

深冲钢板的主要织构对塑性应变比的影响

吕庆功 陈光南 周家琮 唐 历

(中国科学院力学研究所) (攀枝花钢铁集团公司)

摘 要 总结了深冲钢板织构影响塑性应变比的研究方法,分析了8种主要织构对深冲钢板塑性应变比的影响特点,探讨了深冲钢板 r 值偏大时的织构原因,可为深冲钢板塑性应变比的改善提供依据。

关键词 深冲钢板 塑性应变比 织构

INFLUENCE OF MAIN TEXTURE COMPONENTS ON PLASTIC STRAIN RATIO OF DEEP DRAWING STEEL SHEET

Lu Qinggong Chen Guangnan

(Institute of mechanics, the Chinese Academy of Science.)

Zhou Jiacong Tang Li

(Panzhihua Iron & Steel Corp.)

synopsis The present paper summaries methods for study on the effect of textures on plastic strain ratio of deep drawing steel sheet, analyzes the characteristics of eight main texture components affecting the plastic strain ratio of deep drawing steel sheet, and discusses reasons for larger r value. The results may be referential to ameliorating the plastic strain ratio of deep drawing steel sheet.

Keywords deep drawing steel sheet plastic strain ratio texture

1 前 言

深冲钢板广泛应用于汽车、摩托、家电等的外壳和内部冲压零件,是国民经济建设中最重要结构材料之一。由于深冲钢板绝大多数都要经过冲压成型,所以良好的成型性能是深冲钢板最基本的性能要求,而衡量成型性能的一项重要指标就是塑性应变比(\bar{r} 、 r)。 r 值越大,而 \bar{r} 值越小,则深冲钢板的成型性能良好。

\bar{r} 、 r 值的实质是塑性各向异性,主要受深冲钢板织构的影响。长期以来,人们在深冲钢板的生产实践中主要通过抑制{001}织构和促进{111}织构来获得大的 \bar{r} 值和小的 r 值,并且已经摸索出一套获得{111}织构、避免{001}织构的工艺原则。然而,由于工艺过程的复杂性,深冲钢板中往往出现{111}和{001}织构以外的织构类型。这些织构类型对深冲钢板塑性应变比的影响有其不同

于{111}和{001}的特点,而且即使是{111}和{001}织构,当其取向不同时,对塑性应变比的影响特点也不相同。生产实践也表明,冷轧深冲钢板的 r 值普遍大于零,而且对于低碳铝镇静钢来说其 r 值往往比较大。我们在St15微碳深冲钢板的试生产中出现了 r 值偏大的现象。因此,有必要对深冲钢板中各主要织构对塑性应变比的影响特点作进一步的整体认识。

本文总结了织构影响塑性应变比的研究方法,系统分析了深冲钢板中8种主要织构对塑性应变比的影响特点,并探讨了深冲钢板 r 值偏大时的织构原因,可为深冲钢板塑性应变比的改善提供依据。

2 织构影响塑性应变比的研究方法

织构影响塑性应变比的研究方法概括起来主要有3种:单晶分析、回归模型、变形模型。

联系人:吕庆功,博士后,四川省(617000)攀枝花钢铁研究院轧钢室

2.1 单晶分析

单晶分析可以采用实验和理论分析两种研究方法。采用实验方法时,需要首先制备单晶。铁单晶可以采用固态晶粒长大法制备^[11]。该方法是将多晶体材料进行一定量的变形,然后在逐步增加的温度下退火,在这个过程中只有少数甚至一个晶粒长大,该晶粒在高温下吞并并具有微量变形的母相,最后成为单晶。采用这种方法,有人利用温度梯度可调的退火炉,做成了很好的大的铁单晶^[12]。铁单晶可以做成不同的织构类型,考察其不同方向上的拉伸性能后,就可以得出不同织构对深冲钢板塑性应变的影响特点^[3]。单晶实验方法的优点是直观,但缺点是实验过程复杂,同时也不能体现多晶聚合体的特点。

