冷轧深冲用钢 DC04 低屈强比性能优化*

齐 蒙,路 璐,刘 妍

(内蒙古包钢金属制造有限责任公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章研究了超低碳深冲钢中主要化学元素 P、Ti 对钢带强度的影响,以及主要生产工艺(如热轧冷却模式、退火温度、退火速度)对钢带强度的影响,根据客户需求,优化包钢 DC04 性能,降低了钢带屈强比,提高了冲压成形性,满足了客户需求。

关键词: 连续退火; 深冲用钢; 屈强比; 冲压成形性

中图分类号: TU511.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)01-0061-05

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.01.018

Performance Optimization for Low Yield Ratio of Cold Rolled Deep Drawing Steel DC04

Qi Meng, Lu Lu, Liu Yan

(*Inner Mongolia Baotou Steel Metal Manufacturing Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, it is studied the effects of main chemical elements P and Ti in ultra-low carbon deep drawing steel as well as main production technologies (i.e. cooling mode of hot rolling, annealing temperature and annealing speed) on strength of steel strip. The yield ratio of steel strip is reduced, punch formability is improved through optimizing the performances of DC04 of Baotou Steel according to customer requirements so that they could be met.

Key words: continuous annealing; deep drawing steel; yield ratio; punch formability

包钢冷轧超低碳 DC04 自 2017 年开发以来,产品性能已逐步稳定。但前期主要客户群体以中间商为主,不仅利润较低,而且客户与销量不稳定,严重制约着包钢汽车钢产品品质的提升及市场知名度。为增加包钢超低碳 IF 的利润空间,并提升包钢在汽车钢行业的占有率,需要走进各汽车主机厂,汽车主机厂对产品质量及服务要求较高,对于不同的汽车主机厂,由于前期使用其他钢厂母材各不相同,包钢汽车钢产品为匹配不同客户冲压模具,需根据客户需求,优化产品性能。

1 用户需求技术识别

为推进与汽车主机厂合作,包钢技术人员走访国内某知名汽车品牌,通过与相关技术人员对接,了解客户技术条件要求,经数据整理及分析,结合包钢主机厂汽车钢供货经验,对于个别成形难度较大零件,相较于包钢目前批量供货 DC04 产品,需要通过工艺优化,在保证生产钢带高抗拉强度的情况下,进一步降低钢带屈服强度 10~15 MPa,从而降低深冲钢屈强比,提高产品冲压成形性。

* 收稿日期: 2020-12-11

作者简介: 齐 蒙(1987-),女,内蒙古包头市人,硕士,工程师,现主要从事产品开发等工作。

2 优化措施及结果

本文从研究主要化学元素P、Ti对钢带强度的影响，到主要生产工艺(如热轧冷却模式、退火温度、平整机延伸率)对钢带强度的影响，摸索出一套降低深冲钢屈强比，提高深冲钢冲压成型性的工艺路线。

2.1 化学成分优化

2.1.1 强化元素P对强度的影响

冷轧深冲钢DC04中，主要强化元素有C、Si、Mn、P与N元素，随着强化元素含量的增加，带钢屈服强度均有增加的趋势，其中C元素的强化作用最强。在IF钢中，为保证带钢的低屈服强度及良好的冲压成型性能，C与N元素含量往往被控制在较低水平。其它强化元素Si、Mn、P中，P的固溶强化作用最强，P元素以置换固溶的形式固溶在基体中，由于P原子半径比Fe原子要大，P原子置换固溶时会引起基体晶格畸变，其应力场与位错应力场发生交互作用，阻碍钢板变形时的位错运动，从而提高强度[1]。

通过对我公司生产的DC04进行数据采集分析，总结P元素对产品强度的影响规律。选取厚度为1.0 mm的带钢，化学成分w[C]均为0.002 0%，且其他元素含量基本保持一致，在保证热轧工艺与连退工艺参数控制范围相同的情况下，P元素含量对带钢屈服、抗拉强度的影响见图1，对于厚度1.0 mm钢带，w[P]每增加0.01%，将导致带钢屈服与抗拉强度均同时提高8～10 MPa。

