

工业部
物资

金属材料

石油工业部物资供应管理局编

业出版社

前 言

《石油工业常用材料知识丛书》是为适应石油中等专业学校物资管理专业教学和各石油企业物资管理人员业务学习的需要而组织编写的。内容主要介绍石油工业专用器材和有关物资的性能、规范、用途、计算、检验、保管等基础知识。丛书共分《金属材料》、《非金属材料》、《石油钻采专用管材及焊接材料》等三册，将陆续出版。

这套丛书由夏培清、刘子明同志主编。由于时间局促，水平有限，还存在许多不足之处，谨请广大读者提出批评和意见，以便修改、补充，使之逐步完善。

石油工业部物资供应管理局

目 录

第一章 黑色金属	1
第一节 钢的冶炼	1
第二节 合金元素对钢性能的影响	6
第三节 金属材料的机械性能及加工工艺性能	18
第四节 钢铁的组织结构和热处理	29
第五节 普通钢	38
第六节 优质钢	52
第七节 工具钢	67
第八节 特殊性能钢	73
第二章 一般钢材	92
第一节 钢的压力加工	92
第二节 钢轨及其配件	96
第三节 型钢和线材	106
第四节 钢板和钢带	124
第五节 钢管	140
第六节 金属制品	150
第七节 钢材的质量保管	165
第八节 钢材的检验	179
第三章 生铁、铁合金和铸铁	200
第一节 生铁	200
第二节 铁合金	209
第三节 铸铁	213
第四章 有色金属的纯金属及合金材料	219
第一节 有色金属的特性	219

第二节	铜及铜合金	221
第三节	铝及铝合金	233
第四节	铅、锡、铋和轴承合金	241
第五节	钨、钼、钛、钴粉末冶金及硬质合金	249
第六节	其他有色金属	264
第七节	有色三材	271
第八节	有色金属及合金产品的保管	279

第一章 黑色金属

黑色金属主要是指钢铁，而钢铁又是铁碳合金，它的许多特性，特别是机械性能和加工性能，大都由碳的含量和存在状态所决定。当铁碳合金中碳含量超过2%以上时，就成为脆、硬而不易加工成材的生铁；只有当碳含量在1.7%以下时（而大多在1%以下），才成为钢，也才具有建筑和制造等工业所需要的各种机械和加工性能，而被加工成钢铸件或钢材使用。在碳钢的基础上，如果有目的地再加入一定品种和比例的其他合金元素，就可使我们得到更合乎需要目的的合金钢材。同时也可利用铁的同素异晶转变的原理，采取温度转变的方法；即热处理的方法来改变钢的组织结构，从而使钢产生各种不同的特性，更为广泛地满足各方面的需要。钢是生铁炼成的，生铁不仅碳含量高，而且杂质也多，必须进一步加以冶炼才能得到钢。

第一节 钢的冶炼

炼钢的主要任务，就是根据所需钢种的要求，把生铁中的碳含量去除到规定范围，并使其它元素的含量减少或增加到规定范围。炼钢过程是在1,700°C左右的高温下，把炉料熔化成液体来进行的。不管在什么炼钢炉中冶炼，基本原理都一样。炼钢过程是一个氧化过程，是利用不同来源的氧，如空气中的氧、纯氧、铁矿石(Fe_2O_3)中的氧，来氧化铁水中的碳、硅、锰等元素，使之成为浮在钢水上面的炉渣。同时为提高钢的质

量，还必须尽量减少生铁中所含有害杂质，如硫、磷等，所以在炼钢中还应加入溶剂，如生石灰(CaO)，使硫、磷成为硫化钙和磷酸钙等炉渣而被排出。

在使碳等元素氧化到规定范围后，钢水中仍含有大量的氧，氧是钢中的有害杂质，能使钢塑性变坏，轧制时易产生裂纹。因此，在炼钢的最后阶段还须加入脱氧剂（如锰铁、硅铁和铝等），以除掉钢液中多余的氧；并调整好钢液的成分和温度，在达到要求后就可出钢，把钢水浇铸成锭。

