# 深冲用钢DC04热轧原料的开发与试制

路 璐[1],胡 强[1],白彬亨[2]

(1. 内蒙古包钢稀土钢板材厂,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术质量部,内蒙古 包头 014010)

**摘 要:** 为了适应市场汽车业及家电业对超低碳钢深冲性能的需求,拓展包钢产品的品种,提升包钢产品的质量,为后续投产的冷轧生产线开发试制超深冲用钢做技术储备,包钢稀土钢板材厂对深冲用钢DC04热轧原料进行开发与试制,该钢种通过加入合金元素Ti控制间隙原子含量,使钢质纯净,采用高温终轧与卷取的工艺,控制碳化物的析出与固溶,得到低屈服强度、低屈强比的深冲原料,满足下游工序要求。

**关键词:** 超深冲用钢; 超低碳; 微合金化; 钢质纯净
**中图分类号:** TG142.13 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2017)02-0045-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.02.015

# Development and Trial Production of Hot Rolling Material for Deep Drawing Steel DC04

*LU Lu*[1], *HU Qiang*[1], *BAI Bin-heng*[2]

(1. *Inner Mongolia Rare Earth Steel Plate Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp., Baotou* 014010, *Nei Monggol*, *China*;
2. *Technology and Quality Dept. of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp., Baotou* 014010, *Nei Monggol*, *China*)

**Abstract:** In order to meet the demand of automobile industry and home appliance industry for ultra low carbon steel deep drawing performance, expand the varieties and improve the quality of steel products, make technical reserves for development and trail production of ultra deep drawing steel in cold rolling production line, Inner Mongolia Rare Earth Steel Plate Co. of Baotou Steel is developing and trail producing hot rolling material of ultra deep drawing steel DC04. By adding alloying element Ti, the interstitial atom content can be controlled to make the steel pure. Using high temperature finish rolling and coiling process to control the precipitation and solid solution of carbides, the deep drawing raw materials with low yield strength and low yield ratio can be obtained to meet the requirements of the downstream process.

**Key words:** ultra deep drawing steel; ultra low carbon; micro alloying; pure steel

近年来,国内汽车板对材料的要求日益提高,超低碳、微合金化和钢质纯净是冷轧深冲用钢的必备条件,为了保证冷轧超深冲用钢的冲压性能,要求屈强比低,塑性应变比及应变硬化指数高,生产中应该在冶炼、热轧、冷轧等工艺过程对关键参数进行控制。其中热轧板的组织和析出物形态对深冲汽车板的性能有很大的影响,均匀的铁素体组织和粗大的析出物有利于r值和塑性的提高,反之细小弥散的

**收稿日期:** 2017-02-17
**作者简介:** 路 璐(1986-),女,内蒙古包头市人,硕士,工程师,金属材料区域技术主管,现主要从事产品开发等工作。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

析出物阻碍再结晶和晶粒的长大，对r值不利，因此对冷轧深冲用热轧带钢的冶炼与轧制工艺的研究具有重要意义。

## 1 设计思路与试制过程

### 1.1 成分与工艺设计思路

#### 1.1.1 成分设计思路

为了得到无间隙原子用钢，需要控制钢中几种化学元素的含量满足公式 $w[Ti]-(3.4\times w[N]+1.5\times w[S]+4\times w[C])\geqslant 0.040\%$，从而保证低强度，本次实验选择合金元素钛固定间隙原子，与其它合金元素相比，加Ti固N的效果最好，TiN析出温度高，在整个轧制过程中不产生固溶和析出的现象。有害元素S与Ti结合形成$Ti_4C_2S_2$化合物，不仅降低Ti固定间隙原子的效果，且硫化物具有方向性，对延展性不利，因此应降低硫含量[1]。综上所述在进行成分设计时，以得到无间隙原子的纯净铁素体钢为基本准则，要求钢中间隙原子碳、氮以及有害元素硫含量尽可能低，使钢中的间隙原子被固定成碳化物、氮化物。

#### 1.1.2 热轧工艺设计思路

超低碳钢深冲性能的保证，离不开炼钢、热轧等各工序工艺参数的合理设计及严格控制。在热轧工序，主要思路为通过控制工艺参数以获得晶粒度适中的均匀的铁素体组织及粗大的析出物。

