

Basic Experiment on Cold Cutting Edge Punching Technology for Hot Stamping Parts of Boron Steel

Xueyan Wu, Zhidan Xu, Chaozhong Wei

SAIC GM Wuling Automobile Co., Ltd., Liuzhou Guangxi

Email: xueyan.wu@sgmw.com.cn, zhidan.xu@sgmw.com.cn, chaozhong.wei@sgmw.com.cn

Received: Jun. 21st, 2018; accepted: Jul. 16th, 2018; published: Jul. 23rd, 2018

Abstract

In this paper, BR1500HS hot forming steel is used as material, and the mechanical properties of the steel plate under different quenching conditions are carried out according to the cold cutting edge punching technology for hot stamping parts of the material. The martensite is the main content under the water quenching and oil quenching. The hardness of the material exceeds HV 400 at the highest. In order to obtain the fracture criterion of the material required in the simulation, the fracture test of boron steel under different quenching conditions was performed. The fracture parameter of boron steel at different stress ratios and triaxiality was obtained through different size single pull samples.

Keywords

BR1500HS Hot Formed Steel, Quenching Method, Fracture Criterion, Hardness

针对硼钢热冲压零件冷切边冲孔技术的基础实验

吴雪燕, 徐志丹, 韦超忠

上汽通用五菱汽车股份有限公司, 广西 柳州

Email: xueyan.wu@sgmw.com.cn, zhidan.xu@sgmw.com.cn, chaozhong.wei@sgmw.com.cn

收稿日期: 2018年6月21日; 录用日期: 2018年7月16日; 发布日期: 2018年7月23日

摘要

本文以BR1500HS热成形钢为材料, 针对该种材料热冲压零件冷切边冲孔技术, 首先开展了不同淬火条

件下的钢板力学性能实验。研究表明,水淬与油淬情况下马氏体含量均较高,材料硬度最高可达HV 400以上;其次,为获取后续该工艺仿真研究所需的材料断裂准则,本文进行了不同淬火条件下硼钢断裂实验,通过不同尺寸单拉试样得到了硼钢在不同应力比和三轴度下的断裂参数。

关键词

BR1500HS热成形钢, 淬火方式, 断裂准则, 硬度

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

高强钢板由于比强度高、综合力学性能好,在同等安全系数下,可以有效的减轻汽车重量而在汽车行业中得到广泛应用。然而,与普通钢板相比,高强钢板件室温成形存在容易开裂、起皱、回弹大等缺陷而极大限制了其在汽车行业中的发展。热冲压技术是将加热至奥氏体后的钢板进行成形并保压、淬火的一项板材成形技术,可以实现复杂型面高强钢板的成形[1]。

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[2]。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),在冷冲裁过程中,由于冲击力大,易导致冲切刀块损坏等问题,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来说是巨大的挑战。

针对热冲压钢板冷冲切技术难题,杨坤等[2][3]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[4]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, N.等[5]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. [6]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.等为硬化硼钢 22MnB5 设计了一套能够保证产品质量并提高刀具寿命的切边策略,预测了切边形貌,并研究了切边冲程数对模具磨损的影响[7]。

本文针对热冲压零件冷切边冲孔技术的开发与应用,对热冲压硼钢进行了 5 种典型条件下的淬火,开展了硼钢性能实验,表征不同淬火条件下材料的力学性能并探究淬火条件对材料性能的影响,为热冲压零件冷冲切模具材料的选择提供参考;此外,开展了不同淬火条件下硼钢断裂实验,建立起硼钢的断裂模型,提高热冲压零件冷切边冲孔过程的模拟仿真精度。

2. 实验

2.1. 材料

试验材料选用的是 B1500HS 热冲压用硼钢板,厚度 2 mm,化学成分如表 1 所示。

2.2. 淬火方式选择和断裂实验试样设计

本文针对热冲压零件冷切边冲孔技术的开发,开展了热冲压用硼钢板冲压后,材料的性能测试实验,

Table 1. Chemical composition of B1500HS steel**表 1.** BR1500HS 钢的典型化学成分(%，质量分数) [2]

