


# 普通低合金鋼的 焊接及应用

第一机械工业部 焊接研究所编  
机械科学研究院



机械工业出版社

# 普通低合金钢的焊接及应用

第一机械工业部焊接研究所编  
机械科学研究院



机械工业出版社

本书是在广泛征集、总结国内生产、科研经验的基础上整理编写的。书中比较系统地介绍了我国发展的普通低合金钢（强度钢、耐蚀钢、低温钢、耐热钢）的性能、焊接特点以及实际应用，内容丰富，密切结合生产实践，体现了毛主席关于“**从群众中来，到群众中去**”的伟大教导，是大力发展和推广普低钢的参考资料。

本书主要读者对象为从事普通低合金钢焊接工作的工人、技术人员，也可供有关科研、设计、教学部门参考。

## 普通低合金钢的焊接及应用

第一机械工业部 焊接研究所编  
机械科学研究院  
(凭证发行)

\*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

北京新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本 850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub>·印张 10<sup>1</sup>/<sub>2</sub>·插页 3·字数 271 千字  
1971 年 6 月北京第一版·1971 年 6 月北京第一次印刷

\*

统一书号：15033·（内）420·定价 1.10 元

## 毛主席语录

领导我们事业的核心力量是中国共产党。

指导我们思想的理论基础是马克思列宁主义。

让哲学从哲学家的课堂上和书本里解放出来，变为群众手里的尖锐武器。

我们的方针要放在什么基点上？放在自己力量的基点上，叫做自力更生。

打破洋框框，走自己工业发展道路。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

大海航行靠舵手  
千辛万苦为人民

林彪一九七  
十一月  
廿九日

## 前 言

普通低合金钢,是我国钢铁战线上的工人阶级,高举毛泽东思想伟大红旗,落实毛主席“**独立自主、自力更生**”,“**备战、备荒、为人民**”的伟大战略方针,结合我国实际情况,为大力发展钢铁工业而闯出的新体系。

毛主席亲自发动和领导的无产阶级文化大革命,为发展我国普通低合金钢开辟了更广阔的道路。

铁水奔流,冲破了帝、修、反的封锁。

钢花四溅,开遍了祖国的大地。

外国没有的普通低合金钢钢种,我国工人阶级炼出来了!“反动学术权威”认为采用普通低合金钢不行的新产品,我国工人阶级造出来了!被刘少奇一伙扼杀的我国丰富资源,得到了愈来愈广泛的利用。

用普通低合金钢制造的我国第一批大型化肥设备、乘风破浪的“万吨轮”、举世无双的南京长江大桥和具有世界先进水平的鱼腹式大型缶车……等,充分显示了我们中华民族有自立于世界民族之林的能力。

为适应发展我国普通低合金钢的大好形势,根据广大工农兵的迫切需要,我们反复学习了毛主席《在延安文艺座谈会上的讲话》,批判了“**写书危险论**”的错误思想,在广泛征集各兄弟单位科研、生产经验总结的基础上,通过办学习班,集体编写了这本书。其目的,就是把工农兵在普通低合金钢的焊接及其应用方面的好经验,再传播到工农兵群众中去,以使普低钢的焊接“**向生产的深度和广度进军**”

这里编写的是用毛泽东思想武装起来的我国工人阶级的汗水和智慧的结晶;是无产阶级文化大革命的丰硕成果;是我国

1102938

各条工业战线上的工人、革命干部和革命知识分子献给伟大领袖毛主席的赤胆忠心!

本书收集的仅是目前试制中初步的总结,仅供参考,希望广大工人、技术人员在今后的大量生产应用中,不断改进,不断提高,把我国普通低合金钢应用提高到一个新的水平。

由于我们对毛主席著作学习的不够,能力有限,编写中难免存在许多缺点和错误,望读者批评指正。

在该书的编写过程中,得到了全国各有关厂矿、设计和科研等单位的大力协助并提供了大量资料,在此表示感谢。

第一机械工业部焊接研究所  
机械科学研究院

1970年11月

# 目 录

## 前言

第一章	普通低合金钢及其焊接特点	1
第一节	我国的普通低合金钢	1
第二节	普通低合金钢中的合金元素	5
第三节	普通低合金钢的焊接特点	10
第四节	普通低合金钢的可焊性试验	22
第五节	普通低合金钢的焊后热处理和消除应力问题	24

