

· 研究与开发 ·

## 2205 双相不锈钢热轧厚向变形均匀性的实验研究

王月香<sup>1</sup>, 刘振宇<sup>1</sup>, 王国栋<sup>1</sup>, 江来珠<sup>2</sup>, 宋红梅<sup>2</sup>

(1 东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室, 辽宁 沈阳 110004,  
2. 宝钢研究院不锈钢技术中心, 上海 200431)

**摘 要:**针对工业生产 2205 双相不锈钢热轧卷板产生裂纹问题,进行了楔形试样的热轧实验,分析了道次变形量对试样厚度方向变形均匀性的影响规律,得到了使试样厚度方向变形更趋均匀的最优粗轧道次压下量,避免了裂纹的产生。

**关键词:**双相不锈钢;热变形;楔形轧制;裂纹

**中图分类号:**TG337.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-9996(2009)05-0001-04

### Experimental Study on Deformation Uniformity in Thickness Direction of 2205 Duplex Stainless Steel during Hot Rolling

WANG Yue-xiang<sup>1</sup>, LIU Zhen-yu<sup>1</sup>, WANG Guo-dong<sup>1</sup>, JIANG Lai-zhu<sup>2</sup>, SONG Hong-mei<sup>2</sup>

(1. The State Key Lab of Rolling and Automation, Northeastern University, Shenyang 110004, China;  
2. Stainless Steel Technology Center, Baosteel Research Institute, Shanghai 200431, China)

**Abstract:** In order to resolve the crack problem of 2205 duplex stainless steel plate in industry production, hot rolling experiment of wedge-shaped specimen of as-cast 2205 duplex stainless steel has been carried. Influence rule of reduction in pass to deformation uniformity of the specimen in thickness direction has been analyzed. A more reasonable reduction in pass during rough rolling has been proposed to obtain more uniform deformation in thickness direction, and the crack problem can be avoided.

**Key words:** duplex stainless steel; hot deformation; wedge-shaped rolling; crack

2205 双相不锈钢具有优异的耐孔蚀性能、良好的强度及韧性,良好的焊接性能,可进行冷、热加工及机加工成形,适于作结构材料,是目前应用最普遍的双相不锈钢材料<sup>[1-4]</sup>。但由于其热加工时处于奥氏体和铁素体各占相当比例的两相区<sup>[5]</sup>,两相不同的变形行为导致其热加工性能较差<sup>[6,7]</sup>,工业生产中连铸坯料在热连轧时容易产生较为明显的裂纹。为此,本文进行了铸态 2205

双相不锈钢楔形试样热轧实验,分析了道次变形量对变形均匀性的影响,为热连轧工艺的制订提供了必要的数据及分析,以达到减少或避免热轧裂纹的目的。

### 1 实验材料与方法

本文所用实验钢为连铸坯,其化学成分如表 1 所示。

表 1 试验用钢化学成分(质量百分数)

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	P	S	N
0.023	0.65	1.18	21.06	5.41	3.04	0.014	0.0008	0.15

试样尺寸如图 1a 所示,在试样楔形区的侧面不同厚度处刻有 6 处标记,以便轧后不同位置处

收稿日期:2008-09-24

基金项目:国家自然科学基金重点项目(50734002)

作者简介:王月香(1979-),女(汉族),山东临沂人,博士研究生。

台州盛沪机械有限公司  
Tel:0576-87552101 Fax:0576-87512616  
专业生产冶金身卫装置

变形量的定量分析。试样加热温度为 $(1250 \pm 10)^\circ\text{C}$ ，保温 $1.5 \sim 2.0\text{h}$ ，空冷到设定温度后在 $\Phi 450\text{mm}$ 单机架可逆轧机上进行轧制。轧后试样沿图1b中所示阴影剖面线切割，经研磨、抛光和电解腐蚀，观察整个断面的组织变化情况。