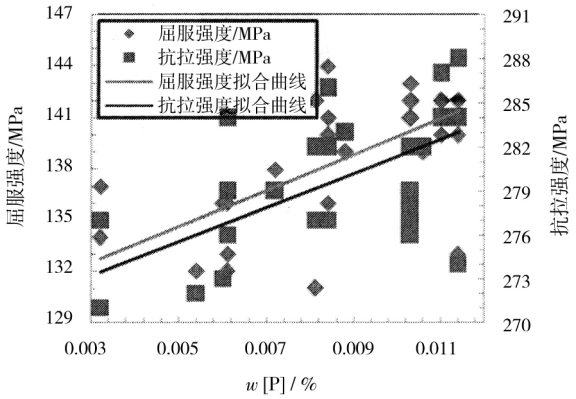


图1 P含量与屈服、抗拉强度的拟合关系图

2.1.2 合金元素Ti对强度的影响

IF钢要求超低碳，利用合金元素Ti固定C与N，通过控制间隙原子的方式降低产品强度。根据剩余Ti计算公式($Ti_{剩余} = w[Ti] - (3.4 \times w[N] + 1.5 \times w[S] + 4 \times w[C])$)进行成分设计，Ti元素先与N、S结合生成TiN、TiS、然后与C形成TiC。为保证间隙原子的固定，首先要保证元素C、N、S的含量尽可能低，其次需加入适合的Ti含量，若Ti加入量不足，有可能会导致有剩余的间隙原子存在，从而提高强度。

经统计试制产品剩余Ti含量对钢带屈服强度的影响见图2，剩余w[Ti]每增加0.01%，将导致钢带屈服强度降低约10 MPa，考虑到钛的收得率及成分变化影响，典型的过量w[Ti]为0.01%～0.03%[2]，当剩余w[Ti]≥0.04%时，随着Ti含量的增加，屈服强度将无明显变化[3]。

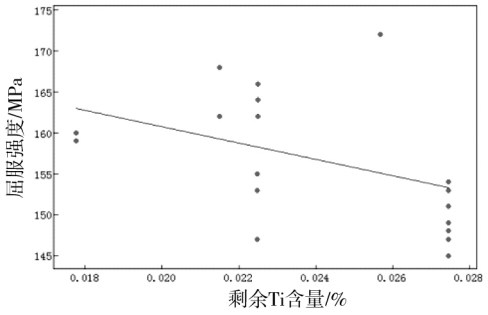


图2 剩余Ti含量与屈服强度的拟合关系图

2.1.3 化学成分优化结果

根据客户特殊性能需求的DC04屈服、抗拉强度要求范围，为保证DC04较低的屈服强度，根据深冲钢中Ti元素含量对强度影响的摸索，保持DC04化学元素中极低的w[C]、w[N](≤0.004 0%)，及较高的w[Ti](≥0.040%)，保证钢带始终能够处于无间隙原子状态，防止由于间隙原子的存在而使强度升高；鉴于强化元素中P对抗拉强度的影响最大，为保证足够的抗拉强度，适当提高w[P](0.010%～0.020%)。

2.2 热轧生产工艺参数优化

2.2.1 热轧冷却模式对强度的影响

为研究冷却模式对钢带强度的影响，热轧挑选7卷超低碳IF钢DC04，分4组调整层流冷却水，依次将生产过程中冷却水打开组数由后向前推进，在相应钢带冷轧工艺参数(酸轧压下率、退火温度、退火速度、平整机延伸率等)一致的情况下，对比钢带力学性能，试验钢带屈服、抗拉强度随层流水打开组数前移的变化见图3，随层流冷却水水打开组数每前移1组，屈服强度约增加3～5 MPa，抗拉强度约增加3 MPa。