### 30~40 公斤级普通低合金结构钢的焊接

第二章	16 锰钢的焊接	30
第一节	16 锰钢的基本性能	30
第二节	16 锰钢的加工工艺性能	33
第三节	16 锰钢的可焊性	38
第四节	16 锰钢的手工电弧焊	43
第五节	16 锰钢的埋弧自动焊	52
第六节	16 锰钢的二氧化碳碳气体保护焊	61
第七节	16 锰钢的产品焊接及应用举例	65
第三章	15 锰钒及 15 锰钛钢的焊接	76
第一节	15 锰钒及 15 锰钛钢的基本性能	76
第二节	15 锰钒及 15 锰钛钢的加工工艺性能	84
第三节	15 锰钒及 15 锰钛钢的可焊性	85
第四节	15 锰钒及 15 锰钛钢的焊接材料	87
第五节	15 锰钒及 15 锰钛钢的焊接工艺	91
第六节	15 锰钒及 15 锰钛钢在焊接产品上的应用实例	92
第四章	09 锰 2 (铜)及 09 锰 2 硅钢的焊接	98
第一节	09 锰 2 (铜)及 09 锰 2 硅钢的基本性能	98
第二节	09 锰 2 (铜)及 09 锰 2 硅钢的可焊性及焊接工艺	100
第三节	09 锰 2 (铜)及 09 锰 2 硅钢的焊接产品举例	103



第五章	含铌半镇静钢的焊接 .....	105
-----	-----------------	-----

### 45~60 公斤级普通低合金结构钢的焊接

第六章	15 锰钒氮钢的焊接 .....	111
第一节	15 锰钒氮钢的基本性能 .....	111
第二节	15 锰钒氮钢的冷、热加工工艺性能 .....	112
第三节	15 锰钒氮钢的焊接 .....	117
第四节	15 锰钒氮钢的产品应用举例 .....	123
第七章	18 锰钼铌钢的焊接 .....	124
第一节	18 锰钼铌钢的基本性能 .....	124
第二节	18 锰钼铌钢的加工工艺性能 .....	125
第三节	18 锰钼铌钢的焊接材料 .....	131
第四节	18 锰钼铌钢的产品应用举例 .....	140
第八章	14 锰钼钒钢的焊接 .....	143
第一节	14 锰钼钒钢的基本性能 .....	143
第二节	14 锰钼钒钢的加工工艺性能 .....	147
第三节	14 锰钼钒钢的焊接材料 .....	150
第四节	14 锰钼钒钢的产品应用 .....	150
第九章	14 锰钼钒硼钢的焊接 .....	154
第一节	14 锰钼钒硼钢的基本性能 .....	154
第二节	14 锰钼钒硼钢的加工工艺性能 .....	156
第三节	14 锰钼钒硼钢的焊接材料 .....	163
第四节	14 锰钼钒硼钢的应用情况 .....	167

### 普通低合金专业用钢的焊接

第十章	低温用钢的焊接 .....	169
第一节	我国的低温用钢及其焊接特点 .....	169
第二节	16 锰钢及其焊接接头-40°C 的低温性能 .....	177
第三节	-70°C 用 09 锰 2 钒钢的焊接 .....	182
第四节	-90°C 用 06 锰铌钢的焊接 .....	188
第五节	-120°C 用 06 铝铜铌氮钢的焊接 .....	193
第六节	-196°C 用 20 锰 23 铝钢的焊接 .....	197
第十一章	石油耐蚀钢的焊接 .....	206

第一节	石油耐蚀钢的基本性能 .....	206
第二节	含铝低合金钢的焊接特点 .....	209
第三节	15 钼钒铝钛稀土钢的焊接 .....	210
第四节	12 铝钼钒钢的焊接 .....	212
第五节	15 铝 3 钼钨钛和 15 铝 2 铬 2 钼钨钛钢的焊接 .....	218
第十二章	耐大气及耐海水腐蚀用钢的焊接 .....	225
第一节	发展耐大气及耐海水腐蚀用钢的意义及合金元素 对其性能的影响 .....	225
第二节	我国耐大气及耐海水腐蚀用钢及其焊接特点 .....	227
第三节	09 锰铜磷钛耐大气腐蚀用钢的焊接 .....	230
第四节	10 锰磷铌稀土耐海水腐蚀用钢的焊接 .....	236
第十三章	14 钼钨钒钛硼低合金热强钢的焊接 .....	242
第一节	14 钼钨钒钛硼低合金热强钢的化学成分和基本性能 .....	242
第二节	14 钼钨钒钛硼低合金热强钢的焊接试验 .....	246

