

B1500HS 材料热成形后冷冲切试验

王晨磊^{1,2}, 徐伟力^{1,2}, 罗爱辉^{1,2}

(1.宝山钢铁股份有限公司中央研究院, 上海 201900;
2.汽车用钢开发与应用技术国家重点实验室(宝钢), 上海 201900)

摘要: **目的** 研究热冲压零件冷冲切刀块易磨损寿命低的问题。**方法** 设计开发一套多功能冷冲切试验模具, 对热成形后 B1500HS 材料进行连续冲切试验, 并对 3 组模具间隙、4 种典型模具钢材质对应的冲切试样进行断面质量检测及统计, 以此分析热冲压高强度钢冷冲切合理模具间隙和典型冷冲切模具钢的冷冲切特性。**结果** 8%~10%料厚模具间隙在冲切初期毛刺较小, 且在连续冲切过程中毛刺高度比较稳定, 为合理的模具间隙范围; 4 种典型模具钢中, ASP60 冲头耐磨性性能最优, SKD11 冲头耐磨损性最差, SKH-9 和 CALDIE 介于两则之间。**结论** 热冲压钢的冷冲切稳定性及刀块寿命相对常规高强度钢还存在较大差距, 针对其冲切特性有必要开发更高寿命、高性价比的模具钢及热处理方法, 以提高刀块寿命和生产效率, 降低零件制造成本。

关键词: 热成形钢; 冷冲切; 断面质量; 模具间隙; 模具寿命

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2017.06.014

中图分类号: TG306 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-6457(2017)06-0068-05

Cold Cutting of B1500HS Material after Hot Forming

WANG Chen-lei^{1,2}, XU Wei-li^{1,2}, LUO Ai-hui^{1,2}

(1. Central Research Institute, Baoshan Iron & Steel Co., Ltd., Shanghai 201900, China;
2. State Key Laboratory of Development and Application Technology of Automotive Steels (Baosteel), Shanghai 201900, China)

ABSTRACT: The paper aims to solve the quick abrasion and short life of the cold cutting block for drop stamping parts. A multifunctional cold cutting die was designed and developed to carry out continuous cutting experiment of B1500HS material after hot forming. The section quality of 3 sets of die clearance and 4 kinds of typical die steel material corresponding to the cutting specimens were tested and analyzed to analyze the reasonable die clearance in drop stamping of high-strength steel and the characteristics of typical cold cutting of die steel. For die clearance of 8%~10% blank thickness, the burr was smaller in the initial cutting and the burr height was stable in continuous cutting, which was the reasonable clearance range of cutting die. In 4 kinds of typical die steels, the wear resistance of ASP60 was the best; and that of the SKD11 was the worst. That of SKH-9 and CALDIE was moderate. The cold cutting stability of hot stamping steel and the life of the cutting tool are still quite different from those of conventional high-strength steel, so it is necessary to develop die steel and heat treatment method with longer life and higher cost-performance to improve the life and productivity of the cutting tool and reduce the cost of parts manufacturing.

KEY WORDS: hot forming steel; cold cutting; sectional quality; die clearance; die life

热冲压零件通常采用激光切割工艺实现余料切除, 但由于其单件生产周期长、相关设备维护费用高,

导致制造成本高^[1]。近几年随着热冲压行业成本压力的增大, 采用模具冷冲切工艺替代成为热成形技术发

收稿日期: 2017-09-20

作者简介: 王晨磊(1986—), 男, 助理研究员, 主要研究方向为先进热冲压技术。

展的趋势之一,然而热成形钢相对常规高强钢在强度方面有很大提升(屈服强度 >1000 MPa),在批量冷冲切过程中,由于冲击力大,冲切刀块易发生崩刃、磨损等问题,模具维修频次高,冲切断面质量难于保证,对冷冲切工艺模具结构、模具钢材料及热处理技术提出了很大挑战。