C	Si	Mn	P	S	Cr	B	Al
0.2	0.4	1.23	0.02	0.015	0.25	0.002	0.04

表征在不同淬火条件下的力学性能，为冷切边冲孔模具材料的选择提供理论支持；此外，为了提高热冲压零件冷切边冲孔过程的模拟仿真精度，通过不同淬火条件下的断裂实验，建立起热冲压用硼钢的断裂模型。

根据硼钢 CCT 和 TTT 曲线，设计了 5 种淬火方式，分别为水淬、油淬及盐浴后配不同水淬时间，具体温度和时间参数如表 2 所示。

同时，为了开展后续硼钢热冲压钢板冷切边冲孔技术的仿真研究，本文针对所需的材料断裂模型，从不同淬火方式下热冲压成形件上截取 5 种单拉试样(如图 1 所示)：边缘缺口试样，中孔试样，单拉试样和纯剪试样，得到不同的应力比及三轴度，研究硼钢在不同应力比及三轴度下的断裂性能。

3. 结果与讨论

3.1. 不同淬火条件下的硼钢力学性能实验

从金相组织照片(如图 2 所示)可以看出，水淬与油淬情况下马氏体含量较高，基本上占据了组织的绝大部分，其中油淬条件下含有少量的残余奥氏体；盐浴 10S->水淬情况下开始形成贝氏体组织，盐浴 20S->水淬情况下贝氏体组织含量明显增加，而到了盐浴 30S->水淬情况下几乎全部都是贝氏体。

不同淬火方式下材料的硬度测试结果如表 3 所示，从表中可以看出，油淬情况下的硬度基本都在 HV 400 以上，根据马氏体的硬度范围为 > HV 400，所以可以证明奥氏体也已完全转化为马氏体；盐浴 10 秒到水淬情况下处于 HV 200~400 范围内的贝氏体组织，所以在此淬火条件下开始析出贝氏体；盐浴 20 秒和盐浴 30 秒情况下的硬度差别不大。均处于 HV 200~400 内的贝氏体组织硬度范围，说明此情况下有稳定的贝氏体组织。

3.2. 不同淬火条件下的硼钢断裂实验

对不同淬火方式得到的试样进行拉伸试验，获取表征其力学性能的力-位移曲线，如图 3 所示。从图中可以看出，水淬和油淬由于完全转化为马氏体，所以力学性能最好，同时由于马氏体的延展性较差，所以此两种淬火方式延伸率最小，而三种盐浴方式随着盐浴时间的增加，力学性能降低，同时延伸率增加，这是由于随着盐浴时间的增加，贝氏体析出的数量增加的原因。

基于数字相关(DIC)技术，可以将破裂位置任意时刻的主次应变提取，绘制与主次应变的坐标系下，形成了应变路径，即材料的变形加载路径。5 种试样在加载过程中的应变路径如图 4 所示。从实验结果可以看出，本文设计的 5 种拉伸试样在相同的试验条件下，其加载路径均较为接近线性。其中，不同淬火条件下(除了水冷)，中孔试样的应变路径均出现了不同程度的波动，其原因是圆孔的存在导致圆孔周围应力状态复杂，应力三轴度存在一定的波动，所以应变路径表现出了不稳定线性。

通过计算，获得了硼钢断裂实验后材料的应力比和应力三轴度，具体数值如表 4 所示。

通过 DIC 技术可以准确的计算出试样在断裂时刻断裂点的主次应变，其等效断裂应变根据米塞斯屈服准则计算公式得到，不同淬火条件下不同拉伸试样的等效应变数值如表 5 所示。通过表 5 可以看出，在高应力三轴度下(0.4~0.57)，油冷相比水冷塑性更好，但在低应力三轴度水平下(0~0.4)下稍差；盐浴水冷随着时间的上升，塑性呈现先下降后上升的趋势，30 s 时在低应力三轴度水平下基本与水冷和油冷持平，而在高应力三轴度水平下偏低。