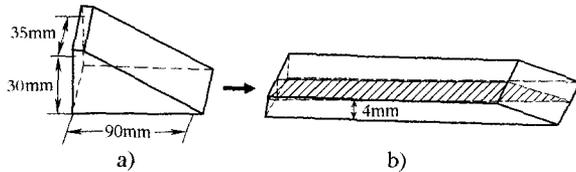


图1 楔形试样轧制前后尺寸图  
a) 变形前; b) 变形后

## 2 实验结果

采用楔形试样分别进行了 $1000$ 、 $1050$ 、 $1100^\circ\text{C}$  3个变形温度的热轧实验。通过对热轧后试样纵切面进行金相组织(图2、图3)分析发现,不同变形温度时试样纵切面上厚度方向的变形规律具有相似性,在变形量较小时,变形局限于试样的上下表面附近,随着变形量的增加,变形在中心处逐渐剧烈,上下表面则变形很小。

由于变形温度 $1100^\circ\text{C}$ 更接近工业生产2205双相不锈钢的粗轧开轧温度,因此对变形温度为 $1100^\circ\text{C}$ 轧后试样的实验结果进行了具体分析。

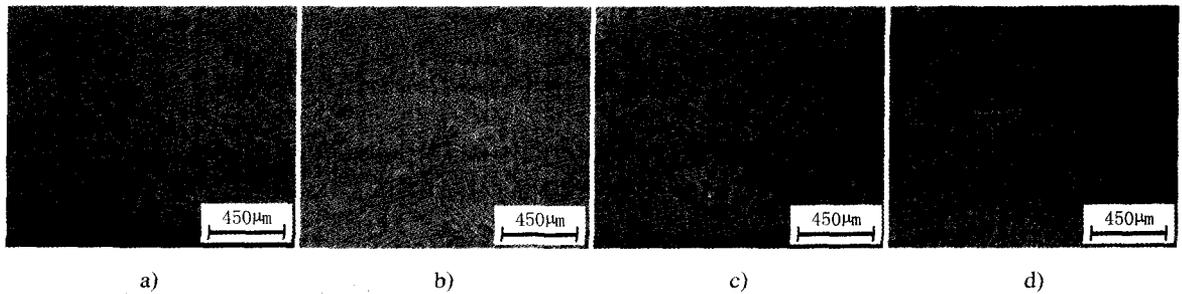


图2 楔形试样在 $1000^\circ\text{C}$ 热轧后不同变形量处厚度方向的金相组织  
a) 小变形量,表面处; b) 小变形量,中心处; c) 大变形量,表面处; d) 大变形量处,中心处

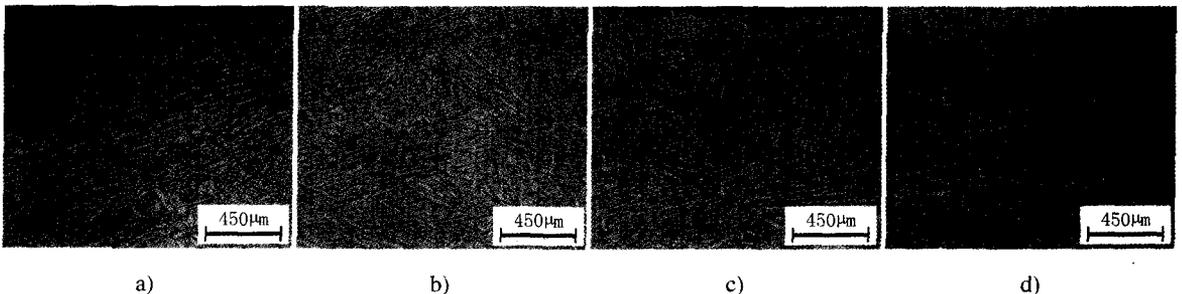


图3 楔形试样在 $1050^\circ\text{C}$ 热轧后不同变形量处厚度方向的金相组织  
a) 小变形量,表面处; b) 小变形量,中心处; c) 大变形量,表面处; d) 大变形量,中心处