理论分析方法^[4,5]是首先假设某一织构类型的单晶铁板以及铁板变形时开动的滑移系,然后根据晶体学关系就可求出相应的塑性应变比。这种简化了的分析与模拟计算可以定性地描述织构对塑性应变比的影响特点,但由于计算结果往往出现 $\bar{r} =$ 、 $r =$ 的极限情况,所以对实际应用没有定量指导意义。而且单晶理论分析同样不能体现多晶聚合体的特点。

2.2 回归模型

回归模型是过去用 X 射线在线检测深冲钢板 r 值时主要采用的一种方法^[6]。它先测量不同织构试样的力学性能和衍射信息,得到很多数据,再从中回归出力学性能和 X 射线衍射信息的关系。此方法直接针对实际深冲钢板进行研究,较直观,但由于是单纯地从回归出发,没有任何物理意义,所以其分析结果的普遍性差、可信度不高。

2.3 变形模型

变形模型依据深冲钢板变形时的内在物理过程建立模型,是 r 值的检测、分析以及织构模拟方法的主要发展方向。变形模型大体上可以分成 3 类:第一类是单纯从晶体学织构出发,考虑滑移和应力应变的关系,如 NC (Non - Constraint)、FC (Full Constraint)、PC (Partial Constraint) 和 RC (Relaxed Constraint) 模型^[7-8];第二类是从连续介质力学出发,把材料看作连续变形的塑性体,利用力学方法进行分析,如 CMTF (Continuum Mechanics of Textured Polycrystalline) 模型^[9]和有限元法^[10];第三类是从变形组织出发,把位错分布、变形带等组织因

素加入到模型中,如位错网络模型^[11]、变形带模型^[12]和 Hansen 模型^[13]。从模型的发展趋势来看,第三类模型是今后变形模型发展的主要方向。

目前用变形模型来预报和分析 r 值,对于 fcc 金属,其精度是比较高的,但对于 bcc 金属,由于其滑移系多、变形复杂,所以精度尚不能保证。这也是目前深冲钢板 ODF 分析软件很少带 r 值预报功能的重要原因。不过,用变形模型分析的织构对 r 值的影响特点,无论从定性上还是定量上都具有重要的参考价值。

3 主要织构及其对塑性应变比的影响特点

深冲钢板的织构往往体现为纤维织构,通常主要分布在 $\langle 110 \rangle //RD$ 和 $\langle 111 \rangle //ND$ 取向线上,但也可能出现 $\langle 001 \rangle //RD$ 、 $\langle 110 \rangle //ND$ 、 $\theta \langle 001 \rangle //ND$ 和 $\langle 110 \rangle //TD$ 取向线上的织构类型。ODF 图的 $\phi_2 = 45^\circ$ 截面不仅包含了、和取向线,而且也显示了、和 θ 取向线上的主要织构类型(图 1)^[4,14-15]。图 1 示出了本文要讨论的深冲钢板的 8 种主要织构。如果用 r 表示板面内与轧向呈 θ 角方向上的塑性应变比,则织构对深冲钢板塑性应变比的影响特点可以用它们对 $r - \theta$ 关系曲线的影响特点来描述。

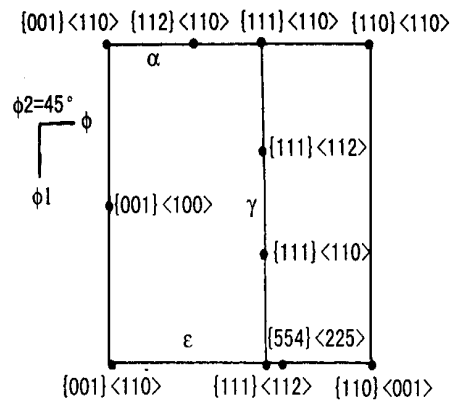


图 1 深冲钢板的主要织构(ODF 图 $\phi_2 = 45^\circ$ 截面)

3.1 $\{001\} \langle 110 \rangle$ 、 $\{001\} \langle 100 \rangle$ 的影响

铁单晶拉伸实验表明^[3],体心立方金属在 $\langle 111 \rangle$ 晶向的拉伸强度最高, $\langle 110 \rangle$ 晶向次之, $\langle 100 \rangle$ 晶向最差。由于 $\{001\}$ 织构的 $\langle 100 \rangle$ 晶向垂直于板面,所以这种织构造成钢板冲压时厚向易于变形,使得塑性应变比平均值 \bar{r} 非常小,严重恶化了深冲钢板的成型性能。而且,由于 1 份

