



节能与新能源汽车技术路线图2.0

Technology Roadmap for Energy Saving and New Energy Vehicles 2.0

2022年路线图评估标志性进展技术 ——首发热成形钢制超轻商用车车轮

李顺平

浙江金固股份有限公司
中信金属股份有限公司

2022年12月

一. 背景和意义

二. 技术成果及创新性

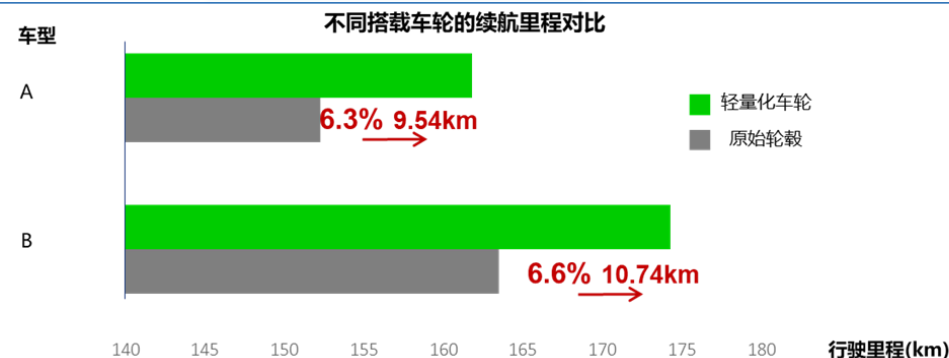
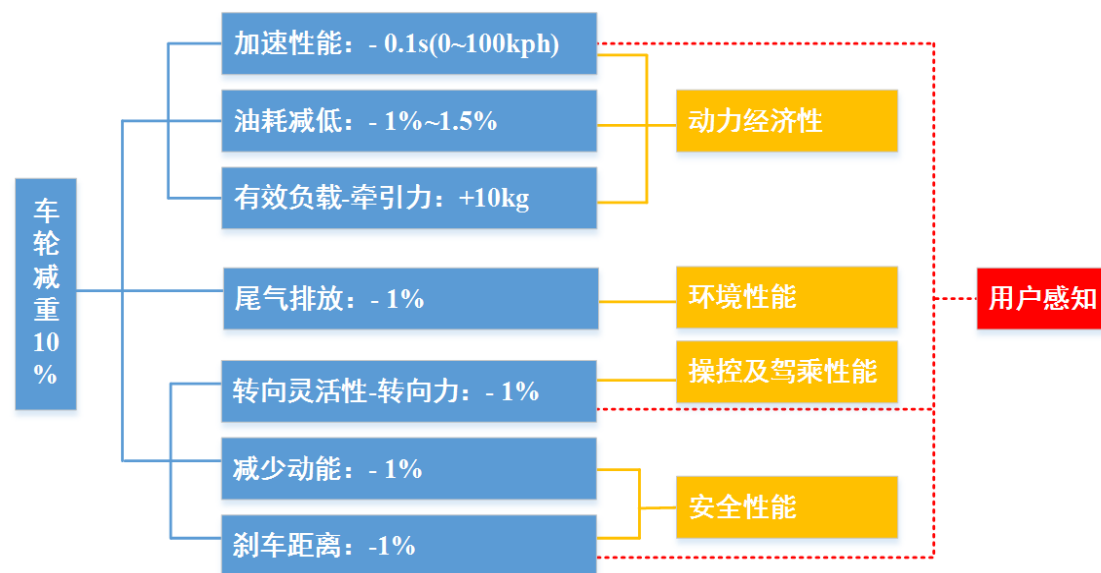
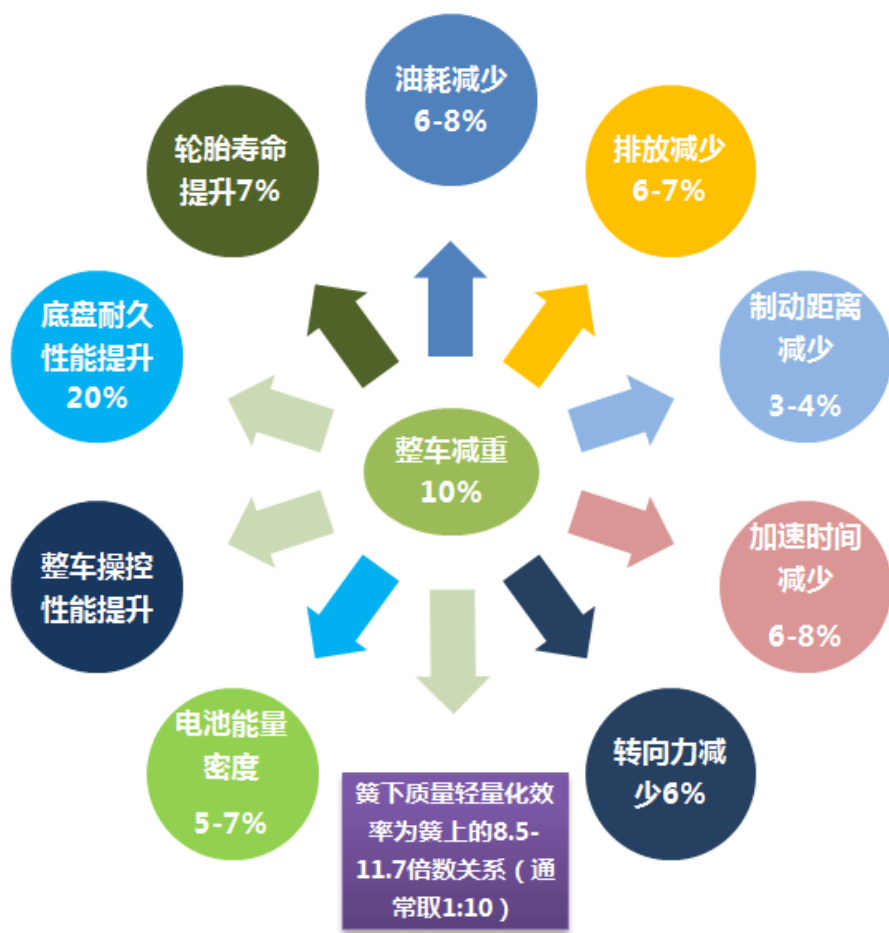
三. 热成形车轮专有技术