### 2.1 试样变形前的组织特征

2205双相不锈钢楔形试样经加热炉加热保温约 $1\text{h}$ 后,冷却到 $1100^\circ\text{C}$ 后淬火至室温的金相组织如图4所示,在 polygonal 铁素体晶界和晶内的某些晶面上析出奥氏体,呈魏氏组织形貌。

### 2.2 轧后纵向断面金相组织变化情况

试样在 $1100^\circ\text{C}$ 变形后,按照图1所示位置采用线切割取样,对得到的纵切面进行电解腐蚀得到如图5所示试样整个纵切面的金相组织。由图5可以观察到:在变形量较小的时候,变形仅局限

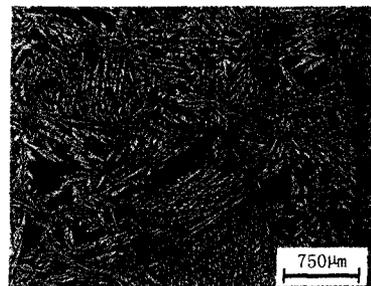


图4 试样在 $1100^\circ\text{C}$ 热轧前的金相组织

于上下表面附近,未向试样的中心处传递。随着

台州盛沪专业生产冶金身卫装置  
Tel:0576-87552101 Fax:0576-87512616

变形量的增加,变形逐渐向中心处推进;变形量在 37%~45% 范围内,表面和中心的变形分配较为

均匀;变形量大于 45% 时,随着变形量的增加,变形在中心处逐渐剧烈,上下表面则变形很小。

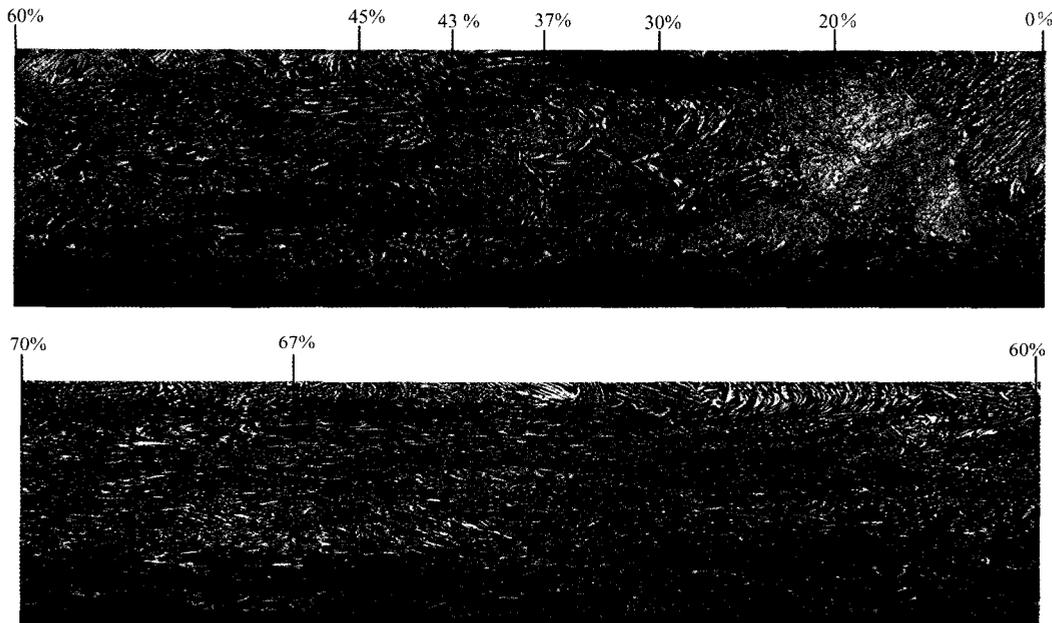


图 5 楔形试样变形后整个截面的金相组织变化情况

### 3 分析与讨论

#### 3.1 热轧道次压下量对 2205 双相不锈钢厚度方向变形均匀性的分析

实验结果显示,2205 双相不锈钢连铸坯在变形量较小的情况下变形仅局限于上下表层附近,难以深入到其中心处,这一变形特点与该钢种的金相组织特点有关。2205 双相不锈钢连铸坯在热轧温度区间的魏氏组织形貌的两相结构如图 4 所示,在组织中奥氏体由高温铁素体晶界和晶内某些特定晶面方向析出,构成了组织中的框架,且奥氏体较铁素体硬度高,因此奥氏体相是在变形过程中抵抗变形进一步进行的主要阻力,这一特点增加了该钢种热轧变形沿厚度方向向中心传递的难度,导致了厚度方向应变的不均匀分配。

