

# 化工机械译文集

第一輯

化工机械研究所 編



化学工业出版社



# 化 工 机 械 译 文 集

第 一 輯

化 工 机 械 研 究 所 編

化 学 工 业 出 版 社

本輯共收入化工金属材料和非金属材料方面的文章15篇。內容涉及化工用金属材料的新品种、高压气体工业用鋼、低温下鋁鋼性能、鈦的防腐性能、鈦的应用、鈦的焊接、石墨材料、塑料噴涂的方法、塑料衬里厚度計算、夹层材料的性质、計算、应用、修理等。

本文集的主要讀者对象是化工、石油、冶金等工业部門机械設備的研究、設計、制造方面及防腐蚀方面的工程技術人員。对大专学校有关专业学生，本文集亦有参考价值。

## 化工机械譯文集

### 第一輯

化工机械研究所 編

化学工业出版社出版 (北京安定門外和平里七区八号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第120号

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

|                                     |                   |
|-------------------------------------|-------------------|
| 开本: 850×1168毫米1/32                  | 1966年3月北京第1版      |
| 印张: 5 <sup>11</sup> / <sub>16</sub> | 1966年3月北京第1版第1次印刷 |
| 字数: 150,000                         | 印数: 1—2,717       |
| 定价: (科六) 0.90元                      | 书号: 15063·1036    |

## 前 言

为了配合我国化学工业的发展，帮助我国工程技术人员了解国外化工机械方面技术动向，吸取其他国家的先进技术经验，我们组织了“化工机械译文集”。

本文集将不定期陆续出版，介绍化工用材料、化工机械设备的研究、设计、维修、改进等各方面的文章资料。

由于编译水平所限，在选题方面可能有欠妥之处，译文内容也可能有错误之处，敬希读者随时提出，以便今后改正。

# 目 录

## 前 言

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| 1. 为化学工业生产优质廉价的金屬与合金.....                  | 1   |
| 2. 高压气体工业用鋼鉄材料的发展.....                     | 3   |
| 3. 镍鋼貯槽在 $-320^{\circ}\text{F}$ 时的試驗 ..... | 19  |
| 4. 冷变形对 18-8 型不銹鋼晶間腐蝕傾向的影响.....            | 29  |
| 5. 鈦在日本化工机械中的应用.....                       | 34  |
| 6. 化工設備中鈦合金及其它材料耐蝕特性.....                  | 44  |
| 7. 化工机械制造业中鈦的焊接方法.....                     | 59  |
| 8. 作为結構材料的石墨.....                          | 68  |
| 9. 用火焰噴涂保护表面.....                          | 93  |
| 10. 聚己內酰胺薄膜与金屬的附着強度.....                   | 97  |
| 11. 在侵蝕性液体中用作衬里的塑料层的使用期限的<br>某些計算方法.....   | 102 |
| 12. 輕质夹层結構材料.....                          | 108 |
| 13. 夹层結構材料的組成材料.....                       | 117 |
| 14. 夹层結構材料力学.....                          | 130 |
| 15. 夹层結構材料的制造檢驗和修补.....                    | 167 |

## 1. 为化学工业生产优质廉价的 金属与合金

化学工业和化工机械的发展要求研究与发展新型与便宜的金属与合金。用来制造化工设备的材料必须符合二个基本要求：加工工艺性和在化学介质中的稳定性。

工艺性要求材料在轧制、滚压、模锻时具有良好的冷热加工性，以及具有满意的塑性与焊接性。

X18H10T, X17H13M2T 和一些其他化学成分相近的奥氏体钢都能满足上述要求。

在耐蚀性方面一般的高铬不锈钢和铬镍不锈钢在许多介质中具有很高的化学稳定性，因而已经广泛应用，但它们在含有氟化物的硫酸与磷酸中是不耐蚀的。苏联黑色冶金研究院和全苏化工机械科学研究院研究出专门在高温高浓度硫酸中应用的 0X23H28M2T (ЭИ628) 和 0X23H28M2Д3Т (ЭИ943)。后一种钢可以用来制造温度达 80℃ 的各种浓度硫酸中的焊接设备，甚至用于在混有硫酸和氢氟酸的萃取磷酸条件中。ЭИ628 也应用于相应条件，但使用温度较低。