四. 产品应用案例

五. 未来展望

一. 背景和意义

- 商用车以约20%的汽车保有量消耗了约51%的汽柴油，同时制造了56%的道路交通碳排放。
- 车轮作为簧下旋转构件，其节能减排效果远高于簧上构件，是商用车节能减排和践行“双碳”国家战略的重要路径。



一. 背景和意义

二. 技术成果及创新性

三. 热成形车轮专有技术

四. 产品应用案例

五. 未来展望

二. 技术成果及创新性

- **国内外首发了热成形超轻量化商用车车轮**，比冷成形高强度钢车轮减重27%，达到锻造铝合金商用车车轮同等重量。
- **原创开发了热成形车轮装备、焊接技术和高强韧性材料等成套装备技术**，实现**四高**（高疲劳、高抗变形开裂、高抗氢脆、高精度）**两低**（超低重量、低碳排放）。
- **国内外首次实现装车应用评价。**



材料: SW400+ SW400
轮辋: 5.25mm
轮辐: 11.0mm
重量: 34kg
第一代轻量化钢制商用车车轮



材料: SW400+RS590
轮辋: 4.5mm
轮辐: 11.0mm
重量: 31.4kg
第二代轻量化钢制商用车车轮



材料: 高强韧性热成形钢
轮辋: 3.3mm
轮辐: 9.0mm
重量: 23kg
热成形钢制超轻商用车车轮

二. 技术成果及创新性

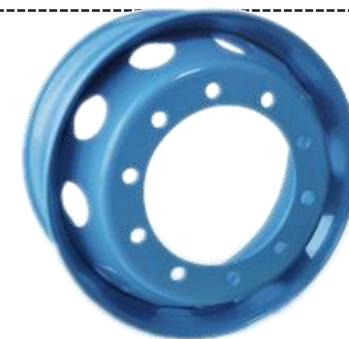
- **国内外首发了热成形超轻量化商用车车轮**，比冷成形高强度钢车轮减重27%，达到锻造铝合金商用车车轮同等重量。
- **原创开发了热成形车轮装备、焊接技术和高强韧性材料等成套装备技术**，实现**四高**（高疲劳、高抗变形开裂、高抗氢脆、高精度）**两低**（超低重量、低碳排放）。
- **国内外首次实现装车应用评价。**