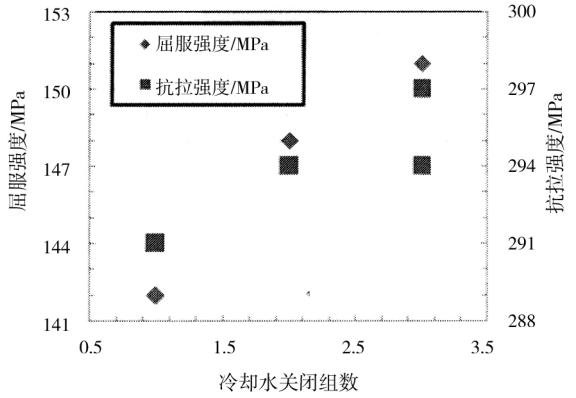


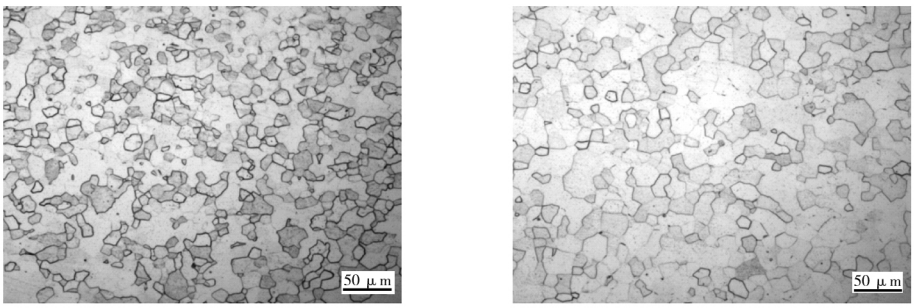
图 3　钢带屈服/抗拉强度随层冷水关闭组数前移的变化关系

2.2.2　**热轧冷却模式对金相组织的影响**

为研究热轧冷却模式对金相组织的影响，挑选部分生产钢带，调整热轧冷却模式，由后分散调整为前分散，其他工艺参数按照相应质量计划要求执行，对调整工艺钢带，委托力学性能、金相组织及晶粒度，力学性能对比见表 1。经工艺调整后，生产钢带抗拉强度平均值提高约 10 MPa，后分散冷却钢带晶粒度集中为 7.0 ~ 7.5 级，前分散冷却钢带晶粒度集中为 8.0 级，金相组织对比见图 4。采用较强的冷却方式，钢带晶粒度有细化的趋势。

表 1　调整热轧冷却模式钢带力学性能对比

卷号	厚度 /mm	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	伸长率 /%	塑性应变比 $r90$	加工硬化指数 $n90$
2091093011A	0.8	116	282	47.5	3.00	0.24
2091093021A	0.8	115	279	46.0	3.00	0.24
2091093031A	0.8	115	279	47.0	3.05	0.24
2091093051A	0.8	116	278	44.5	2.85	0.24
2091093061A	0.8	116	280	48.5	2.85	0.24
2091093071A	0.8	116	282	51.0	2.85	0.24
2091093081A	0.8	117	282	44.5	2.90	0.24
未调整热轧工艺钢带	0.8	116	272	45.3	2.90	0.24



（a）晶粒度8级（前分散钢带金相组织）　（b）晶粒度7级（后分散钢带金相组织）

图 4　热轧工艺调整钢带金相组织对比

2.2.3　**热轧生产工艺优化结果**

根据热轧生产工艺对强度与金相组织的摸索，调整热轧冷却模式由后分散调整为前分散，增加热轧后冷却能力，细化晶粒，增加屈服与抗拉强度，工艺优化后，生产钢带热轧工艺参数能够满足工艺要求，过程控制稳定。

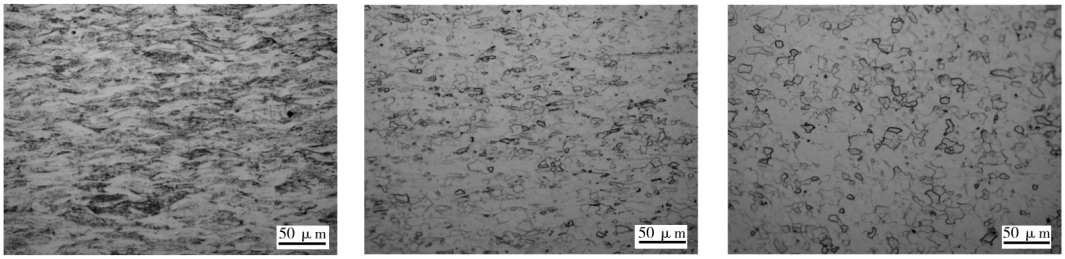
2.3　**冷轧生产工艺参数优化**

2.3.1　**退火温度对强度的影响**

退火温度对 IF 钢的组织、力学性能和织构都有着较大的影响，酸轧后钢板晶粒沿轧制方向呈纤维

状组织，退火过程中带钢发生再结晶，使基体得到均匀的铁素体组织，退火温度达到再结晶温度时，形变纤维状组织中出现再结晶晶粒形核，随着退火温度的升高，再结晶晶粒逐渐长大。