{001} 织构的负面影响需要 4 ~ 5 份的{111} 有利织构才能补偿^[16], 所以从提高深冲钢板成型性能的角度来看, {001} 织构是应该严格避免的织构类型。从{001} 织构对 r — 曲线分布的影响特点来看^[5, 17-19], {001} < 110 > 主要体现为倒 V 型分布 ($r_0 = 0, r_{45} = 1, r_{90} = 0$), 而{001} < 100 > 主要体现为 V 型分布 ($r_0 = 1, r_{45} = 0, r_{90} = 1$)。有研究表明^[16], 热轧钢板 r — 曲线分布呈倒 V 型的主要原因就是由于热轧板中存在{001} < 110 > 织构的缘故。

3.2 {112} < 110 > 的影响

{112} < 110 > 织构造成的 r — 曲线分布为倒 V 型。Vieth 和 Whiteley^[5] 对{112} < 110 > 单晶铁板的理论研究结果表明, 其 $r_0 = 0.6, r_{45} = 2, r_{90} = 1$; Daniel 和 Jonas 采用 RC 模型^[18] 得到的分析结果为 $r_0 = 0.5, r_{45} = 3, r_{90} = 1$; 而 Lequeu 和 Jonas 采用 CMTF 模型^[19] 得出的结果为 $r_0 = 0.3 \sim 0.5, r_{45} = 2 \sim 3, r_{90} = 1$ 。可以看出, {112} < 110 > 织构对深冲钢板塑性应变比的影响特点必然是 $r < 0$ 。由于冷轧深冲钢板的塑性应变比特点一般总是 $r > 0$, 所以{112} < 110 > 织构在冷轧深冲钢板中并没有起到主导影响作用。不过, 针对冷轧深冲钢板 $r > 0$ 的特点, 不妨可以考虑通过工艺控制在成品板中保留一定量的 {112} < 110 > 织构, 以减小深冲钢板的 r 值, 这是一个需要进一步细致研究的问题。

3.3 {111} < 110 >、{111} < 112 >、{554} < 225 > 的影响

由于体心立方金属中 < 111 > 晶向的拉伸强度最高, 所以{111} 织构使得深冲钢板在冲压变形时厚向最不容易变形, 因而 \bar{r} 值很大、成型性能良好。{554} < 225 > 与{111} < 112 > 的取向非常接近, 所以其影响特点与{111} < 112 > 类似。陈楠^[17] 和 Daniel^[18] 采用变形模型进行的分析表明, {111} < 110 > 织构导致 $\alpha = 30^\circ, 90^\circ$ 方向的 r 值较大, 而{111} < 112 > 织构则导致 $\alpha = 0^\circ, 60^\circ$ 方向的 r 值较大。因此, 如果在 α 取向线上得到等强度的织构分布, 将会大大减少深冲钢板的冲压制耳。目前, {111} < 110 >、{111} < 112 > 和 {554} < 225 > 织构是深冲钢板生产中公认的理论有利织构, 而且已在工业控制中取得了明显成效。

3.4 {110} < 001 >、{110} < 110 > 的影响

Vieth 和 Whiteley^[5] 对单晶铁板的理论研究结果表明, {110} < 001 > 织构对塑性应变比的影响特点为 $r_0 = 0.3, r_{45} = 0, r_{90} = 1$ 。而 Daniel^[18] 和 Lequeu^[19] 利用变形模型进行分析的结果为 $r_0 < 1, r_{45} < 1, r_{90} = 2$ 。由于{110} < 110 > 与{110} < 001 > 在{110} 晶面内相差 90° , 所以{110} < 110 > 对塑性应变比的影响特点与{110} < 001 > 的影响特点关于 $\alpha = 45^\circ$ 对称。可看出, {110} 织构对深冲钢板塑性应变比的影响特点是 r_0 或 r_{90} 值很大, 但 r_{45} 值很小, 这会导致深冲钢板的 r 值明显偏大。表 1 为 Daniel 采用 RC 模型计算的同一体积百分量的不同织构时低碳深冲钢板的 \bar{r} 、 r 值。可看出, {110} < 001 > 织构对塑性应变比的影响力度远大于其它织构, 而且造成的 r 值特别大。