一、炼钢设备

炼钢设备很多，常用的有平炉、转炉和电炉等。

(一)平炉炼钢法

平炉所用主要原料是废钢和铁水（或铁块），辅助材料则有作为造渣剂用的石灰、萤石；作为氧化剂用的铁矿石和作为脱氧剂用的铁合金。根据平炉所用生铁和废钢的比例的不同，采用不同的操作方法。我国普遍采用废钢矿石法操作，生铁约占钢铁料的50~80%，其余为废钢。以空气供氧、煤气、天然气或重油作燃料。按所用耐火材料的不同，分为以镁砖为衬里的碱性平炉和以高铝砖为衬里的酸性平炉两种。由于酸性平炉不能除去磷、硫杂质，所以平炉钢锭的绝大部分都是由碱性平炉炼出来的。

平炉炼钢法具有原料范围宽，设备能力大（近年来世界上最大的平炉容量达到了900吨）、产品种类多和质量好等优点。缺点是熔炼时间长（如300吨平炉，一般需7小时左右），生产率低。为了缩短冶炼时间，平炉已广泛采用吹氧法。如加拿大一工厂的500吨平炉用吹氧法后，每炉钢冶炼时间可缩短到4个多小时。

(二)转炉炼钢法

贝氏麦转炉是把空气从炉子底部吹入铁水中，靠空气中的氧，使铁水中碳、硅、锰、磷等元素氧化时生成的热来炼钢，不用另外加热。此法用酸性耐火材料做衬里，故又叫酸性转炉。因不能除去有害元素硫、磷，使原料受到限制。

托马斯转炉改用碱性耐火材料作炉衬，叫碱性转炉，可以除去铁水中的硫、磷。

我国还有一种侧吹转炉。但不论是底吹或侧吹转炉，由于用空气吹炼，空气所含78%的氮不能参加化学反应，一部分从炉口外逸时带走大量的热，一部分则留在钢中损害钢的质量。而且这两种炉子所能炼的钢种也有限。

氧气顶吹转炉是1952年发展起来的，用纯氧通过吹氧管从炉口吹入铁水中，这种新的炼钢方法的生产速度快。例如250吨氧气转炉每一炉钢的吹炼时间仅需40分钟，几乎只为同样容量的平炉熔炼时间的十分之一。另外还有质量高、成本低、投资少、建设快等优点。如一个年产1,200万吨钢的钢厂，建六个200~250吨的氧气顶吹转炉就够了；如果修建平炉，就需要40座500吨的大型平炉。所以大有取代平炉的趋势。

所有的平炉、转炉，其冶炼过程都是强氧化过程，会将大量的合金元素烧掉，故只能炼制普通碳素钢和普通低合金钢。

(三)电炉炼钢法

平炉和转炉生产的普通碳素钢和低合金钢，不能满足许多工业部门对钢的要求。优质碳素钢、合金钢、工具钢、精密合金等须用电炉冶炼。电炉炼钢是利用电能作热源来进行冶炼的。如利用电弧发热的电弧炉、利用电磁感应发热的感应电炉和利用电阻发热的电渣炉等。前二者最为常用。电炉炼钢的优点是对钢液具有充分的脱氧作用，并为加入易氧化的合金元素（如锰、硅、铬、钒等）创造了有利条件，还可以将杂质硫的

表1-1

各种炼钢炉的特点和用途

炼 钢 炉	热 源	主要原料	主 要 特 点	用途举例
氧气转炉	炼钢生铁中所含C、Si、Mn、P等元素所产生的氧化反应化学热	液态、炼钢生铁、废钢	冶炼速度快, 生产效率高, 钢材品种、质量与平炉钢大致相当	大量生产 冶炼各种碳素钢和低碳合金钢
平 炉	重油、人造燃气(发生炉燃气、焦炉气、高炉气)、天然气	炼钢生铁、废钢	容量大、炉料中废钢比例不限, 冶炼时间较长, 工艺过程容易控制, 采用氧气技术, 可显著提高生产率	大量生产 冶炼各种碳素钢和低碳合金钢
电 弧 炉	交流电弧	废 钢	炉料通用性大, 炉内气氛可以控制, 钢水脱氧良好, 能冶炼含易氧化元素和难熔金属的钢种, 产品多样化	大量生产 冶炼各种优质碳素钢和合金钢
电 渣 炉	电渣电阻热	铸造或锻压的坯料	由于渣洗作用, 脱氧、脱硫效果显著, 钢的纯洁度较高, 钢锭致密, 偏析减少, 自下而上顺序凝固, 能改善加工性能	精炼合金钢和各种合金材料
感 应 炉 (真空感应炉)	感应电流	优质废钢中间合金(工业纯金属材料)	脱硫、脱磷效果不如电弧炉, 要用优质炉料, 但可避免电极增碳, 钢中氮含量也较低, 能冶炼含易氧化元素钢种	冶炼优质高合金钢和其他特种合金
真空电弧炉(自耗电极)	直流电弧	铸造、锻压或粉末烧结的坯料	高温高真空下, 使夹杂物和气体含量显著降低, 钢的纯洁度高, 成分和性能稳定性好	高合金钢和难熔合金的精炼
电子束炉	电 子 束	铸造、锻压或粉末烧结的坯料	高真空电子束精炼, 气体和夹杂含量大大降低, 钢锭特别致密、纯洁	难熔金属和超纯合金的精炼
等离子炉	等离子体电弧	同感应炉	冶炼温度高, 熔化速度快, 比容量相同的感应炉耗电量少, 对成分控制, 脱氧、去气、去硫作用均较好	低熔点金属到高熔点合金, 均可冶炼