材料: 460+ 420
轮辋: 6.5mm
轮辐: 14.0mm
重量: 42kg
第一代轻量化钢制商用车车轮



材料: SW460+590
轮辋: 5.3mm
轮辐: 14mm
重量: 37kg
第二代轻量化钢制商用车车轮

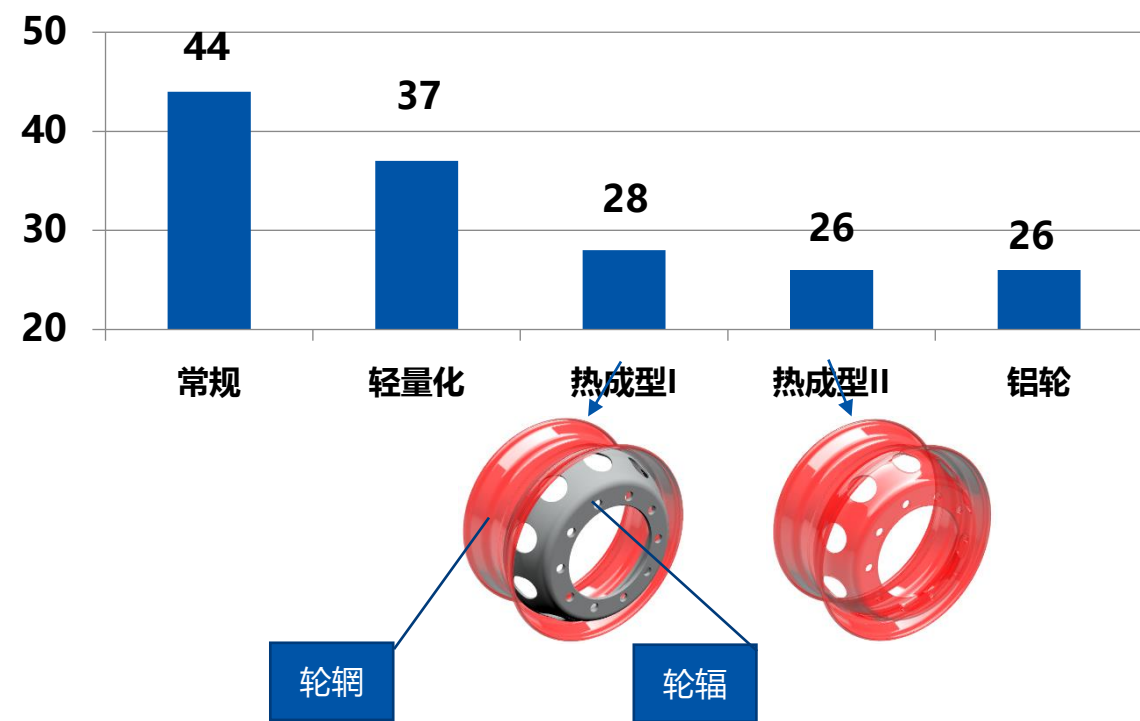


材料: 高强韧性热成形钢
轮辋: 3.7mm
轮辐: 12mm
重量: 28kg
热成形钢制超轻商用车车轮

二. 技术成果及创新性

- 国内外首发了热成型超轻量化商用车车轮，比冷成型高强度钢车轮减重27%，达到锻造铝合金商用车车轮同等重量。
- 原创开发了热成型车轮装备、焊接技术和高强韧性材料等成套装备技术，实现四高（高疲劳、高抗变形开裂、高抗氢脆、高精度）两低（超低重量、低碳排放）。
- 国内外首次实现装车应用评价。

➤ 通过超高强(1500MPa)热成型钢实现超轻量化
22.5×9.00重量 (kg)



➤ 优良的疲劳性能、超强的抗变形开裂能力、抗氢脆能力

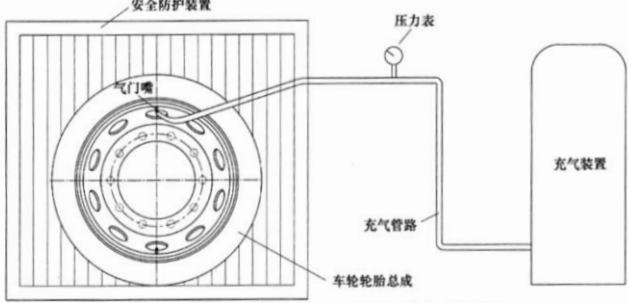
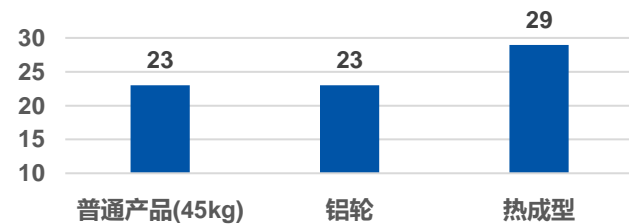