表 1 不同织构类型对低碳深冲钢板 \bar{r} 、 r 值的影响

织构类型	\bar{r}	r 值
{111} < 110 >	2.62	0.01
{111} < 112 >	2.62	0.01
{554} < 225 >	2.61	1.09
{112} < 110 >	2.07	- 2.69
{001} < 100 >	0.41	0.75
{110} < 001 >	5.04	8.95

4 深冲钢板 r 值偏大时的织构原因探讨

由上节的分析可知, < 111 > //ND 取向线上的织构(主要包括{111} < 110 >、{111} < 112 > 和 {554} < 225 > 对深冲钢板塑性应变比的影响特点是 \bar{r} 较大、 r 值很小。所以, 人们在研究深冲钢板的织构时, 往往把注意力放在 < 111 > //ND 织构的获取上, 很少注意{110} 织构对塑性应变比的影响。已有研究表明^[20], 低碳深冲钢板的退火织构有可能出现明显的{110} < 001 > 组分。由于{110} < 001 > 织构会导致深冲钢板的 r 值明显偏大, 而且对塑性应变比的影响力度又远远大于其它织构, 所以, 当深冲钢板出现 r 值偏大的现象时, 有必要关注{110} 织构的影响。

已有大量研究文献表明^[21-22], 属于 bcc 晶系的冷轧态钢带, 其{112} < 112 > 取向晶粒中的变形带是{110} < 001 > 织构的形核位置。而且, 由于{110} 织构组分的形变储能大于其它织构组分,

所以在退火过程中易于优先形核。同时,由于{110} < 001 > 与{111} < 112 > 具有有利于生长的取向关系,所以{110} < 001 > 又容易消耗{111} < 112 > 而长大。结果是不利织构{110} < 001 > 增强的同时,又削弱了有利织构{111} < 112 >。

赵骧等^[23]在对鞍钢生产的几组深冲汽车薄板的性能数据进行分析后得出: \bar{r} 值随{111}织构体积百分含量($V/V_{\{111\}}$)的增加而增大; r 值随< 112 > 取向与< 110 > 取向体积百分含量之差($V/V_{\langle 112 \rangle} - V/V_{\langle 110 \rangle}$)的增大而减小。但从理论上讲,{111} < 110 > 与{111} < 112 > 造成的 r 值均应等于零,所以不难推断,{111} < 112 > 组分增加造成 r 值减小必然与{110} < 001 > 组分的相对减弱有关。{110} < 001 > 织构通常在退火后的深冲钢板中并不明显,但由于它与{111} < 112 > 有利织构有上述特殊的伴生关系,所以{110} < 001 > 织构究竟明显到什么程度才能造成 r 值明显偏大,还是一个值得探讨的问题。

从工艺控制的角度来看,要抑制深冲钢板中{110} < 001 > 组分的不利影响,一方面可以通过优化热轧带组织和冷轧工艺来减少冷轧态钢带中的不均匀形变带,以减少{110} < 001 > 组分的形核位置;另一方面,就是要通过退火工艺的控制来达到抑制{110} < 001 >、促进{111} < 112 > 的目的。这也是一个需要进一步详细探讨的问题。

5 结 论

(1)不同织构类型对深冲钢板塑性应变比的影响特点各不相同,{001}织构是应严格避免的织构类型;{111}织构和{554} < 225 > 织构是理想的有利织构;{112} < 110 > 对于减小冷轧深冲钢板的 r 值有利;而{110}织构会导致深冲钢板的 r 值明显偏大,而且它对深冲钢板塑性应变比的影响力度远大于其它织构类型。

(2){110} < 001 > 织构组分在退火时的形核和长大过程中易于与{111} < 112 > 织构形成竞争,当深冲钢板出现 r 值偏大的现象时,有必要关注{110} < 001 > 与{111} < 112 > 的伴生且相克的特点,并通过热轧、冷轧和退火工艺的控制来达到抑制{110} < 001 >、促进{111} < 112 > 的目的。