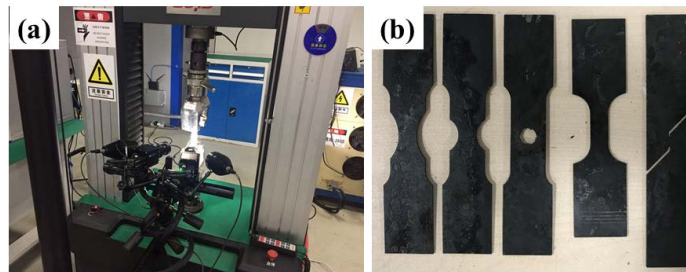


Figure 1. Tensile tests: (a) Materials testing machine and DIC equipment; (b) Tensile samples

图 1. 硼钢断裂实验：(a) 材料拉伸机及 DIC 设备；(b) 拉伸试样

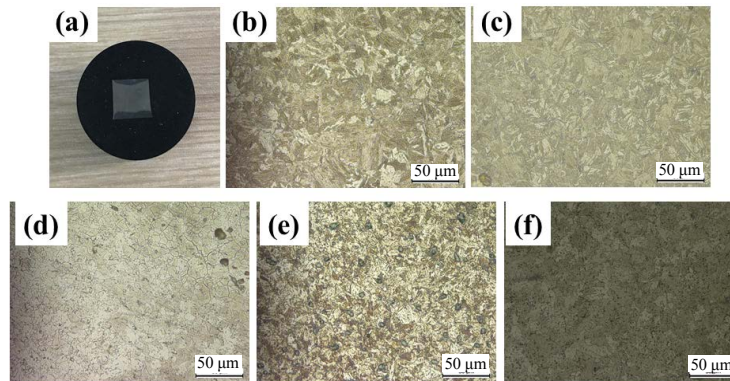


Figure 2. Metallographic: (a) Metallographic specimen; (b) Water quenching; (c) Oil quenching; (d) Salt 10S; (e) Salt 20S; (f) Salt 30S

图 2. 金相组织照片：(a) 金相试样；(b) 水淬；(c) 油淬；(d) 500℃盐浴 10s->水淬；(e) 500℃盐浴 20s->水淬；(f) 500℃盐浴 30s->水淬

Table 2. Quenching selections

表 2. 试验淬火方式选择

	1	2	3	4	5
淬火方式	水淬	油淬	500℃盐浴10s->水淬火	500℃盐浴20s->水淬火	500℃盐浴30s->水淬火

Table 3. Hardness under various quenching conditions

表 3. 不同淬火方式下硬度值

淬火方式	水淬	油淬	500℃盐浴10s->水淬火	500℃盐浴20s->水淬火	500℃盐浴30s->水淬火
硬度(均值)	520.46	450.96	221.76	246.21	228.60

Table 4. Material stress ratio and stress triaxiality

表 4. 应力比和应力三轴度

试样名称	应变比 α	应力比 β	应力三轴度 η
纯剪试样	-0.982	-0.947	0.009
单拉试样	-0.499	0.001	0.334
中孔	-0.456	0.046	0.357
边缘缺口试样-r20	-0.333	0.2	0.436
边缘缺口试样-r20	-0.224	0.311	0.556