针对热冲压钢板冷冲切技术难题,杨坤等^[1-2]采用一套多功能修边实验模具系统,研究了修边速度、修边间隙、修边角度和修边刀刃锐度等工艺参数,对热成形后制件的修边质量和修边力的影响。SO H 等^[3]结合有限元模拟技术,研究了工艺参数(角度、间隙和速度)对 22MnB5 硼钢板热冲压后落料断面轮廓的影响。KATRIN Nothhaft 等^[4]采用一套特制模具,对 22MnB5 淬后剪切工艺进行了研究,得到了剪切角度和间隙对模具应力和剪切力的影响规律,并分析了剪切力随位移变化的 5 个阶段的变形机理。CHOI H S^[5]等通过在热冲压成形的同时,对修边线处的板料预冲裁,然后再进行冷冲裁达到增加光亮带降低冲裁力的目的。SO H 通过在热冲压成形的同时对修边线处的板料预冲裁,然后再进行冷冲裁达到增加光亮带降低冲裁力的目的^[6]。

文中以宝钢热冲压超高强钢 B1500HS 为对象,设计开发了一套多功能冷冲切试验模具,首先通过热冲压平板试验获得热成形后平板试样,之后开展了不同模具间隙、模具钢材质的连续冷冲切试验,并对冲切后试样的断面质量及刀块磨损进行检测与统计,以此确定淬火后热冲压钢板的合理冷冲切模具间隙范围,获得 4 种典型冷冲切模具钢材料的冷冲切特性,为热冲压超高钢冲切模具钢材料的选择提供参考。

1 试验方案

1.1 B1500HS 热成形后平板试样制作

以宝钢热冲压材料 B1500HS 为对象,采用自制的平板热冲压模具,按照常规热冲压工艺制作冷冲切试验用热成形钢板试样,见图 1。

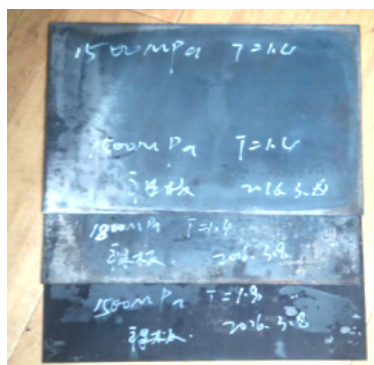


图1 B1500HS 热成形后钢板试样

Fig.1 B1500HS hot-Formed steel plate specimens

在电子万能试验机上分别对原始板料和热成形后板料试样进行单向拉伸试验,原始板料的抗拉强度为 530 MPa,伸长率为 21%;热成形后板料的抗拉强度为 1510 MPa,伸长率为 6%。经热成形工艺加工后,材料的抗拉强度得到了极大提高。

1.2 不同模具间隙研究试验

开展不同冲裁孔径类型及模具间隙的冷冲切试验,其冲孔类型包括圆形孔、矩形孔及六边形孔,模具间隙分别为 3%~5%, 8%~10%, 13%~15%的料厚。

根据试验方案开发包含 3 种冲裁孔径类型(圆形: $\Phi 12$ mm; 矩形: 20 mm $\times$ 30 mm, R1 mm; 六边形: 边长 3 mm, R0.5 mm)、3 种冲裁间隙(3%~5%料厚、8%~10%料厚和 13%~15%料厚)的冲孔试验见图 2,冲头材质选用 Cr12MoV,热处理硬度为 58HRC~60HRC。



a 多功能冷冲切试验模具



b 冷冲切试样

图2 热冲压钢冷冲切模具间隙研究试验

Fig.2 Study on clearance of cold cutting die for hot stamping steel

1.3 典型模具钢冷冲切特性研究试验

热冲压钢钢板冷冲切模具长期在高载荷、高冲击条件下服役,冲头折断、崩刃及刀块磨损相对传统高强钢冲切模具更为严重。为确保生产稳定性,提高模具寿命,选择合适的冷冲切模具钢尤为重要,因此有必要研究不同模具钢材质在冲切热冲压钢板时的抗磨损特性。

本次研究采用行业内常用的冷作模具钢材料(SKD11, SKH-9, ASP60, CALDIE)进行冲头和凹模套制作,冲切孔径为 12 mm,模具间隙按照 0.08~0.1 mm 加工。之后以 B1500HS-1.4 mm 热冲压钢板为对象,在不同模具钢材料、热处理工艺下的冲孔试验模