表1-2 镇静钢、半镇静钢和沸腾钢的特点、性能比较

项 目		镇 静 钢	半镇静钢	沸 腾 钢
脱氧程度		脱氧较完全，钢水在钢锭模内凝固过程中保持平静，基本上无 CO 气泡产生	进行中等程度的脱氧，使钢水在钢锭模内凝固过程中维持一定的沸腾现象	不用硅、铝脱氧，保留足以导致钢水在钢锭模内产生适当沸腾现象的含氧量
钢 锭 特 点	成分限制	无特殊限制	$\leq 0.25\% \text{C};$ $\leq 0.17\% \text{Si}$	$\leq 0.25\% \text{C};$ $\leq 0.07\% \text{Si}$
	表面质量	一 般	良 好	良 好
	偏 析 与 纯 洁 度	较纯洁，内外部偏析较轻	介于镇静钢与沸腾钢之间	外表纯净，内部杂质及夹杂物较多，钢锭上、中、下偏析比较严重
	钢锭成材率	钢锭头部有巨大缩孔，假、轧成材后切头量较多，成材率较低，对质量要求严格的大锻件，钢锭成材率有时还不到50%	介于镇静钢与沸腾钢之间	无缩孔，因而成材率较高，一般大于80%
机 械 性 能	抗拉性能	在其他情况相同的条件下，三类钢的强度与延伸率等均大致相同		
	冲击韧性	良 好	次于镇静钢	较差，脆性转折温度较高，时效现象严重
工 艺 性 能	冷冲压性能	良 好	尚 好	只宜作简单的冲压件
	焊接性能	随钢的化学成分不同而变化，碳含量相同时比沸腾钢好	可 焊 接	由于化学成分偏析，焊接性不很好，并易产生时效开裂，不宜制造较重要的焊接构件

含量降低到0.03%以下。

为了节约电能和充分利用电炉还原期^①的特点，常采用双联炼钢法，即将平炉或转炉炼出的钢水，直接送入电炉中还原冶炼和合金化，使平炉或转炉钢水变成优质合金钢。还有混合炼钢法，即采用电炉渣和钢与转炉钢水同时冲入同一盛钢桶中，用电炉还原渣清洗转炉钢水，以达到精炼和合金化的目的等等。

各种炼钢炉的特点和用途，可参阅表1-1。

二、镇静钢和沸腾钢

炼钢脱氧工艺、钢水脱氧程度与钢的性能、质量有密切关系。当加入足够数量的强脱氧剂（硅、铝），使钢水脱氧良好，在钢锭模内凝固时不产生CO气体，钢水保持平静，这样生产的钢叫做镇静钢。如控制脱氧剂种类和加入量（主要是硅、锰）使钢水中残留一定的氧，在凝固过程中形成CO气体逸出，产生“沸腾”现象，这类钢叫沸腾钢。还有一些脱氧程度介于镇静钢和沸腾钢之间的钢，叫做半镇静钢。

镇静钢、半镇静钢和沸腾钢的特点性能比较可参阅表1-2。总之，从钢的性能上比较，镇静钢优于沸腾钢，但镇静钢由于有巨大缩孔，使成材率大大低于沸腾钢，成本上产生很大差异。故镇静钢常用于有较高需用性能的优质合金钢中，而一般大量使用的建筑用普通钢，则大多是沸腾钢或半镇静钢。