要想获得粗大的析出物，要保证低温加热，高温卷取，因为当加热温度超出1 250 ℃，钢中固溶的化合物固溶量显著增加，在热轧过程中析出并阻止奥氏体晶粒再结晶和晶粒长大，提高屈服点[2]。较高的终轧温度有利于等轴铁素体晶粒的形成，鉴于该钢种为超低碳钢，根据铁碳相图，终轧温度降低到相变点，两相区轧制有可能导致混晶，因此在保证低温加热的同时，也要保证高的终轧温度。卷取温度越高越有利第二相粒子的析出和粗化，粗大的析出物对下游工序再结晶退火过程中晶界迁移时钉扎作用小，有利于{111}织构充分发展。

### 1.2 试制过程

#### 1.2.1 炼钢

结合深冲用钢需要深脱碳的特点，设计炼钢的工艺路线：高炉→KR脱硫→转炉→RH炉→板坯连铸。对于首次开发的深冲用钢，工业试制时化学成分设计见表1。表1中化学成分参考标准为GB/T 5213—2008，《冷轧低碳钢板及钢带》[3]。

表1 化学成分(质量分数) %

| 化学元素 | C | Si | Mn | P | S | $Al_t$ | Ti | N | O |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 标准[1] | ≤0.08 | | ≤0.40 | ≤0.030 | ≤0.030 | ≥0.020 | | | |
| 用户要求 | ≤0.005 | ≤0.04 | ≤0.30 | ≤0.020 | ≤0.020 | ≥0.020 | ≤0.070 | <0.0050 | <0.0040 |

在炼钢工序中的关键点：①RH深脱碳，将$w[C]$降到$50\times10^{-6}$以下，真空度越低，越有利于进行脱碳反应，生产过程中快速达到设定的真空度，促进了碳与氧快速反应，连铸过程中采取措施避免增碳；②该钢种的降氮问题主要在转炉内解决，减少转炉冶炼终点的$w[N]$和避免钢液增氮是关键点；③保证易氧化元素钛的收得率。

各化学元素的分布范围见图1，从图中可知，试制的产品经检测$w[C]<0.005\%$，$w[Si]<0.010\%$，$w[P]<0.015\%$，$w[S]\leqslant0.005\%$，化学成分满足技术要求，控制稳定。

#### 1.2.2 热轧

(1)轧制实验。热轧工艺采用低温加热、高温终轧及高温卷取的轧制方案，首次实验由于实验轧机的长度有限，原设定轧制13个道次，当轧到第8道次时，需要将中间坯剪断，再继续轧制，这期间温降过大，导致不能保证终轧温度。第二次实验时改变铸坯尺寸，保证工艺参数按设定值执行，两次实验轧制的对比结果见表2。取样做力学性能检测，结果显示两次实验后力学性能有较大区别，首次实验屈服强度252 MPa，抗拉强度327 MPa，延伸率20.5%，第二次调整工艺后屈服强度199 MPa，抗拉强度302 MPa，延伸率37.5%。从表中看出当精轧终轧温度与卷取温度较低时，屈服强度与抗拉强度相对较高，延伸率非常低，虽满足标准要求，但性能结果不理想，与市场需求有一定差距。第二次实验当温度按照设定值执行时，力学性能满足要求。分析其原因，终轧温度偏低，$w[C]$为0.016%的动态相变点大约在是870 ℃，精轧终轧温度小于850 ℃，钢带在两相区进行轧制，导致强度高，延伸率低。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

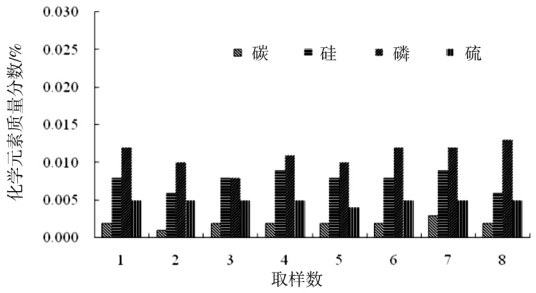



图 1　DC04 化学成分

表 2　DC04 热轧实验卷性能

| 实验阶段 | 精轧终轧温度/℃ | 卷取温度/℃ | 屈服强度/MPa | 抗拉强度/MPa | 延伸率/% |
|---|---|---|---|---|---|
| 第 1 次 | <850 | <700 | 252 | 327 | 20.5 |
| 第 2 次 | >880 | >700 | 199 | 302 | 37.5 |