为制造用于含氟介质的设备，研究发展了一系列含有高钼或者含钼和铬的镍合金。

十年来苏联黑色冶金研究院和一些其他单位（如化工机械研究院）研究与发展了一系列低镍无镍不锈钢，它们在加工工艺性、机械性能和耐蚀性方面并不低于铬镍不锈钢。

这些钢可以分为两大类：

1. 奥氏体 Cr-Mn (8~15%) 或者 Cr-Mn-Ni-N<sub>2</sub> 钢，合 0.2~0.5% N<sub>2</sub> 可以代替 2~4% Ni。这类新钢种有：X14Г14Н3Т (ЭП711)、X14Г14Н3 (ДИ-6)、X18Н4Г9А (ЭИ878)、X17Г14А (ЭП213)、X17Н5Г9АБ (ЭП55) 等。

2. 奥氏体-铁素体双相钢, 具有较高含铬量和较低的含镍量, 0X21H5T (ЭП53)、0X21H6M2T (ЭП54) 等。这类钢具有良好的塑性、焊接性和高的耐晶间腐蚀的能力, 同时具有较高的强度。

奥氏体 X18H4Г9A 具有较低含镍量, 已用于制氧工业代替 X18H10T, 并已用于航空、食品和其他工业。所有以上钢种均已在化工机械厂中研究过其焊接与加工工艺。

0X17T 在化学工业中具有广泛代替 X18H10T 的可能性。苏联国立氮素工业研究设计院 (ГИАП) 首先在罗斯塔维 (Рустави) 工厂用 0X17T 厚钢板焊制了硝酸工业中的吸收塔。在 0X17T 中加入 1.5% Mo 使其有可能用于有机产品的生产中例如醋酸。

但这种钢在焊缝区冲击韧性很低, 因而在相当程度上限制了它的应用。苏联“查波洛什”钢厂用热连轧的办法, 大大提高了钢的性能, 使其机械性能中强度极限接近 1X18H9T 而延伸率  $\delta > 30\%$ , 在化工、食品与轻工业中采用 0X17T 对国民经济具有很大的意义。

另一个具有重大意义的方向是采用复合钢板, 当复合比为 1:4 或 1:5 时可以节省 70~80% 的镍。目前已经生产了 0X13、X18H9T、X17H13M2T 的复合板, 此外生产高铬不锈钢 0X17T、0X17M2T、X25T 钢的复合板具有重要的意义。在这时较厚的低碳钢层, 可以使整个焊缝的冲击韧性提高。

此外已生产了 ЭИ943 和纯金属镍、铜、钛的复合板。

全苏化工机械研究院与苏联国立氮素工业研究设计院对在高温高浓度硝酸生产中不锈钢焊缝出现的《刀状腐蚀》进行了研究, 这种腐蚀产生在熔合线上呈角状很快的深入发展。为解决这个问题必须生产超低碳不锈钢 (含  $C \leq 0.03\%$ )。

(黄 峻摘译自《СТАЛЬ》1964年1期)

## 2. 高压气体工业用鋼鉄材料的发展

〔日〕 細 田 薫

### 一、緒 言

本文綜述最近几年来高压气体工业用鋼鉄材料的理論研究及制造技术的发展概况，特別說明了軋制技术的发展和自动化近代大型开坯軋鋼机的連續生产方法的出現，对于生产和发展高温、高压技术所用的各种合金、耐热耐蝕鋼材的影响；叙述了深冷分离方面用的低温鋼材的发展和研究，并詳述了耐热耐蝕不銹鋼性质等方面的发展情况。

### 二、炼钢技术的发展

1) 鎮靜鋼的广泛应用 在第二次世界大战以前，所用的鋼材多为沸騰鋼，其后，因对鋼材脆性破坏的研究及焊接技术的发展，在高压容器上的受压部分用的管材和板材則都是使用鎮靜鋼来制造的。特別对强度要求高的的高温部分是使用硅鎮靜鋼，对容易遭致脆性破坏的部分是使用鋁鎮靜鋼。因鋼材并非单一元素所組成，为使鋼材符合使用要求，所以控制鋼材化学成分正确解决鋼材的脫氧問題，有效地保証质量，这就是第二次世界大战后的一个主要研究方面。