### 异种钢的焊接

第十四章	异种钢的焊接 .....	252
第一节	异种普低钢及普低钢与碳钢的焊接 .....	252
第二节	15 锰钒 + 0 铬 13 镍 6 氮异种钢的焊接 .....	253
第三节	无铬镍汽车排汽阀 40 锰 2 + 65 锰 18 铝 5 硅 2 钒异种钢的摩擦焊接 .....	260

### 附 录

附录 I	普通低合金结构钢钢号和一般技术条件 .....	264
附录 II	普通低合金钢用电焊条简明表 .....	269
附录 III	普通低合金钢自动焊用焊丝的化学成分(%) .....	272
附录 IV	普通低合金钢自动焊及电渣焊用焊剂简明表 .....	273
附录 V	选择普通低合金钢焊接材料一览表 .....	275
附录 VI	焊缝金属及焊接接头的机械性能试验 .....	278
附录 VII	普通低合金钢抗裂性试验方法 .....	299
附录 VIII	第一机械工业部、燃料化学工业部 关于钢制压力容器焊接规程(草案) .....	305
附录 IX	几种符号对照表 .....	322

# 第一章 普通低合金钢及其焊接特点

## 第一节 我国的普通低合金钢

### 一. 我国普通低合金钢的发展及其重大意义

我国工业战线的广大革命职工，在无产阶级文化大革命中，在伟大领袖毛主席“**独立自主、自力更生**”方针的指引下，高举“**鞍钢宪法**”光辉旗帜，从我国实际情况出发，充分利用我国资源，利用普通的炼钢设备和炼钢方法，取得了发展普通低合金钢的伟大胜利。到目前为止，试制成功的普通低合金钢的钢种已有一百五十多个，产量比无产阶级文化大革命前的一九六五年增加了近三十倍。一般结构用的普通低合金钢已经配套形成系列。低温、耐腐蚀、高温条件下使用的专业用钢也正在迅猛发展。普通低合金钢的使用范围已遍及国防、化工、石油、电站、车辆、造船、桥梁等国民经济的主要部门，在愈来愈多的重要产品中成功地应用（见图 1-1 ~ 1-4）。

发展普通低合金钢的过程中，始终贯穿着两条路线的斗争。一条是伟大领袖毛主席指引的“**独立自主、自力更生**”道路，从我国实际情况出发，充分利用我国丰富的合金资源，大搞群众运动发展普通低合金钢；另一条是叛徒、内奸、工贼刘少奇鼓吹的洋奴哲学、爬行主义路线，主张依靠资产阶级反动技术“权威”、“专家”，走各国发展碳素钢的老路。一九五七年我国钢铁工人遵照伟大领袖毛主席的教导，利用我国资源试制成功第一个