变形量较小时变形局限在轧件表面而不易向芯部传递,仅破坏了表层的两相框架结构。由于奥氏体的框架结构在此处被破坏,铁素体相因硬度较低而使其连续性在此处增强,故随后的变形容易在此处进行。而中心部位奥氏体的框架依然存在,不利于后续道次变形向中心部位的推进。当变形量较大时,变形传递到芯部并且轧件中心处的金属流动较表面剧烈,表面处的金属反而由于过大轧制力带来较大的表面摩擦力,阻止了金

属的流动,从而显示出较小的改变,随后进行的变形更容易在轧件的中心处进行。

工业生产 2205 双相不锈钢热轧卷板时,其道次压下量的设定大多低于 30%,其道次变形量处于本文实验得到的产生表面变形的阶段,经多道次轧制后使表面附近与轧件中心处的变形严重不均。为了验证以上分析,本文在实验室条件下,对 2205 双相不锈钢进行了 9 道次轧制,其道次压下率均在 25% 左右,对轧后轧件沿纵向轴线取样,其纵切面的不同位置处的金相组织如图 6 所示。可以看到,在每道次压下率都小于 30% 的情况下,轧件的表层和中心部位的金相组织相差较大,表层组织呈明显的纤维状并沿轧向排布。

此外,将两块尺寸相同连铸坯,经加热和保温后,在 1100℃ 进行不同工艺的轧制:一块进行道次压下量大于 30% 的 2 道次轧制;另一块进行道次压下量小于 30% 的 4 道次轧制。两种不同工艺轧制后轧件不同位置的金相组织如图 7 所示。

由图 7 可见,2205 双相不锈钢连铸坯在热轧开轧前几道次适当加大道次压下量可以更为有效地破坏奥氏体相的框架结构,细化奥氏体组织,进而提高变形的均匀性。因此,工业生产时热轧粗轧开轧阶段道次压下量应大于 30%。