精轧终轧温度低，会出现混晶的现象，原因是精轧终轧温度较低，接近相变点，钢带进入两相区轧制，当钢带在铁素体相区轧制，动态变形条件下铁素体晶粒的变形程度不均匀，出现混晶。混晶具有遗传性，后续工艺不能消除该缺陷，混晶严重影响冲压性能，在混晶区进行变形，屈服强度低的粗大晶粒先发生屈服现象，此时细小晶粒并未开始屈服，这时位错滑移到混晶区的晶界时，受到阻碍，不协调变形加剧应力集中，在冲压过程中开裂的几率较大。因此在工业生产中，保证高的精轧终轧温度尤为重要。

(2) 工业试制。深冲用钢的热轧工艺路线为：加热炉→粗轧高压水除鳞→定宽压力机→E1R1 粗轧机→E2R2 粗轧机→保温罩→飞剪→精轧高压水除鳞→F1—F7 精轧机→加密型层流冷却→卷取→托盘运输系统→取样、检验。由于板坯温度的均匀性会影响板带的形变及组织的均匀性，因此在粗轧与精轧之间投入保温罩，以保证产品的质量。从前面实验中得出为了避免两相区轧制，必须保证高的终轧温度及整卷钢带温度的稳定性。根据实验结果设定工艺参数见表 3。

表 3　DC04 热轧工艺参数　　℃

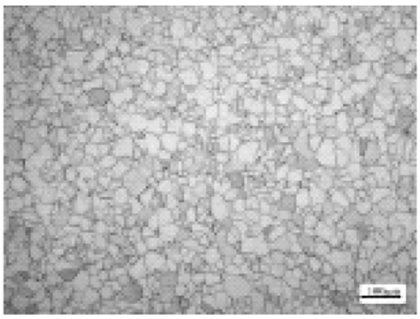
| 钢种 | 加热温度 | 精轧终轧温度 | 卷取温度 |
|---|---|---|---|
| DC04 | <1 250 | >870 | >680 |

## 2　结果分析

### 2.1　组织与夹杂

DC04 组织为铁素体，晶粒度 6.0～6.5 级，见图 2，夹杂物 A 类(硫化物)、B 类(氧化铝)、C 类(硅酸盐)、DS(单颗粒球状)类夹杂均为 0～0.5 级，D 类(球状氧化物类)夹杂为 1 级，控制比较理想。

采用低温加热(加热温度 <1 250 ℃)并保证均热时间大于 40 min 的工艺，保证铸坯加热均匀，晶粒没有异常长大，严格执行精轧终轧温度与卷取温度并控制波动范围，获得均匀的铁素体晶粒。炼钢过程中的内生夹杂主要是脱氧或凝固的过程中产生的，为控制夹杂物的产生，一方面控制氧、硫、氮等元素的含量，另一方面在凝固的过程中避免因温度降低使得杂质元素溶解度下降产生夹杂物。



166114279(6级)

图 2　DC04 热轧原料金相组织

### 2.2　力学性能

对试制的钢带力学性能进行统计，见图 3、图 4 与表 4，从图中看出屈服强度 172～191 MPa，抗拉强度 297～318 MPa，延伸率 46.5%～54.0%，性能指标稳定，波动范围小，完全符合交货技术要求。加热温度、精轧终轧温度及卷取温度等工艺参数的严格管控是力学性能的有力保证。本次试制，产品的工艺完全按照要求执行，且曲线平稳，整卷温度均匀。