图 1-1 用普低钢制造的大直径贮氧球缶

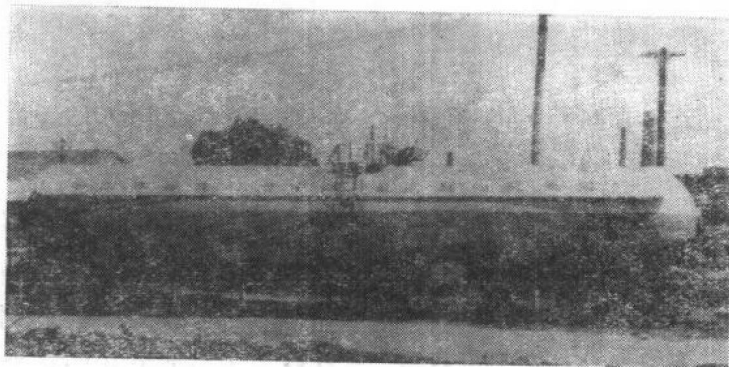


图 1-2 用普低钢制造的大型鱼腹式货车

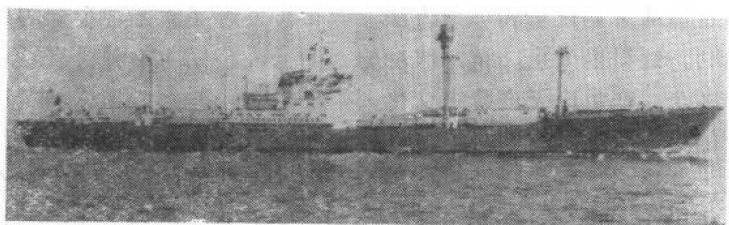


图 1-3 用普低钢制造的万吨巨轮

普通低合金钢种的时候，就遭到了刘少奇在冶金工业系统代理人的刁难和破坏，他们千方百计地贬低发展普通低合金钢的意义，胡



图 1-4 用普低钢制造的大跨度栓焊梁

说什么“照抄外国的碳素钢还抄不过来，搞什么独创？”。一九五八年钢铁工人遵照毛主席关于**破除迷信，解放思想**的伟大教导，又创造出一批普通低合金钢种，受到使用部门的欢迎。可是，这种革命创举又遭到了压制。一九六五年底，为适应机械产品设计改革的需要，又继续发展普通低合金钢。但是，只有在史无前例的无产阶级文化大革命彻底摧垮了刘少奇反革命修正主义路线

之后，普通低合金钢才得到飞跃的发展。短短几年中试制成的普通低合金钢种，比文化大革命前增加了十多倍，产量急剧增长。新试制成功的钢种中，绝大部分是我国独创的，性能很好，有力的支援了国民经济建设。我国发展普通低合金钢的巨大成就，是毛主席无产阶级革命路线的伟大胜利，是无产阶级文化大革命的伟大胜利。

我国的普通低合金钢，是充分利用我国矿藏资源条件发展起来的，原材料立足于国内，完全摆脱了外国的束缚，符合备战的需要。南京长江大桥的建成是一个很好的说明。在建桥初期，苏修撕毁合同不给我们建桥用的钢材，妄图以此卡我们。我国工人阶级以**自力更生，艰苦奋斗**的精神，采用国产的优质普通低合金钢材，建成了这座世界上最宏伟的大桥，给了帝修反一记响亮的耳光，大长了中国人民的志气。

普通低合金钢具有强度高、韧性好、耐磨、耐腐蚀、耐高温、低温等良好性能。许多重要的产品在使用普通低合金钢后，大量的节省了材料，大大的提高了产品质量，延长了产品使用寿命。例如，大型化工容器采用国产普通低合金钢后，重量比原来减轻三分之一；用国产普低钢制成的鱼腹式缶车，与国内最大的缶车比较，载重量提高一倍，而钢材用量却节约了20%；与外国缶车比较，它的自重系数和使用性能也达到先进水平；采矿中使用的挖掘机斗杆，是矿山设备中的重要部件，原来用碳钢制成，使用寿命较短，改用国产的15锰钒钢以后，使用寿命延长到原碳钢斗杆的三倍；某电站的大功率水轮机涡壳，采用16锰钢制造，使自重由原来碳钢的180吨减少到110吨，节省钢材39%。所以，发展普通低合金钢具有巨大的政治、经济意义，是“**独立自主、自力更生**”发展我国工业的一条多快好省道路。

## 二. 我国普通低合金钢的种类

普通低合金钢中，除了碳以外还含有少量其他元素，如锰、硅、钒、钼、钛、铝、铌、铜、硼、磷、稀土等，这些元素叫做合金元素。钢中有了一种或几种这样的元素后，钢的性能就发生

变化，得到一般碳钢所没有的特殊性能，分别具有强度高、耐磨、耐腐蚀、耐高温、耐低温等特点，适于制造各种各样的设备。由于加入的合金元素量不多（在耐低温至 $-196^{\circ}\text{C}$ 的低温钢中，合金元素含量较高），故称为低合金钢。国外低合金钢是较贵的钢种，因为他们不象我国这样富有这么多矿藏元素，不能普遍采用。我国地大物博，资源十分丰富，许多铁矿中已天然带有这些合金元素，以这些矿石作原料，用一般的冶炼炉子和冶炼方法，就可以炼制出各种低合金钢，成本与碳钢差不多。所以，我国低合金钢是很普通的，在钢铁总产量中占很大比例，故称为普通低合金钢。