为摸索包钢DC04退火温度，经在技术中心做再结晶温度检测，选择试样以10 ℃/s的速率分别加热到600 ℃、630 ℃、660 ℃、690 ℃、720 ℃、750 ℃、780 ℃进行模拟退火，分别保温50 s和100 s后，再以10 ℃/s冷却速率冷却至室温，并且按试验具体情况对部分试验进行了加密检测（缩短加热温度间隔）。在保温相同的时间情况下，分别选择630 ℃、690 ℃、780 ℃ 3个温度点，观察钢带金相组织变化，如图5所示。



（a）630 ℃退火　（b）690 ℃退火　（c）780 ℃退火

图5　退火过程中金相组织变化

2.3.2　平整机延伸率对强度的影响

随着平整机延伸率的增加，钢由于加工硬化作用，屈服强度和抗拉强度随平整延伸率的提高而提高[4]，对于超深冲用钢，避免因过度加工硬化导致的强度升高，以免不利于冲压性能，因此摸索合适的平整机延伸率尤为重要。为摸索平整机延伸率对钢带屈服强度的影响，选用同一退火温度，采用不同平整机延伸率0.3%、0.4%、0.5%，对比不同平整机延伸率力学性能变化趋势，结果如图6所示，平整机延伸率每提高0.1%，屈服强度的增量大约为3～5 MPa。

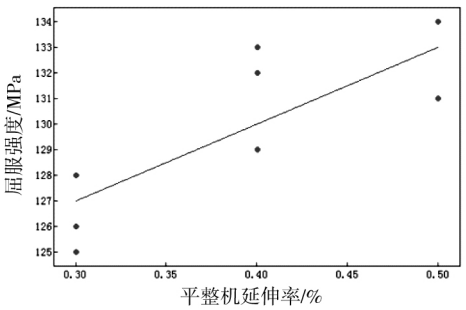


图6　屈服强度随平整机延伸率的变化关系图

2.3.3　冷轧工艺优化结果

结合DC04化学成分、热轧工艺的调整，为保证钢带较低的屈服强度，需减少热轧工序对屈服强度的提升，根据退火温度及平整机延伸率对强度的影响规律，优化DC04钢带采用略高的退火温度（高于800 ℃）及较低的平整机延伸率（≤0.60%）。

2.4　力学性能优化结果及分析

统计2020年1—5月执行企标DC04（用牌号DC04－QB表示）同厚度规格力学性能，与优化后DC04（用牌号DC04－CC表示）屈服强度、抗拉强度、屈强比对比，DC04－CC在强化元素C、Mn含量较DC04－QB偏低的情况下，通过工艺优化，抗拉强度与执行企标DC04－QB基本一致，平均值偏高1 MPa，而屈服强度降低11 MPa，从而在保证抗拉强度的同时，降低了屈强比，执行企标DC04－QB屈强比集中范围在0.45～0.50，而优化后DC04－CC屈强比集中范围在0.42～0.45。优化后的DC04－CC与执行企标DC04－QB断后延伸率、n值与r值差别不大，从而改善了DC04－CC冲压成型性，达到了开发优化的目的，满足了客户的性能需求。

3　客户使用反馈

性能优化后的DC04－CC，客户主要用于冲压左、右前门内板、左、右后门内板及前围上部内板，试模零件全部通过，截止目前优化后钢带已完成发货超过1 000 t，部分冲压零件见图7。



图 7　DC04 – CC 冲压左、右前门内板

4　结束语

本文根据客户深冲钢产品特殊性能需求，从研究主要化学元素 P、Ti 对钢带强度的影响，到主要生产工艺，如热轧冷却模式、退火温度、退火速度对钢带强度的影响，通过调整化学成分、热轧冷却模式、配合退火温度与平整机延伸率调整，在保证优化 DC04 钢带抗拉强度不变的同时，降低屈服强度，从而降低屈强比，满足汽车主机厂 DC04 低屈强比的要求。

参　考　文　献

[1]　郭卫民. 铁素体区轧制含磷高强 IF 钢组织与深冲性能的研究 [D]. 济南: 山东大学，2011.

[2]　钱健清，袁新运. 冷轧深冲钢板的性能检测和缺陷分析 [M]. 北京: 冶金工业出版社，2012.

[3]　于守巍. IF 钢碳、氮含量控制研究 [D]. 辽宁: 辽宁科技大学，2011.

[4]　林英哲，任秋红，李自洋，等. 平整延伸率对 IF 钢组织和性能的影响 [J]. 热加工工艺，2017，(11): 134 – 136，140.