参 考 文 献

1 D F Stein, J R Low and A U Seybolt. The Mechanical Properties of

- Iron Single Crystals Containing Less Than 5×10^{-3} ppm Carbon. Acta. Metall., 1983, (11) :1 253 ~ 1 262
- 2 R W K Honeycombe. 金属塑性变形. 重庆大学出版社, 1988
- 3 Sanak Mishra and C Darmann. Role and control of texture in deep - drawing steels. International Metals Reviews, 1982, 27 (6) :307 ~ 320
- 4 毛卫民,张新明著. 晶体材料织构定量分析. 北京:冶金工业出版社, 1993
- 5 Vieth R W and Whiteley R L. Influence of Crystallographic Orientation on Plastic Anisotropy in Deep Drawing Sheet Steel. Paper presented at the IDDRG Meeting. Institute of Sheet Metal Engineering, London, 1964, cf Ref. 12
- 6 毛卫民,余永宁,曾燕屏. 深冲钢板在线检测技术的探讨. 北京科技大学学报, 1996, 18(2) :136 ~ 140, 149
- 7 P Van Hutte. Mater. Sci. Eng., 1982, (55) :69
- 8 U F Kocks, Hchandra. Slip Geometry in Partially Constrained Deformation. Acta. Metall., 1982, (30) :695 ~ 709
- 9 Daniel D, Savoie J, Jonas J J. Textures Induced by Tension and Deep Drawing in low Carbon and Extra Low Carbon Steel Sheets. Acta Metall., 1993, 41 (6) :1 907 ~ 1 920
- 10 G B Sarma and P R Dawson. Effects of Interactions among Crystals on the Inhomogeneous Deformations of Polycrystals. Acta Metall., 1996, 44 (5) :1 937 ~ 1 953
- 11 D Raabe, F Roters, G Gottstein. Simulation of the Statics of 2D and 3D Dislocation Networks. Compu. Mater. Sci., 1996, (5) :203 ~ 209
- 12 C S Lee, B J Duggan. Deformation Banding and Copper Type Rolling Textures. Acta. Metall., 1993, 41 (9) :2 691 ~ 2 699
- 13 N Hansen and D J Jensen. Flow Stress Anisotropy Caused by Geometrically Necessary Boundaries. Acta. Metall., 1992, 40 (12) :3 265 ~ 3 275
- 14 Wolfgang Bleck. Textures in Steel Sheets. Steel Research, 1991, 62 (12) :580 ~ 586
- 15 Martin Holscher, Dierk Raabe and Kurt Lucke. Rolling and Recrystallization Textures of bcc Steels. Steel Research, 1991, 62 (12) :567 ~ 575
- 16 赵鸿金,陈荣清. 终轧及卷取温度对热轧 SP325 钢板织构与深冲性能的影响. 东北大学学报, 1994, 15 (4) :374 ~ 378
- 17 陈楠. 一些先进材料的性能与织构的关系, 北京科技大学博士学位论文, 1999
- 18 D Daniel and J J Jonas. Measurement and Prediction of Plastic Anisotropy in Deep - Drawing Steels. Metallurgical Transactions, 1990, 21A (2) :331 ~ 343
- 19 PH Lequeu and J J Jonas. Modeling of the Plastic Anisotropy of Textured Sheet. Metallurgical Transactions, 1988, 19A (1) :105 ~ 120
- 20 Martin Holscher, Dierk Raabe and Kurt Lucke. Rolling and Recrystallization Textures of bcc Steels. Steel Research, 1991, 62 (12) :567 ~ 575
- 21 L Seidel and K Lucke. Texture in Silicon Steel. Texture and Microstructure, 1991 :431
- 22 Yasunobu Nagataki and Yoshihiro Hsoya. Origin of the Recrystallization Texture Formation in an Interstitial Free Steel. ISIJ International, 1996, 36 (4) :451 ~ 460
- 23 赵骧. 深冲汽车薄钢板织构的表述方法. 金属学报, 1989, 25B (6) :433 ~ 435

(收稿日期:2000 - 05 - 11)