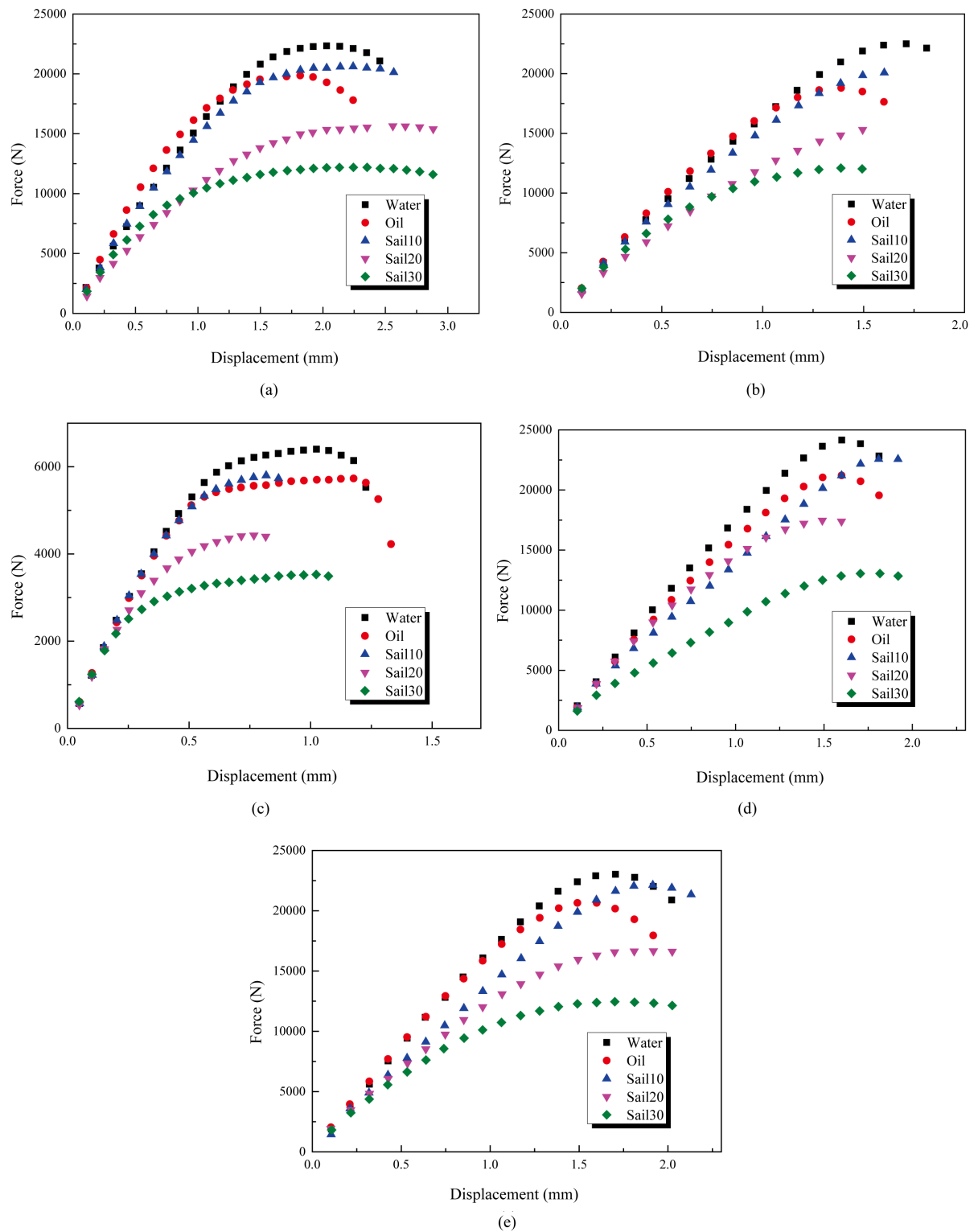


Figure 3. Mechanical properties of different tensile specimens under different quenching conditions: (a) Tensile specimen; (b) Flat specimen with a center hole; (c) Pure shear specimen; (d) Flat specimen with R10 notch; (e) Flat specimen with R20 notch

图 3. 不同拉伸试样在不同淬火条件下的力学性能表现: (a) 单拉试样; (b) 中孔试样; (c) 纯剪试样; (d) 边缘切口试样-r10; (e) 边缘切口试样-r20