我国的普通低合金钢大致可以分成四类(见表 1-1)。表中

表 1-1 普低钢的分类

分 类		名 称
强 度 钢	30 公斤级	09 锰 2 (铜)、09 锰 2 硅(铜)、09 锰钒、12 锰、18 钨半
	35 公斤级	16 锰、16 锰铜、16 锰稀土、14 锰钒、14 锰钨、10 锰硅铜、14 锰钨半
	40 公斤级	15 锰钒、15 锰钨、15 锰钒铜、15 锰钒稀土、15 锰钒铜、16 锰钨
	45 公斤级	15 锰钒氮(铜)、14 锰钒钨稀土(铜)、15 锰钒钨(稀土)
	50 公斤级	18 锰钨钨、14 锰钨钒(铜)、14 锰钨钒氮
	55 公斤级	14 锰钨钒硼
耐 蚀 钢	化工、石油用	15 钨钒铝钨钨稀土、08 铝钨钒、09 铝钒钨铜、12 铝钒、12 铝钨钒、08 硅铝钒、09 铝钨铜、15 铝 3 钨钨钨、15 铝 2 铬 2 钨钨钨、12 铬 2 铝钨钒、10 铝 2 钨钨、10 铝 2 铬钨钨
	耐海水、大气腐蚀用	10 锰磷稀土、09 锰铜磷钨、08 锰磷稀土、10 锰磷稀土
低 温 钢		09 锰 2 钒、09 锰铜钨稀土、06 锰钨、06 铝铜钨钨氮、06 铝铜、20 锰 23 铝、15 锰 25 铝 4
耐 热 钢		14 钨钨钒钨钨

主要介绍了与焊接有关的钢种，除第一类强度钢以外，其余均为专业用钢。

1. **强度钢** 这类钢的主要特点是强度高，塑性、韧性良好，焊接及其他加工性能较好。广泛用于压力容器、车辆、船舶、桥梁和其他各种金属结构，是普通低合金钢中的大路货。

强度钢是以钢材的屈服强度大小分类的（这一点与焊接材料以抗拉强度大小分类不同），目前我国应用较广的强度钢，其屈服强度大都在  $30\sim 60$  公斤/毫米<sup>2</sup> 之间，屈服强度更高的钢种尚在试制阶段。表1-1中列出的钢种分成 30、35、40、45、50、55公斤/毫米<sup>2</sup> 六个级别。例如 16 锰钢的屈服强度为 35 公斤/毫米<sup>2</sup> 就称为 35 公斤级的普通低合金钢。

2. **耐蚀钢** 用于制造石油、化工、造船、海上采油、海底电缆等设备，能耐硫化氢、海水、大气等介质的腐蚀。耐蚀钢制成的设备比碳钢设备的寿命要长。

现在我国抗硫化氢用钢已经初步形成系列，其他耐蚀钢正处于大规模试制、试用阶段。

3. **低温钢** 用于空气分离设备、石油分离设备、各种低温容器及寒冷地区的金属结构。我国已有可在  $-40^{\circ}\text{C}\sim -253^{\circ}\text{C}$  低温下工作的一系列低温钢种，对国外的含镍铬低温钢是一个彻底革命。

4. **耐热钢** 具有高温强度或高温抗氧化性的钢种，用于汽轮机、锅炉等设备。我国的耐热钢尚在试制阶段。目前已试制成性能良好的耐温  $580^{\circ}\text{C}$  的无铬热强钢。但很快就会有一个中国式的耐热钢系统。

## 第二节 普通低合金钢中的合金元素

通常我们把碳钢看成是铁碳合金，实际上工业生产的任何钢种，除了铁与碳之外，还含有许多其他元素，如锰、硅、硫、磷以及微量的氧、氢、氮等。在碳钢中，这些元素的含量极少，而普通低合金钢中则含有一定数量的合金元素，从而获得高强度或

