元素在一起的时候更为显著。

含磷（小于0.15%）低合金鋼的生产实践表明，当鋼中碳含量低而又有其他合金元素存在时，在生产工艺上加以調整就能充分利用磷对提高强度和抗大气腐蝕性能的有利作用，而減弱或消除它对降低鋼的韌性和增加冷脆傾向的不利作用。

硫——硫是鋼中的有害元素，因为它会引起鋼的热脆性，所以鋼中含硫量愈低愈好。

但某些資料表明，硫的这种危害性，在合金鋼中特别是錳含量比較高的时候，会大大減弱。当鋼中加入一些能生成稳定硫化物的合金元素如鈦、鋁等，也能把这种危害性限制到較低程度。

鋁——鋁一般是作为脫氧剂加入鋼中的。

由于一般低合金鋼中加入量不多，而它和碳又不起直接作用，因此对于强度影响不大。

鋁在低合金鋼中的主要作用表现在它能显著地提高鋼在

常溫時的冲击韌性、降低冷脆傾向性和時效傾向性。這是由於加入少量鋁，細化了鋼的晶粒並將鋼中的氮固定。一些文獻資料指出，鋁還能對滲碳體起球化作用，這對於提高鋼的韌性可能會有利的。

鈦——鈦是強烈的脫氧劑。用鈦脫氧比用鋁脫氧非金屬夾雜少，因為鈦的氧化物能和鋼中其他脫氧產物結合成低熔點的復合物，因而使非金屬夾雜容易浮飄到渣中。鋼中加入少量的鈦能顯著地提高屈服強度而抗張強度提高得較少。因此隨着鈦含量增加，屈服比提高，但塑性略有降低。當鈦加入量較多，而鋼中碳含量又高時，強度顯著提高但塑性和韌性則大大降低。

鈦和鋁一樣，能降低鋼的冷脆傾向性和時效傾向性。

鈦能細化晶粒，鈦的細化晶粒作用雖然沒有鋁強烈，但和鋁在一起的時候，鈦除了使晶粒細化而外，還能使晶粒均勻化，鈦對降低時效傾向性的作用比鋁強得多，因為鈦除了把鋼中的氮固定而外，還固定了一部分碳。

鈦和鋁一樣能減少硫的偏析，鈦能減少由於磷高所引起的脆裂傾向。

鈦能提高晶粒長大溫度，也就是能減少鋼的過熱敏感性。

鈦小於0.2%時，能改善鋼的焊接性能，因為它能降低焊接過程中鋼在空氣中的淬硬性。

加入少量的鈦，就能顯著地改善鋼的耐海水腐蝕性能。

銅——銅是低合金高強度鋼常用元素之一。銅能提高鋼的強度，而且屈服強度的增加比抗張強度多，因此屈服比增高。