第二节 合金元素对钢性能的影响

铁碳合金中，当碳含量小于0.04%时，称为工业纯铁，大于2%时为生铁，只有在0.05~0.17%之间时才成为钢，即碳

^①还原期的任务是去除钢中氧和硫，最后调整化学成分到规定数值，调整钢液温度，以创造良好的脱氧、去除夹杂物和脱硫的条件，保证正常的浇注。

素钢（有个别合金工具钢的碳含量可高达 2.3% 左右）。碳是影响钢性能的主要合金元素。习惯上按碳含量的不同把碳素钢划分为三类：碳含量小于 0.25% 以下的叫低碳钢，大于 0.25% 小于 0.60% 的叫中碳钢，大于 0.60% 的叫高碳钢。碳含量和机械性能的关系，可见图 1-1 随着碳含量的增加，如从 0.2% 增至 0.9% 时，提高了钢的强度 σ_b 和硬度 HB，但同时也增加了钢的脆性，并降低了塑性 δ 、 ψ 韧性 α_k 和焊接性，这样就增加了机械加工的困难度（参阅表 1-3）。所以碳素钢的强度和其它性能根据用途需要，主要依靠碳含量高低来调整。

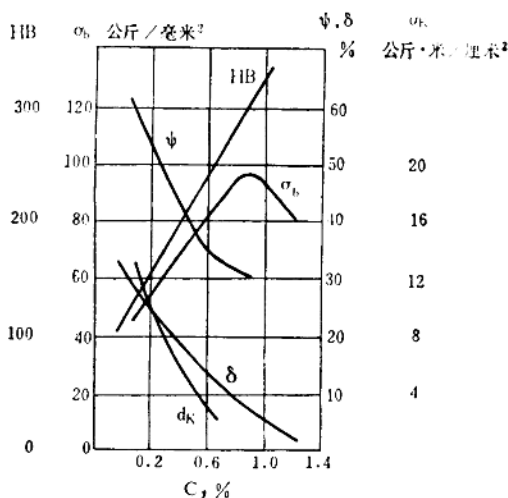


图 1-1 碳对钢机械性能的影响

碳素钢中由于在冶炼时所用原材料以及冶炼方法和工艺操作等的影响，总免不了残存有少量的其它元素，如硅、锰、硫、磷、氧、氮、氢、铜、铬、镍等，这些一般作为杂质或残存元素看待，不认为是合金元素。它们的存在，虽然有时也起

表1-3

碳钢性质与碳含量的关系

性 质	含 碳 少 的	含 碳 多 的
断 面	粗	密
声	低	高
硬 度	小	大
强 度	小	大(0.9%C时最大)
韧 性	大	小
延 性	大	小
淬 火 性	没有或不好	好(0.5%C以上)
焊 接 性	好	不 好
熔 点	高	低

到一些有益的作用，但大多数产生不利的影响。至于为了能满足某些特殊性能的要求（如不锈、耐热、耐磨等），而必须在钢中加入规定数量范围的一种或几种元素，达到合金化的目的，才被认为是合金元素。这种钢也就叫合金钢。

合金元素在钢中与铁和碳这两个基本组元的作用，以及它们彼此之间的相互作用，影响钢的组织结构，促使其发生有利的变化。通过合金化，可提高和改善钢的综合机械性能和淬透性、回火稳定性、可切削性等工艺性能，还可使钢获得一些特殊的物理化学性能，如耐热、不锈、导磁性等。这些性能的改善或获得，一部分是加入合金元素的直接影响，而大部分则是由合金元素影响钢的相变所引起。各种合金元素对钢性能的影响如下：

(一) 铝(Al)

1. 铝是炼钢时的脱氧定氮剂，并能细化钢的晶粒，提高钢在低温下的韧性；

2. 铝对氮有极大的亲和力，含铝的钢渗氮后，在钢表面形成稳定性高，弥散度大的氮化铝薄层，成为表面硬化钢，从而

提高了钢的硬度和疲劳强度，并改善了耐磨、耐蚀性；

3. 铝具有耐腐蚀性和抗氧化性，这使含铝的低合金钢具有抗大气、硫化氢的作用，成为专用的石油化工用钢；

4. 铝在高速钢中，升高淬火温度，使碳化物元素充分发挥硬化作用，并加速氧化过程，进一步细化晶粒，使钢的硬度增加；

5. 铝、铬和硅都是促使钢形成铁素体的元素，使钢具有单相铁素体组织。复合应用时，可以显著提高钢的高温不起皮性和耐高温腐蚀的能力；

6. 铝还适用于电热合金材料和磁性材料；

7. 铝会影响钢的热加工性能、焊接性能和切削加工性能。

(二) 硼(B)