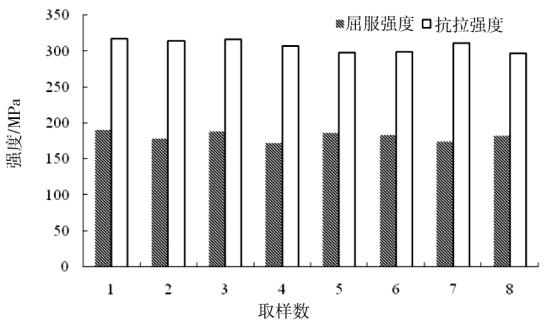



图 3　DC04 热轧原料强度分布图

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

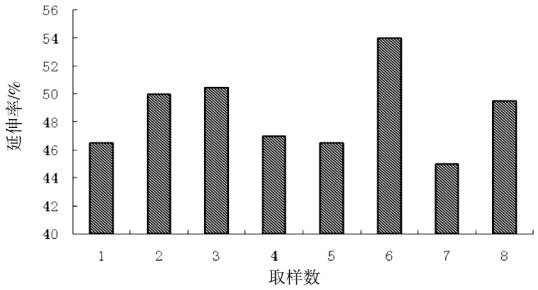



图4 DC04热轧原料延伸率分布图

表4 DC04热轧原料力学性能对比

| 力学性能 | 屈服强度/MPa | 抗拉强度/MPa | 延伸率/% |
|---|---|---|---|
| 主要分布范围 | 172～191 | 297～318 | 46.5～54.0 |
| 平均值 | 182 | 308 | 48.5 |

## 3 结束语

本文以保证钢带达到超低碳、减小出现夹杂物的概率及间隙原子充分固定、控制热轧板的组织和析出物的形貌为目的，设计超深冲用钢DC04热轧原料的化学成分及热轧工艺。通过实验室实验及工业试制，确定了可以满足技术要求的化学成分及工艺参数，产品性能符合技术要求。

### 参 考 文 献

[1] 于守巍. IF钢碳、氮含量控制研究[D]. 沈阳：辽宁科技大学，2011.
[2] 谢华. 高延伸率热轧深冲钢的生产实践[J]. 轧钢，2001，(2)：22－23.
[3] GB/T 5213—2008，冷轧低碳钢板及钢带[S].

(上接第37页)

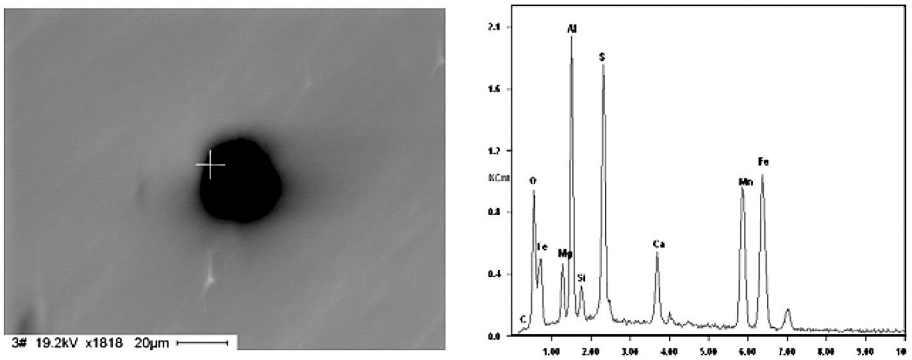



图3 钢中$Al_2O_3$—MgO—$SiO_2$—CaO系与MnS复合夹杂物

## 4 连铸

连铸采用小方坯铸机，铸机断面150 mm×150 mm，长水口和浸入式水口保护浇注，并加强密封，防止钢水二次氧化。连铸操作时采用恒拉速浇注，拉速控制1.9 m/min，过热度控制小于30 ℃，避免结晶器液面波动和过强的结晶器电磁搅拌，防止保护渣的卷入，凝固末端加电磁搅拌。

## 5 结束语

通过高碳钢盘条中氢及非金属夹杂物对盘条性能影响的研究，逐步解决了小方坯工艺生产高碳钢盘条质量波动的问题，尤其是连铸、拉速、过热度等工艺优化，保证了盘条力学性能和拉拔性的稳定。包钢共计生产SWRH82B盘条10 000余t。进厂检验及批量投料使用结果表明：产品表面质量好、尺寸精度高、机械性能稳定，可满足用户预应力钢丝及钢绞线生产要求。

### 参 考 文 献

[1] 施一新. 82B优质硬线生产的质量控制[J]. 金属制品，1998，(5)：11－12.
[2] 邵主彪. 转炉生产高碳硬线钢的工艺实践[J]. 河南冶金，2006：146.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net