2) 采用氧气炼钢法 自第二次世界大战后，炼鋼技术有了很快的发展，以前用平炉炼鋼是靠燃料来促进熔化的，自轉炉上大量采用氧气冶炼后，就大大提高了炼鋼生产能力，显著地降低了燃料消耗，同时，此法又易使熔池温度增高、操作稳定，有利于冶炼低碳鋼。由于轉炉利用氧气吹炼就更有把握地得到与电炉冶炼相似的优质鋼材。采用此法冶炼不銹鋼不但能提高铬的回收

率并能提高低碳鋼的产品质量。

3) 純氧頂吹轉炉炼鋼的发展 众所周知, 轉炉炼鋼生产能力强。轉炉采用純氧頂吹法(L.D 法)杂质和气体含量大为减少, 所以产品质量并不次于平炉冶炼出的低碳鋼, 能得到与平炉鋼质量相同的厚板材和管材。相信此法今后更会获得广泛应用。

4) 真空冶炼法及真空(脫气)法的发展 用真空冶炼法: 对在大气中难以冶炼的耐热、耐蝕用电磁材料、高合金、鈦、鋳等金属, 以及作特殊用途的不銹鋼及有高要求的特殊鋼多采用此法。最近也有用真空高頻感应炉和自耗电极式真空电弧炉的, 后者生产上用的最多, 除能降低气体含量和非金属夹杂物等不純物质外, 也能准确地控制添加硼、鋳等活性元素, 因而能改善材料热加工的性能, 提高成品的高溫强度和疲劳强度。但在采用真空冶炼时, 还应从生产規模和經濟上来考虑。就目前情况看, 此法还不适于大規模生产, 广泛采用还有困难。我們应特别加以注意的, 是通常冶炼方法炼出的鋼液在浇注时或浇注前采用真空脫气的办法。脫气法有两种: 保福馬(ボフマ)法及推尔特蒙特(ドルスムンド)法。此两种方法不但脫氢效果最好并能除去大部分氧, 对鋼的质量、产量都有提高。

### 三、軋制技术的发展

第二次世界大战后, 随着鋼鐵生产的設備日益更新和合理化, 有些新型設備都趋向大型化发展, 这就要求軋制技术也同样的发展起来。仅就开坯軋机来說: 是靠主电机加速運轉并靠加速励磁来提高超載荷及耐压能力, 又由于采用双傳轉方法就更有力量保証完全能够提高軋制能力进行精确加工。自采用热嵌接(hot scarfing)后, 更有利于加强修配能力, 提高产品质量。二次世界大战后, 制管技术也有了显著发展, 就大量生产无縫鋼管来說, 仍以滿氏穿孔机法为主。自轉炉、双重压榨法、拉伸变径等新型設備进口后, 無論在生产能力上和产品质量等方面均有一定提高。因采用玻璃作潤滑剂而出現了挤压制管法, 并有了自动制管机就

能对不锈钢等难以加工的材料进行大量生产。各种高合金钛制管也有了生产的可能。与带钢轧制一起发展的焊接管、锻接管也都有了发展。随着电阻焊接管、氩弧焊接不锈钢管以及采用新式自动焊接管等出现，就可根据其特点广泛采用高效率连续生产的设备，尤其在采用旋管焊接方法及 UO 压轧法 (UO Press) 和用电弧焊接大、中口径配管等，相信今后也将会在其他用途上采用。

#### 四、高温材料

在二次世界大战前，所用的高温材料，只不过是使用在发电涡轮机叶片上的铬 13 钢。用在锅炉、石油炼制上的钢材，也只是含 Cr-Mo 两三种而已。但在二次世界大战后，为适应石油、化学工业、火力发电、蒸汽透平机、喷气式发动机等迅速发展的需要，对高温材料的研究相应地也有了显著发展，并为工业化提供了很多品种。如图 1 所示，使用在发电锅炉上的蒸汽温度——压力转变情况，由公历 1949 年为  $450^{\circ}\text{C}$  45 公斤/厘米<sup>2</sup> 的水平发展到最近  $570^{\circ}\text{C}$  170~190 公斤/厘米<sup>2</sup> 的水平。下面就分别概述使用的高温材料情况。