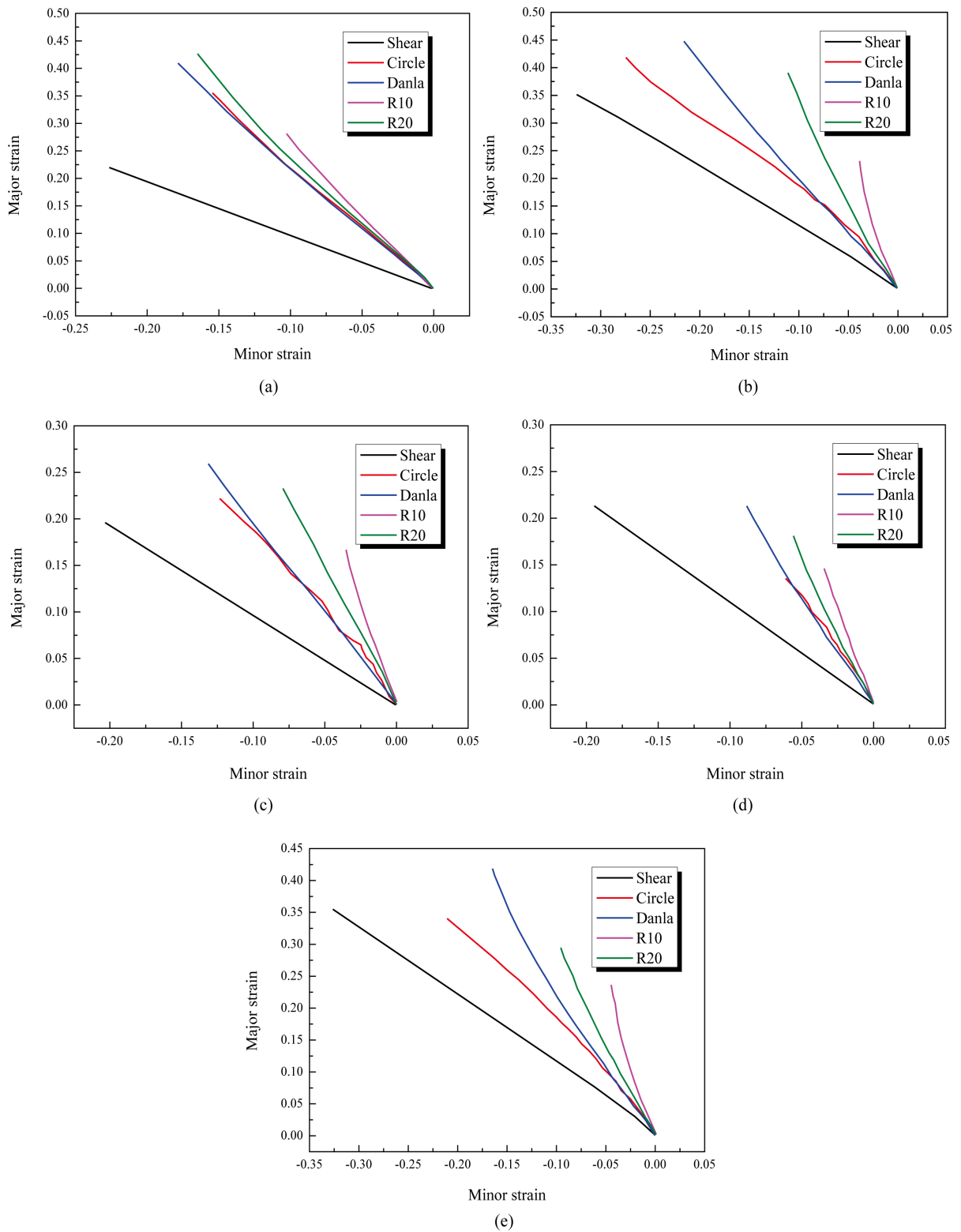


Figure 4. Different tensile specimen loading path under different quenching conditions: (a) Water quenching; (b) Oil quenching; (c) Salt 10S; (d) Salt 20S; (e) Salt 30S