具上进行连续冲孔试验,以冲头、凹模套磨损程度(要求修模次数 ≤ 5 ,以刃口崩断或冲裁孔径尺寸小于设计下公差为镶块失效判据)和毛刺高度(要求毛刺高度 $< 10\%$ 料厚)评价镶块寿命,试验方案见表1。

表1 典型模具钢冷冲切特性研究试验方案

Tab.1 Experimental scheme of study on cold cutting behavior of typical die steel

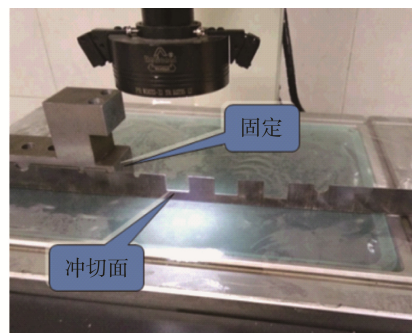
试验材料	料厚/mm	冲切直径/mm	模具材质	硬度(HRC)
B500HS	1.4	12	SKH-9 (基质高速钢)	60~64
B500HS	1.4	12	SKD11 (基质高速钢)	58~60
B500HS	1.4	12	CALDIE (基质高速钢)	60~62
B500HS	1.4	12	ASP60 (粉末高速钢)	65~67

2 结果及分析

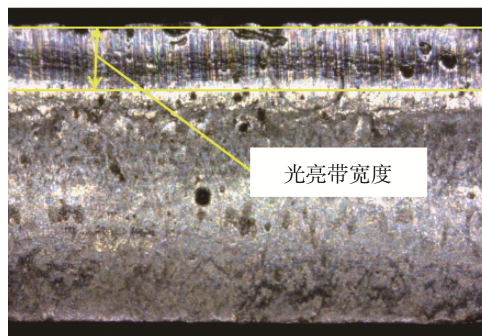
2.1 冲切断面质量及检测

冲裁件断面一般分成4个区域,即圆角带、光亮带、断裂带和毛刺。其中毛刺高度是判断模具是否需要刃磨或予以更换的主要依据,受冲裁间隙、模具刃口的利钝及润滑等因素的影响。模具总寿命及后续去毛刺费用的结合点是确定模具刃磨时毛刺高度的依据。光亮带是塑性剪切变形质量最好的区域,高质量的冲裁件断面光亮带较宽,约占整个断面的 $1/3$ 以上^[13-15]。

目前,检测冲裁毛刺高度和光亮带宽度主要是根据产品的精度要求及材质,使用光学投影仪、影像测量仪、千分尺等进行检测。本次研究使用光学投影仪对冲切试样断面质量进行检测,见图3,检测设备为VMS-3020G,放大倍率为20倍。



a 断面质量检测



b 断面质量

图3 冲切试样断面质量检测
Fig.3 Quality inspection of cutting section

2.2 模具间隙对断面质量的影响

对1500 MPa-1.4 mm料厚裸板热冲压钢板进行连续冲切1000次,每间隔100次测量试样断面毛刺高度和光亮带宽度,获得连续冲裁情况下毛刺高度和光亮带宽度变化见图4。

对比3种类型孔径连续冲裁情况下的毛刺高度和光亮带宽度变化,可以看出在1000次冲裁过程中,8%~10%料厚间隙毛刺高度相对比较稳定,冲裁结束

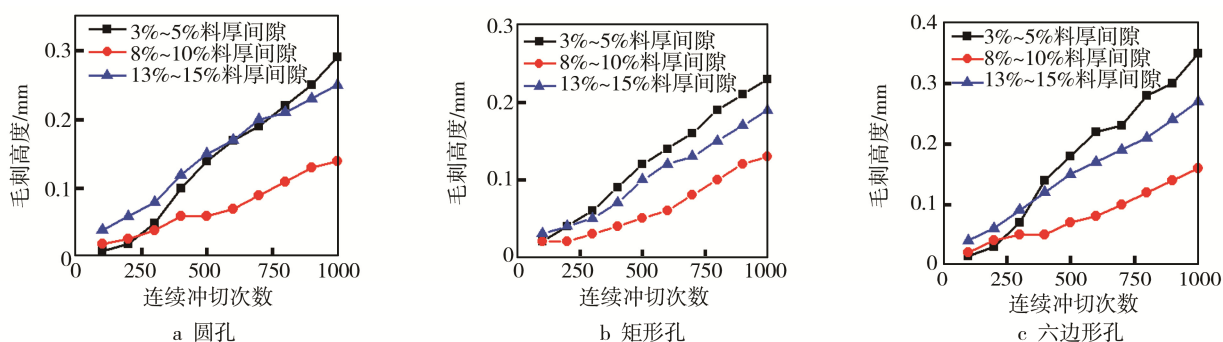


图4 不同模具间隙连续冲切毛刺变化
Fig.4 Variation of continuous cutting burr with different die clearances