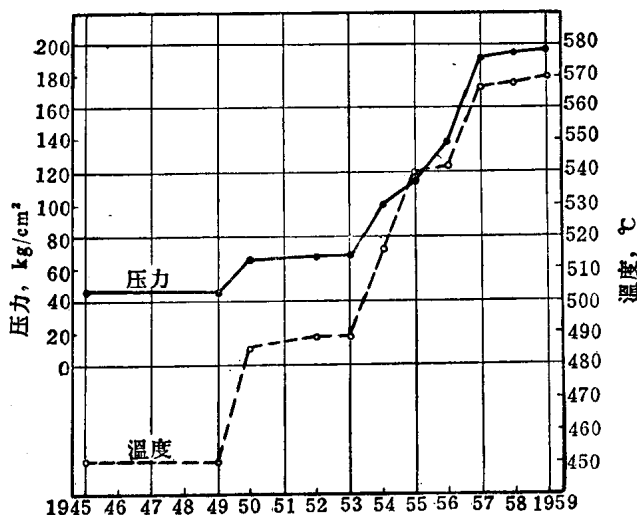


图 1 电厂锅炉压力温度的发展

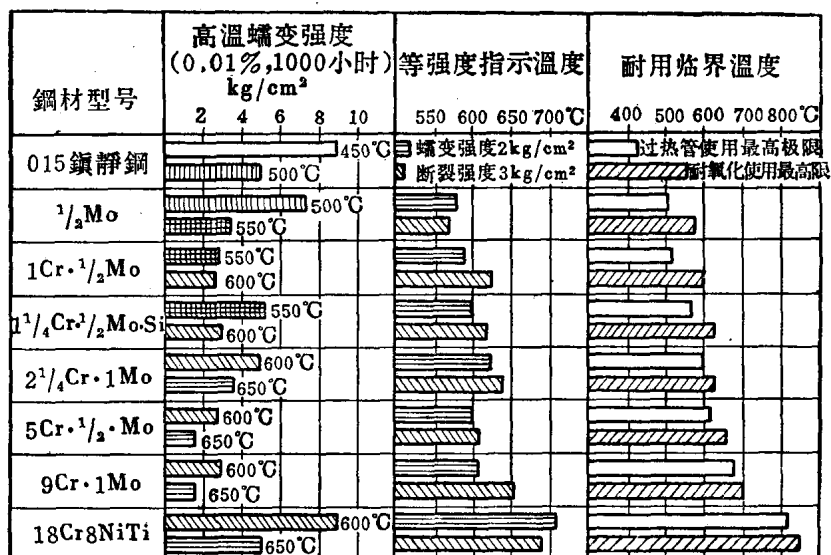


图 2 高温高压管材的高温特性

1) 铁素体型耐热钢 以碳素钢为主，经改变脱氧条件，就能成为硅镇静型钢，可用在温度 450℃ 左右。再高的温度是用的钼钢、铬钼钢，见表 1 所示，是用在高温高压上钢管的化学成分。图 2 所示，为其高温特性曲线。而 2.25CrMo 钢、9Cr-1Mo 钢约在十年前，就已成为实际应用的铁素体型管材，具有高强度，能在金属温度为 550~600℃ 的条件下。用于石油工业上的加热炉管和锅炉的过热器管、蒸汽管的一些锻钢制品以及铸钢制品的化学成分都大体相同。例如用于高温的螺栓材料多为低合金铬钼钒钢、铬镍钢。另外，用在高温的材料，不只应具有高强度，还要具有高抗氧化性能。对此要求的部件，就需使用含铬高的 Cr13、Cr17、Cr28 等铁素体耐热钢。在二次世界大战后，已加强对耐热钢的研究并进行大量生产，可以设想这类钢将广泛得到使用。附表 2 所示为耐热钢与其他钢材的最高耐氧化温度。除上述耐热结构材料外，还有用于蒸汽透平、喷气式发动机叶轮的铁素体钢料。这种材料经过研究和发展，已成为专门的高温高强度材料。具代

表性的超合金材料有: jessop H40(0.25% C、3% Cr、5% Mo、0.5% W、0.75% V); jessop H46(0.15% C、11.5% Cr、0.45% Mo、0.3% V、0.25% Nb) 等。此外, 向铬钢里加入各种合金元素, 进行适当的热处理使之起弥散硬化作用, 增强材料的屈服强度。