1. 硼和氮、氢都有很强的亲和力；

2. 在钢中的突出作用是微量的硼(0.001~0.005%)，就可以成倍地提高钢的淬透性，从而可部分节约其他较稀缺、贵重的合金元素，如镍、铬、钼等；

3. 在珠光体耐热钢中，微量硼可以提高钢的高温强度，和抗硫化氢腐蚀的能力；

4. 在奥氏体钢中加入0.025%的硼，可以提高其蠕变强度^①。

(三) 铍(Be)

1. 铍和氧、硫都有极强的亲和力，是一种理想的脱氧去硫剂；

2. 铍是极强的铁素体固溶强化元素之一，能增强钢的淬透性，也可以使钢具有较高的高温强度及蠕变性能；

^①蠕变是物质在恒定应力作用下变形量随时间延长而不断增加的现象。在高温下工作的零件不允许产生过大的蠕变变形，须限制其在使用期间的变形量。

3. 由于铍是稀有轻金属之一，供给困难，价格昂贵。目前除了特殊用途（如原子能工业和导弹等）外，在一般合金钢中尚难于普遍使用。

（四）钴(Co)

1. 钴是世界上稀有的贵重金属；

2. 在钢中有固溶强化作用，赋予钢红硬性，改善钢的高温性能和抗氧化、腐蚀的能力，是超硬高速钢及高温合金的重要合金元素；

3. 钴会降低淬透性，增加脱碳倾向。

（五）铬(Cr)

1. 铬是一种不太贵的合金元素，在钢中和锰、硅、钼等配合能显示出良好的性能，故大多数合金钢中都有不同含量的铬；

2. 铬是促使铁素体形成的元素，能使钢具有单相铁素体组织，提高钢的淬透性，它比镍、硅强但不如锰；能提高低碳钢的强度和硬度，提高高碳钢的耐磨性；

3. 铬含量超过1.3%时便可耐蚀防锈，提高抗硫化氢、抗高温高压氢、抗二氧化碳、抗大气以及海水腐蚀的能力；超过13%时耐蚀性有突变地提高，能使钢具有良好的高温抗氧化性和耐氧化性介质腐蚀的作用；还能增加钢的热强性，为不锈钢及耐热钢的主要合金元素。

（六）铜(Cu)

1. 在低碳低合金钢中，0.2~0.5%的铜含量，可以获得优良的抗大气和海水腐蚀能力，与磷配合使用时，这种抗蚀性更好。并且也有利于提高钢的强度和耐磨性，对钢的焊接性无不利影响；

2. 在奥氏体不锈钢中加入2~3%的铜，可以提高其在硫

酸、磷酸和盐酸等介质中的抗蚀性及对应力腐蚀的稳定性，与钼同时加入时，效果更显著；

3. 当含量超过0.75%时有时效强化作用，但较高铜含量，在热变形加工中易导致高温铜脆现象；这时如在钢中同时加入超过1/3铜含量的镍则可避免；

4. 铜是希缺物资，在一般情况下应尽量节约使用，不在炼制时有意加入钢中；不过我国有丰富的含铜铁矿，其所含的铜又无法从炼钢过程中去除，所以可以利用含铜铁矿来发展含铜钢。

(七) 氢(H)

氢在钢中会造成很多严重缺陷，如白点、点状偏析、氢脆^①，以及焊缝热影响区的裂缝等，危害性很大，是一种有害元素，必须采取各种措施以降低其在钢中的含量。

(八) 锰(Mn)

1. 锰是良好的脱氧剂和脱硫剂，所以钢中含有0.25~0.80%的锰是经常的；

2. 在碳素钢中加入锰使达到0.7~1.0%的含量时，成为较高含锰量钢；含量再增加时，就成为合金钢——锰钢了。较高含锰量钢的强度比普通含锰量钢好，而锰合金钢则更好，锰能提高钢的强度和硬度，提高钢的淬透性，改善钢的热加工性能，故在普通低合金钢中含锰钢种，发展十分迅速；