各种特殊的性能。

所谓“合金元素”，乃是人们有目的的向钢中加入某种或某些种元素，通过它们对钢的组织发生作用，以达到预期的性能，故又称作“合金化元素”。碳钢与普通低合金钢的主要区别也就在于此。如在碳钢中加入锰，得到比碳钢强度高、综合性能好的16锰普低钢。

### 一、提高钢材性能的途径

改变钢材性能的问题，实质上就是研究钢的合金化机理，即研究钢的化学成分、显微组织（热处理因素）及钢的性能三者间相互关系问题。

提高钢材性能的一般途径如下：

#### 1. 强化固溶体

钢中加入能溶于铁素体的合金元素，大都可以使铁素体强化。这些元素有：锰、钼、钒、铜、钨、硅、铝、钛、磷等。

其强化机理是：这些元素与 $\alpha$ -铁具有不同的结晶构造，同时具有截然不同的原子体积，当 $\alpha$ -铁晶格中溶有这些异种元素原子时，就使晶格歪扭，嵌镶块尺寸变化，因而促使铁素体强化。目前，我国已生产了许多品种普通低合金钢，如16锰、15锰钛、16锰铜、15锰钛、10锰硅、09锰2硅钢等，就是依靠加入锰、铜、钒、硅等合金元素，使铁素体得到固溶强化的。因此，普通低合金钢与碳钢比较，有高得多的强度及其他性能。

#### 2. 细化晶粒

钢中加入合金元素铝、钒、钛等作为脱氧剂，可以使晶粒显著细化，得到细晶粒钢，它比粗晶粒钢在各种性能上都具有优越性。如提高强度、塑性、韧性，降低低温脆性转变温度、降低过热以及晶粒长大倾向等等。除铝、钒、钛外，铌、硼、钼、钨、铬、镍等合金元素均能不同程度细化晶粒，从而改善钢的性能。如某厂生产的09锰铜磷钛钢，是利用钛与铝细化晶粒、弥补了铜与磷的不足，改善了低温冲击韧性及其他性能。

#### 3. 改变结晶组织



碳钢在常温下具有铁素体+珠光体组织，而普通低合金钢如18 锰钼铌、14 锰钼钒硼等钢种，由于加入了微量多种合金元素，改变了相变动力学，使过冷奥氏体更加稳定，中温转变移向较低温度区间，在所谓贝氏体转变温度范围内进行奥氏体分解，故常温下显微组织由贝氏体或贝氏体+铁素体或贝氏体+马氏体组成。有大量贝氏体组织的钢材，其强度比碳钢高得多、并具有良好的塑性和韧性等综合机械性能。除钴以外，所有能溶于铁素体内的合金元素，均能使过冷奥氏体稳定性增高，使C-曲线向右下方移动，奥氏体中温转变得贝氏体型转变产物。这些合金元素是：锰、钼、钒、铜、钨、铝、硅、铬、镍等。

#### 4. 用碳化物及金属间化合物强化铁素体

向钢中加入能与碳形成碳化物，与其他合金元素形成金属间化合物的元素。这些碳化物或金属间化合物以临界弥散状质点析出后，阻碍铁素体沿滑移面的滑移，因而增加了对外力作用的抗力，提高了强度和硬度。

形成碳化物元素有：铌、钛、钒、钽、钼、钨、铁、锰、铜、铬等。

形成金属间化合物合金元素有：钼、钨、钛、铌等。

#### 5. 热处理

当工程上对钢材性能提出特殊的或更高要求时，除从上述四个途径谋求解决外，还必须配合以适当的热处理手段。根据不同条件和要求，通过调质、正火、回火、退火、时效某工艺措施实现之。强度级超过40公斤的高强度和超高强度钢，一般都要进行调质或正火处理。

### 二、合金元素对钢材性能的影响

合金元素在钢中的存在形式，不外乎存在于固溶体中和化合物中两种。但是，合金元素在钢中的作用，却是非常复杂的，尤其在多种元素共同作用情况下，往往不是简单的叠加关系。因此，这里只能从每种元素在钢中单独作用讨论起。各合金元素对钢材性能的影响如下：

1. 碳——主要强化元素之一。可提高强度及淬硬性。但碳量