2) 奥氏体型耐热钢 不锈钢牌号中具有代表性的18% Cr—8% Ni 高合金钢, 不仅在常温下具有优良的耐腐蚀性能, 且在高

高温高压用铁素体系钢管材料的化学成分(%) 表 1

| 钢 种          | JIS(日本工业标准规格) | C         | Si        | Mn        | Cr         | Mo        |
|--------------|---------------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| 0.15C        | STP 30A       | 0.08~0.18 | ≤0.35     | 0.25~0.60 | —          | —         |
|              | STB 33        |           |           |           |            |           |
|              | STC 30        |           |           |           |            |           |
| 0.25C        | STB 42A       | ≤0.32     | 0.10~0.35 | 0.30~0.80 | —          | —         |
|              | (STP 42A)     |           |           |           |            |           |
| 0.5 Mo       | STB 39        | 0.10~0.20 | 0.10~0.50 | 0.30~0.80 | —          | 0.45~0.65 |
|              | STT 39        |           |           |           |            |           |
| 1Cr-0.3Mo    | STB 42B       | 0.10~0.20 | 0.10~0.50 | 0.30~0.60 | 0.80~1.20  | 0.20~0.45 |
|              | STT 42B       |           |           |           |            |           |
|              | STC 42B       |           |           |           |            |           |
| 1Cr-0.5Mo    | STB 42C       | ≤0.15     | 0.10~0.50 | 0.30~0.80 | 0.80~1.20  | 0.45~0.65 |
|              | STT 42C       |           |           |           |            |           |
| 1.25Cr-0.5Mo | STB 42G       | ≤0.15     | 0.50~1.00 | 0.30~0.60 | 1.00~1.50  | 0.45~0.65 |
|              | STT 42G       |           |           |           |            |           |
| 2.25Cr-1Mo   | STB 42D       | ≤0.15     | 0.10~0.50 | 0.30~0.60 | 2.00~2.50  | 0.90~1.10 |
|              | STT 42D       |           |           |           |            |           |
| 5Cr-0.5Mo    | STB 42E       | ≤0.15     | ≤0.75     | 0.30~0.60 | 4.00~6.00  | 0.45~0.65 |
|              | STT 42E       |           |           |           |            |           |
|              | STC 42E       |           |           |           |            |           |
| 9Cr-1Mo      | STB 42H       | ≤0.15     | 0.25~1.00 | 0.30~0.60 | 8.00~10.00 | 0.90~1.10 |
|              | STT 42H       |           |           |           |            |           |

溫中其强度、耐氧化性能也非常优良，故在高温条件下可广泛应用。表 3 所示，就是通常所用的奥氏体不銹鋼化学成分表。除 18-8 鋼外，含 C 很低并含有 Ti、Nb、Mo 的高鉻鎳鋼，具有很高的耐氧化性能，能滿足溫度 600℃ 以上的高压部分所需要的强度及耐酸腐蝕性能。例如已用在 570℃ 的有鍋炉过热器的終端和石油裂解設備的加热炉管等处的材料。

高温用各种材料最高耐氧化溫度比較

表 2

| 鋼 种                      | 溫 度(℃)  | 鋼 种          | 溫 度(℃)    |
|--------------------------|---------|--------------|-----------|
| 碳素鋼                      | 500~550 | 17Cr 鋼       | 800~900   |
| 0.5Mo 鋼                  | 500~550 | 28Cr 鋼       | 1000~1100 |
| 1Cr-0.5Mo 鋼              | 550     | 18Cr-8Ni 鋼   | 850~900   |
| 2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼 | 550~600 | (含 Nb、Ti、Mo) |           |
| 5Cr-0.5Mo 鋼              | 600~650 | 25Cr-12Ni 鋼  | 1050~1100 |
| 9Cr-1Mo 鋼                | 650~700 | 25Cr-20Ni 鋼  | 1100~1150 |
| 13Cr-1Mo 鋼               | 700~750 | 15Cr-35Ni 鋼  | 1050~1100 |

18-8 型不銹鋼虽发现較早，但在第二次世界大戰前应用較少，二次世界大戰后，由于各工业部門的相继发展，其需要量也大大增加。板材軋制技术的发展及自动制管法的出現，使 18-8 不銹鋼的生产量大为增加，目前已有广泛应用的标准型号。在二次世界大戰中，美国在噴气式发动机上已使用了超合金鋼，其后高合金耐热鋼也有了发展。18-8 鋼的改良型号都要进行加工硬化、弥散硬化等操作，因而又研究出用在高温下的高强度的鎳基、鈷基和鉬基等合金。表 4 所示，即为具有代表性的几种材料的化学成分和高温强度，这些合金鋼要比 18-8 型不銹鋼更加适用于有特殊要求的地方并有高度的耐高温耐蝕性能。