3. 锰在钢中和硫化合成硫化锰(MnS)夹杂，有利于切削加工；

① 氢脆是指钢在-100~+100℃的温度范围内，由于腐蚀时新生态氢扩散进入钢中，致使塑性急剧下降而产生的脆裂现象；白点是指钢中特殊小裂纹，在钢材的横剖面上(即垂直于压延方向的剖面)，白点表现为细小的裂纹(也叫发裂)，在纵向的断口上(即平行于压延方向)，白点表现为椭圆形的银白色斑，这就是裂纹的侧壁。白点是不允许存在的缺陷，有白点的钢必须报废，或改锻成小截面材料。

4. 锰是奥氏体形成元素，含锰10~14%的高锰钢有良好的加工硬化作用，耐磨性极好；

5. 在含碳较高的钢中，含锰过多容易脆裂，并且它还能使钢的抗腐蚀能力减弱，对钢的焊接性能也有不利影响。

(九) 钼(Mo)

1. 钼是一种贵重的合金元素，我国产量丰富，但在整个世界范围内的储量却并不丰富；

2. 钼在钢中的作用，可归纳为提高淬透性、热强性和蠕变强度，防止回火脆性；

3. 与铬、钨、钒等形成碳化物的元素联合使用，可进一步提高钢的硬度、淬透性、耐磨性和红硬性（这些特性均比钨强一倍），故常用于高速钢和模具钢中；

4. 在低合金钢中加钼，可提高抗硫化氢、一氧化碳、水以及高温高压氢的腐蚀，在不锈钢中能扩大还原介质中的钝化范围，抗硫酸、盐酸、磷酸及某些有机酸，抗点蚀；

5. 与铬配成铬钼钢，在很多情况下，可以代替较贵重的铬镍钢制造各种重要的机件；

6. 由于钼增加了钢的热强性，所以钼含量较高时，会增加锻、轧等热加工的困难。

(十) 氮(N)

1. 有固溶强化和提高淬透性的作用，但不太显著；

2. 由于氮化物在晶界上析出，提高晶界高温强度，从而增加了钢的蠕变强度；

3. 氮是奥氏体形成元素，能改善高铬和高铬镍钢的宏观组织，使之致密坚实，并提高其强度，从而可取代一部分镍；

4. 用渗入方法与钢表面层中的铬、铝等合金元素形成氮化物，可增加钢表面层的硬度、强度、耐磨性及抗蚀性等；

5. 在 Cr-Mn-N 钢中提高在海水中抗点蚀的能力；

6. 含量超过一定限度时，易在钢中形成气泡和疏松，与钢中的钛、铝等元素形成带棱角而性脆的夹杂群等；在低碳钢中，残余氮易导致时效脆性。

(十一) 铌(Nb)和钽(Ta)

1. 铌和钽均是难熔的稀有元素，价格较昂贵；

2. 与钨、钛、锆的作用类似，和碳、氮、氧都有极强的亲和力，形成极为稳定的化合物；

3. 能细化钢的晶粒，提高晶粒转化温度、降低钢的过热敏感性和回火脆性；

4. 在低碳普通合金钢中加铌，能提高钢的抗硫化氢、大气、海水及高温高压下氢、氮、氨的腐蚀能力；

5. 在奥氏体不锈钢中加铌，可以显著提高钢的淬透性、屈服强度和冲击韧性，提高蠕变强度，避免回火脆性，并改善高温不起皮性，提高热强性和抗晶间腐蚀性能；

6. 这类钢冷变成形比较困难，焊接性也较差。

(十二) 镍(Ni)

1. 镍能使钢强化，在结构钢中加镍，据统计每 1% 的镍含量，可提高钢的强度 3 公斤/毫米²；

2. 改善钢的低温性能，特别是韧性较高；

3. 抗锈性很强，具有较高的对氧化性酸（如稀硫酸）碱、海水和大气的耐腐蚀能力；

4. 镍是奥氏体形成元素，与铬、钼联合使用，能提高钢的热强性和耐蚀性，为热强钢及奥氏体不锈钢耐酸钢的主要合金元素之一；

5. 镍能有效地强化铁素体和珠光体，以镍为主的镍基合金，是国防工业上重要的耐高温材料；