毛刺高度满足技术要求,且光亮带宽度介于0.2~0.4 mm之间,处于合理范围;另外,对比3种间隙冲头和凹模套的磨损情况发现,3%~5%料厚间隙磨损较为严重,8%~10%和13%~15%料厚间隙磨损较小,因此判定8%~10%料厚是1500 MPa-1.4 mm料厚裸

板热冲压钢板的合理冲裁间隙。

2.3 典型模具钢冷冲切特性

采用4种典型模具钢材质制作的冲头和凹模套对1500 MPa-1.4 mm料厚裸板热冲压钢板进行连续

冲切,记录连续冲裁情况下每200模冲孔试样的光亮带宽度和毛刺高度。典型模具钢刀块连续冲切毛刺及光亮带变化分别见图5和图6。

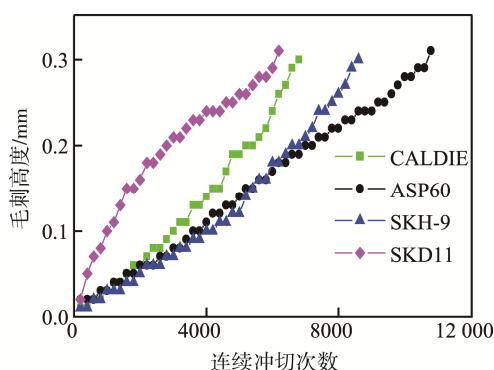


图5 典型模具钢刀块连续冲切毛刺变化

Fig.5 Variation of continuous cutting burr of typical die steel

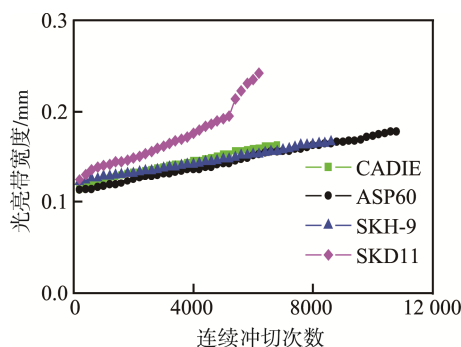


图6 典型模具钢刀块连续冲切光亮带变化

Fig.6 Variation of the continuous cutting bright band of typical die steel

对比可知,4种模具钢材质中SKD11最便宜,耐磨损性最差,使用寿命最低;ASP60价格最贵,耐磨损性最好,使用寿命最高。综合考虑模具钢的使用成本和寿命,CALDIE模具钢的使用性价比最高,其次是SKH-9和SKD11,ASP60最低,因此针对冲切条件较好位置的刀块建议采用CALDIE模具钢,针对冲切条件比较苛刻位置(冲切和立切角度比较大的位置),建议采用SKH-9模具钢制作镶块。

3 结论

针对热冲压钢板冷冲切核心技术问题,重点探讨了冲切模具间隙对冲切断面质量及刀块磨损的影响,并对4种典型模具钢的冷冲切寿命进行了对比分析。

8%~10%料厚模具间隙在冲切初期毛刺较小,且在连续冲切过程中毛刺高度比较稳定,刀块磨损也比较小,为B1500HS热冲压钢板冷冲切合理模具间隙范围。

4种典型模具钢中ASP60冲头耐磨性性能最优,SKD11冲头耐磨损性最差,SKH-9和CALDIE介于两者之间,但热冲压钢在冷冲切稳定性及模具寿命方

面与常规高强钢还有比较大差距,需进一步研发更高寿命、高性价比的模具钢及热处理方法,以提高冲切刀口寿命和生产效率,降低热冲压零件制造成本。

参考文献:

- [1] 杨坤,韩先洪.热冲压超高强钢模具修边实验研究[J].塑性工程学报,2015,22(4):99—104.
YANG Kun, HAN Xian-hong. Experimental Research on Mechanical Trimming Process of Ultra High Strength Steel[J]. Journal of Plasticity Engineering, 2015, 22(4): 99—104.
- [2] HAN Xian-hong, YANG Kun. Numerical and Experimental Investigations on Mechanical Trimming Process for Hot Stamped Ultra-high Strength Parts[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2016, 234: 158—168.
- [3] SO H, HOFFMANN H. Design of Hot Stamping Tools and Blanking Strategies of Ultra High Strength Steels[C]. In EKC2008 Proceedings of the EU-Korea Conference on Science and Technology, 2008: 315—325.
- [4] KATRIN Nothhaft, JOUNGSIK Suh. Shear Cutting of Press Hardened Steel: Influence of Punch Chamfer on Process Forces, Tool Stresses and Sheared Edge Qualities[J]. Production Process, 2012(6): 413—420.
- [5] CHOI H S, KIM B M, KIM D H, et al. Application of Mechanical Trimming to Hot Stamped 22MnB5 Parts for Energy Saving[J]. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 2014, 15(6): 1087—1093.
- [6] SO H, FABMANN D, HOFFMANN H, et al. An Investigation of the Blanking Process of the Quenchable Boron Alloyed Steel 22MnB5 before and after Hot Stamping Process[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2012, 212(2): 437—449.
- [7] 秦小琼,盛尚雄.冲模间隙对产品质量及模具寿命的影响[J].金属成形工艺,2004,22(3):67—69.
QIN Xiao-qiong, SHENG Shang-xiong. The Influence of Die Gap to Product Quality and Mould Life[J]. Metal Forming Technology, 2004, 22(3): 67—69.
- [8] 林朝平.冲裁模材料对模具寿命影响因素的分析[J].煤矿机械,2007,28(12):122—124.
LIN Chao-ping. Analysis on Affection Factors of Punch Die Life for Materials[J]. Coal Mine Machinery, 2007, 28(12): 122—124.
- [9] MACKENSEN A, GOLLE M. Experimental Investigation of the Cutting Force Reduction during the Blanking Operation of AHSS Sheet Materials[J]. CIRP Annals-

- Manufacturing Technology, 2010, 59: 283—286.
- [10] 赵中华, 张猛. 冲裁速度对冲压件断面质量的影响[J]. 塑性工程学报, 2010, 17(4): 45—49.
ZHAO Zhong-hua, ZHANG Meng. Study of Influence of Blanking Velocity on Section Quality of Stamping Work Piece[J]. Journal of Plasticity Engineering, 2010, 17(4): 45—49.
- [11] 刘天聪. 大间隙冲裁对模具寿命的影响[J]. 模具工业, 2001(1): 15—17.
LIU Tian-cong. The Influence of Die Gap to Cutting Tool Life[J]. Die Industry, 2001(1): 15—17.
- [12] LARA A, PICAS I. Effect of the Cutting Process on the Fatigue Behaviour of Press Hardened and High Strength Dual Phase Steels[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2013, 213: 1908—1919.
- [13] 李其钊, 潘燕. 影响冲裁零件质量的原因分析[J]. 金属铸锻焊技术, 2011, 40(7): 88—89.
LI Qi-fan, PAN Yan. Reason Analysis on Influencing Quality of Punching Parts[J]. Casting Forging Welding, 2011, 40(7): 88—89.
- [14] 朱双霞. 提高冲裁模具使用寿命的途径[J]. 机械制造与研究, 2008, 37(2): 87—88.
ZHU Shuang-xia. The Measures for Increasing the Working Life of the Cold Punching Die[J]. Machine Building Automation, 2008, 37(2): 87—88.
- [15] 窦岩平, 吴凤林. 冲模寿命影响因素的分析研究[J]. 机械管理开发, 2007(1): 30—32.
DOU Yan-ping, WU Feng-lin. Analysis and Research on Influencing Factors of Die Life[J]. Mechanical Management and Development, 2007(1): 30—32.