## 五、低 溫 材 料

1) 影响低温冲击韧性的因素 在石油化学工业上，低温的应用范围正在扩大。因低温对鋼的性质影响主要是降低冲击韧性，所以用于低温的材料其冲击韧性必需良好。根据多次研究，认为

奥氏体不锈钢化学成分 (%) 表 3

| 钢 种                  | 日本标准规格 | C     | Si    | Mn    | Ni          | Cr          | Mo        | 其 他               |
|----------------------|--------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-----------|-------------------|
| 18Cr-8Ni             | SuS27  | ≤0.08 | ≤1.00 | ≤2.00 | 8.00~11.00  | 18.00~20.00 | —         | —                 |
| 18Cr-8Ni<br>(含 C 很低) | SuS28  | ≤0.03 | ≤1.00 | ≤2.00 | 9.00~13.00  | 18.00~20.00 | —         | —                 |
| 18Cr-8Ni-Ti          | SuS29  | ≤0.08 | ≤1.00 | ≤2.00 | 9.00~13.00  | 17.00~20.00 | —         | Ti ≥ 5 × C%       |
| 18Cr-8Ni-Nb          | SuS43  | ≤0.08 | ≤1.00 | ≤2.00 | 9.00~13.00  | 17.00~20.00 | —         | Nb + Ta ≥ 10 × C% |
| 18Cr-12Ni-Mo         | SuS32  | ≤0.08 | ≤1.00 | ≤2.00 | 12.00~16.00 | 16.00~18.00 | 2.00~3.00 | —                 |
| 22Cr-12Ni            | SuS41  | ≤0.08 | ≤1.00 | ≤2.00 | 12.00~15.00 | 22.00~24.00 | —         | —                 |
| 22Cr-20Ni            | SuS42  | ≤0.08 | ≤1.00 | ≤2.00 | 19.00~22.00 | 24.00~26.00 | —         | —                 |

各种超合金钢和耐热合金的化学成分及高温强度

表 4

| 合 金 名 称            | 型 号         | 化 学 成 分     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |        | 100h断裂强度,公斤/毫米 <sup>2</sup> |      |      |      |
|--------------------|-------------|-------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|---|--------|-----------------------------|------|------|------|
|                    |             | C           | Si  | Mn  | Cr   | Ni   | Co   | Mo   | W    | Nb   | Ti   | Al   | B | 其他     | 650℃                        | 732℃ | 816℃ | 871℃ |
| 加工硬化<br>奥氏体耐<br>热钢 | 16-25-6     | 0.08        | 0.5 | 1.5 | 16.0 | 25.0 | —    | 6.0  | —    | —    | —    | —    | — | N 0.15 | 24                          | 12   | 6.3  | —    |
|                    | 19-9DL      | 0.03        | 0.6 | 1.0 | 19.0 | 9.0  | —    | 1.25 | 0.40 | 0.40 | 0.30 | —    | — | —      | 27                          | 13   | 7.0  | —    |
|                    | G18B        | 0.40        | 1.0 | 0.8 | 13.0 | 13.0 | 10.0 | 2.0  | 3.0  | 3.0  | —    | —    | — | —      | 25                          | 13   | 9    | 5.7  |
| 弥散硬化<br>奥氏体耐<br>热钢 | Tinidur     | 0.04        | 0.7 | 1.0 | 15.0 | 26.0 | —    | —    | —    | —    | 2.26 | 0.15 | — | —      | 24                          | 11   | —    | —    |
|                    | A286        | 0.05        | 1.0 | 1.4 | 15.0 | 26.0 | —    | 1.75 | —    | —    | 2.00 | 0.20 | — | V 0.3  | 32                          | 15   | 5.4  | —    |
|                    | Incoloy     | 0.10        | 0.4 | 1.0 | 20.0 | 32   | —    | —    | —    | —    | 1.0  | —    | — | —      | 18                          | 9.3  | 4.9  | —    |
| Ni基耐热<br>合金        | NiMoNiC105  | 0.20<br>max | —   | —   | 12   | 其余全部 | 20   | 5.0  | —    | —    | 1.24 | 4.5  | — | —      | 72                          | 42.4 | 22.1 | 13.3 |
|                    | Inconel 700 | 0.1         | —   | —   | 15   | 其余全部 | 29   | 3    | —    | —    | 2.33 | 0    | — | —      | 49                          | 45   | 18   | 11   |
| Co基耐热<br>合金        | S816        | 0.40        | —   | —   | 20   | 20   | 其余全部 | 4    | 4    | 4    | —    | —    | — | —      | 35                          | 21   | 13   | 7.0  |