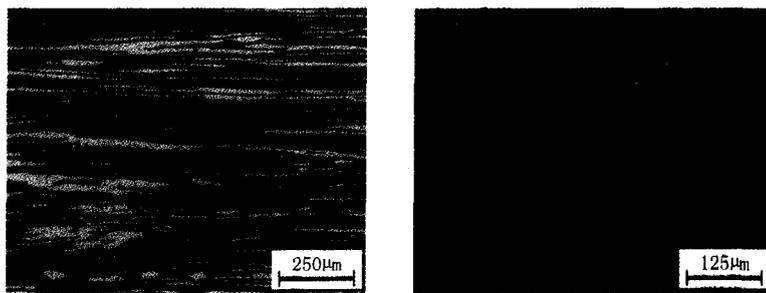


图6 实验室9道次热轧试样表层和中心组织对比

a)表层;b)中心

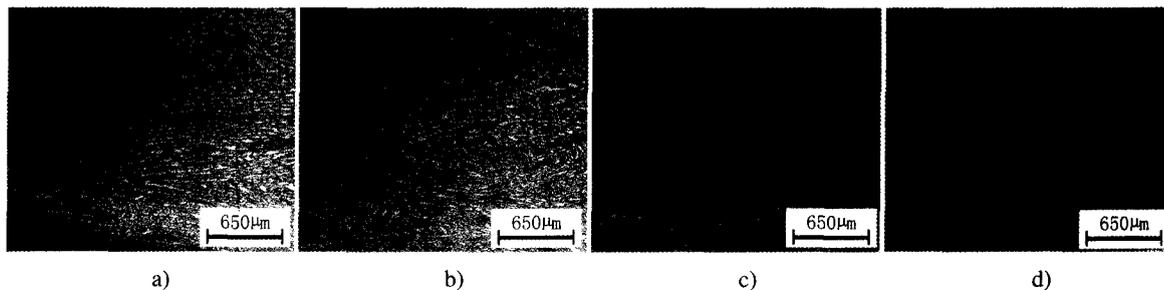


图7 不同工艺条件下试样金相组织对比

a)2道次轧后表层组织;b)2道次轧后中心组织;c)4道次轧后表层组织;d)4道次轧后中心组织

### 3.2 2205 双相不锈钢热轧裂纹现象讨论

2205 双相不锈钢连铸坯料在热连轧过程中容易产生较为明显的边裂和沿轧件表面纵向断续分布表裂现象。工业生产 2205 双相不锈钢热轧卷板时,其道次压下量的设定大多低于 30%,道次变形量处于本文实验得到的产生表面变形的阶段,厚度方向变形不均会助长乃至诱发裂纹的产生。当轧制仅使轧件产生表面变形时,在轧件的表面层会产生附加的拉应力,经随后多道次轧制后上下表面处承担了更多的变形量,表面附加拉应力也相应增加。当表面附加拉应力增加到一定程度就会为边部或表面微裂纹的形成提供有利的条件<sup>[8]</sup>。

### 4 结论

从上述分析可以得到,工业生产 2205 双相不锈钢热轧卷板产生的裂纹与其粗轧阶段开轧前几道次的道次压下量有直接关系,道次压下量过大或过小都会诱导轧件不同位置处裂纹缺陷的产生。为此,可以采取以下两种措施减少或避免裂纹缺陷的产生:

(1)将连铸坯在进入加热炉前进行适当变形量的热锻,以破坏其连铸坯厚度方向组织中的奥氏体框架结构;

(2)连铸坯粗轧前几道次的压下量控制在 37%~45%;适当提高开轧温度,可以适当降低粗轧前几道次的压下量。

#### 参考文献:

[1] 吴 玖,姜世振,韩俊媛,等. 双相不锈钢[M]. 北京:冶金工业出版社,1999. 31-35.  
 [2] 汪建羽. 双相不锈钢材料及其工程应用[J]. 石油化工设计, 2006,23(2):40-43.  
 [3] 张 豪,董 飞,陈继志. 双相不锈钢研究进展[J]. 材料开发与应用,2008,23(2):57-59.  
 [4] 吴 玖. 国内外双相不锈钢的发展[J]. 石油化工腐蚀与防护, 1996,13(1):6-8.  
 [5] 王月香,刘振宇,王国栋,等. 2205 双相不锈钢热变形过程中形变诱导相变的探讨[J]. 轧钢,2009,26(2):6-9.  
 [6] 王晓峰,陈伟庆,毕洪运,等. 影响双相不锈钢热塑性的诸因素讨论[J]. 上海金属,2007,29(6):37,83,93.  
 [7] 王一德,李国平,王立新,等. 00Cr22Ni5Mo3N 双相不锈钢板材的生产工艺[J]. 特殊钢,2001,22(5):36-37.  
 [8] 迪特尔 G E. 力学冶金学[M]. 北京:机械工业出版社,1986. 609-610.

台州盛沪专业生产冶金身卫装置  
 Tel:0576-87552101 Fax:0576-87512616