图 4. 不同拉伸试样在不同淬火条件下的加载路径: (a) 水淬; (b) 油淬; (c) 500°C盐浴 10s- >水淬; (d) 500°C盐浴 20s- >水淬; (e) 500°C盐浴 30s- >水淬

Table 5. Equivalent strains of different tensile specimens under different quenching conditions
表 5. 不同淬火条件下不同拉伸试样的等效应变

试样名称	水冷	油冷	500℃盐浴 10s-水冷	500℃盐浴 20s-水冷	500℃盐浴 30s-水冷
纯剪试样	0.26	0.39	0.23	0.23	0.39
单拉试样	0.35	0.39	0.23	0.18	0.35
中孔	0.30	0.40	0.20	0.12	0.32
边缘缺口试样-r20	0.35	0.30	0.19	0.14	0.23
边缘缺口试样-r20	0.23	0.17	0.12	0.11	0.17

4. 结论

1) 本文进行了不同淬火条件下的钢板力学性能实验, 结果表明水淬与油淬情况下钢板中马氏体含量占了绝大部分, 材料硬度最高超过 HV 400, 说明硼钢的淬火性能较好;

2) 在不同淬火条件下硼钢断裂实验, 通过不同尺寸单拉试样得到了硼钢在不同应力比和三轴度下的断裂参数, 为后续仿真工作提供了所需的材料断裂准则;

3) 获取的应力三轴度和等效应变的关系表明在高应力三轴度下(0.4~0.57), 油冷相比水冷塑性更好, 但在低应力三轴度水平下(0~0.4)下稍差; 盐浴水冷随着时间的上升, 塑性呈现先下降后上升的趋势, 30 s 时在低应力三轴度水平下基本与水冷和油冷持平, 而在高应力三轴度水平下偏低。

参考文献

- [1] Merklein, M., Lechler, J. and Stoehr, T. (2008) Characterization of Tribological and Thermal Properties of Metallic Coating for Hot Stamping Boron-Manganese Steels. *Proceedings of the 7th International Conference Coatings in Manufacturing Engineering*, Chalkidiki, Greece, 1-3 October 2008, 219-228
- [2] 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.
- [3] Han, X.-H. and Yang, K. (2016) Numerical and Experimental Investigations on Mechanical Trimming Process for Hot Stamped Ultra-High Strength Parts. *Journal of Materials Processing Technology*, **234**, 158-168. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.03.025>
- [4] So, H. and Hoffmann, H. (2008) Design of Hot Stamping Tools and Blanking Strategies of Ultra High Strength Steels. In: Yoo, S.D., Ed., *EKC2008 Proceedings of the EU-Korea Conference on Science and Technology*, Springer Proceedings in Physics, vol 124, Springer, Berlin, Heidelberg, 315-325. https://doi.org/10.1007/978-3-540-85190-5_33
- [5] Katrin, N. and Joungsik, S. (2012) Shear Cutting of Press Hardened Steel: Influence of Punch Chamfer on Process Forces, Tool Stresses and Sheared Edge Qualities. *Production Process*, No. 6, 413-420.
- [6] Choi, H.S., Kim, B.M., Kim, D.H., et al. (2014) Application of Mechanical Trimming to Hot Stamped 22MnB5 Parts for Energy Saving. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, **15**, 1087-1093. <https://doi.org/10.1007/s12541-014-0441-7>
- [7] So, H., Fabmann, D., Hoffmann, H., et al. (2012) An Investigation of the Blanking Process of the Quenchable Boron Alloyed Steel 22MnB5 before and after Hot Stamping Process. *Journal of Materials Processing Technology*, **212**, 437-449. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2011.10.006>