表 5

ASTM 規格化的 低 温 用 鋼

| 牌 号           | C     | Si        | Mo        | P      | S      | Ni        | Cr        | Cu        | Al        | 最低冲击<br>試驗溫度<br>(°C) |
|---------------|-------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| A 334-C 級 (管) | ≤0.25 | —         | 0.64~1.06 | ≤0.050 | ≤0.060 | —         | —         | —         | —         | - 46                 |
| A 334-3 級 (管) | ≤0.19 | 0.18~0.37 | 0.31~0.64 | ≤0.050 | ≤0.050 | 3.18~3.82 | —         | —         | —         | -101                 |
| A 334-5 級 (管) | ≤0.19 | 0.18~0.37 | 0.20~0.64 | ≤0.050 | ≤0.050 | 4.68~5.52 | —         | —         | —         | -101                 |
| A 333-4 級 (管) | ≤0.12 | 0.18~0.37 | 0.50~1.05 | ≤0.040 | ≤0.040 | 0.47~0.98 | 0.44~1.01 | 0.40~0.75 | 0.04~0.30 | -101                 |
| A 353-H 級 (板) | ≤0.13 | 0.15~0.30 | ≤0.80     | ≤0.035 | ≤0.040 | 8.50~9.50 | —         | —         | —         | -196                 |

影响低温耐冲击韧性的因素有以下几点：

(1) 晶格结构：18-8型奥氏体不锈钢，为面心立方晶格，經研究指出没有低温脆化现象，而碳素钢、低合金钢等为体心立方晶格，在温度降低时出现的转变温度，有迅速脆化的现象。

(2) 铝添加量：用铝可充分脱氧，而且铝镇静钢的转变温度很低，而硅镇静钢的低温冲击韧性则不够好。

(3) 化学成分：影响低温冲击韧性的元素如图3所示，镍、锰等奥氏体形成元素能起良好影响，即  $Mn/C$  比愈高愈好，在增加低温脆化倾向的元素中 C、P 的影响最大。

(4) 铁素体晶粒度：晶粒度越小，转变温度越低。

(5) 热处理：通常奥氏体状态的冷却速度越快，低温冲击韧性越好，退火的温度越高则冲击韧性越坏。

經不断研究，各种低温用钢，已发展到实用化，日本逐渐实现规格化。美国生产的低温用板材、管材已规格化，表5所示，即其一部分钢号的化学成分。

2) 目前有代表性的低温用钢 下面就顺序列举目前有代表性用在低温的钢种概况。

(1) 铝镇静钢：通常所指低温用的碳素钢即是含锰的碳素钢，为提高使用价值，则用铝脱氧构成细晶粒钢。见表5所示的碳等级，一般高张力钢在  $-50^{\circ}\text{C}$  左右温度时使用，其冲击值也不会降低，即可认为是低温材料的一种钢。

(2) 镍钢：如对低碳素细晶粒钢，添加镍就会改善低温性质，见图3所示的即为用在低温的低合金镍钢。其管材即相当表5内的等级3，其化学成分为3.5% Ni 钢的标准钢种成分。板材为2.5%~3.5% Ni 钢，或含镍更高的有9% Ni 钢，也已规格化。经过对3.5% Ni 钢的冲击试验，确定适用于  $-105^{\circ}\text{C}$ ，9% Ni 钢适用于  $-196^{\circ}\text{C}$  温度范围。

(3) 奥氏体不锈钢：具有面心立方晶格的奥氏体不锈钢，通常用在低温的尚无规格化，但其低温冲击韧性非常优良。如图4所示，經一般的热处理，用在  $-200^{\circ}\text{C}$  左右温度范围并不会降低其