图1 商用车15寸深槽钢制车轮静态刚度试验装置示意图

序号	试验项目	试验方法	试验要求	试验结果
1	弯曲疲劳试验	SAE J267 NOV 2014 (Wheels / Rims—Truck and Bus—Performance Requirements and Test Procedures for Radial and Corrugated Fatigue)	系数 S=1.3, 转数要求 ≥ 7.5 万	29.23 万
2	径向疲劳寿命		系数 S=1.6, 转数要求 ≥ 18.75 万	200 万
3	静不平衡量测试	QC/T 242—2014 《汽车轮胎不平衡量要求及检测方法》	静不平衡量质量 ≤ 67g	52g, 46g, 28g
4	气密性试验	QC/T 241—2011 《汽车无内胎轮胎密封性试验方法》	气压 ≥ 124kPa, 时间 ≥ 30s, 无气泡	无气泡
5	干膜厚度检测	标准 ASTM D1091	40 ~ 90μm	76, 72, 84
6	划痕硬度试验	标准 STM D3363	1B ~ 4H	B, B, B
7	干膜附着力测试	标准 ASTM D3359 方法 B	至少达到 4B; 及被剥离的面积 (小于 5%)	5B, 5B, 5B
8	潮湿附着力测试			5B, 5B, 5B
9	柔韧性	标准 ASTM D 522-13 方法 A	能够抵过一个 3.2mm (0.125in) 锥形心轴弯曲, 且没有裂纹, 剥离或者附着力缺失	没有裂纹及剥离
10	抗冲击性	标准 ASTM D 2794	能够抵过一个 0.20kg-m (250in-lb) 直接冲击, 用 12.7mm (0.5in) 的压头测试, 且没有裂纹, 剥离或者附着力缺失	没有裂纹及剥离
11	耐老化	标准 ASTM D 4587	336kPa, 至少 48 小时的干膜附着力; 无剥落; 无裂纹; 无剥离	336kPa, 合格
12	耐老化性能测试	标准 ASTM D4585	750 小时以内干膜附着力大于等于 4B, 无气泡, 剥离或者附着力缺失	750h, 合格
13	耐老化性能测试	标准 ASTM D5402	至少完成 15 次甲乙酮浸泡循环, 无明显的颜色, 无裂纹, 无脱落, 或剥离最大面积在测试路径中间的 152mm 处	无颜色, 无裂纹, 无脱落
14	中性盐雾试验	标准 ASTM B117	336kPa 以内, 干膜附着力至少 4B, 没有气泡, 最大侧向腐蚀 2mm, 腐蚀程度 9 级或更好	500h, 合格
15	碎石冲击试验	标准 ASTM D 522-13 方法 A	能够抵过一个 3.2mm (0.125in) 锥形心轴弯曲, 且没有裂纹, 剥离或者附着力缺失	没有裂纹及剥离

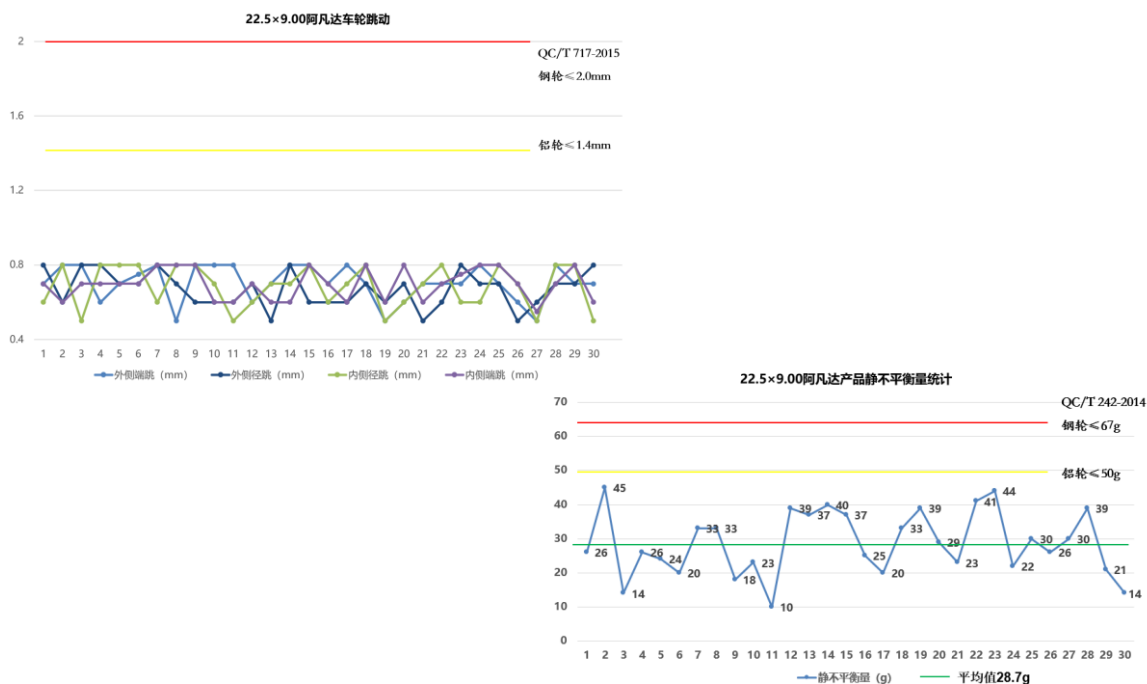
22.5x9.00 静态刚度承压(Bar)



二. 技术成果及创新性

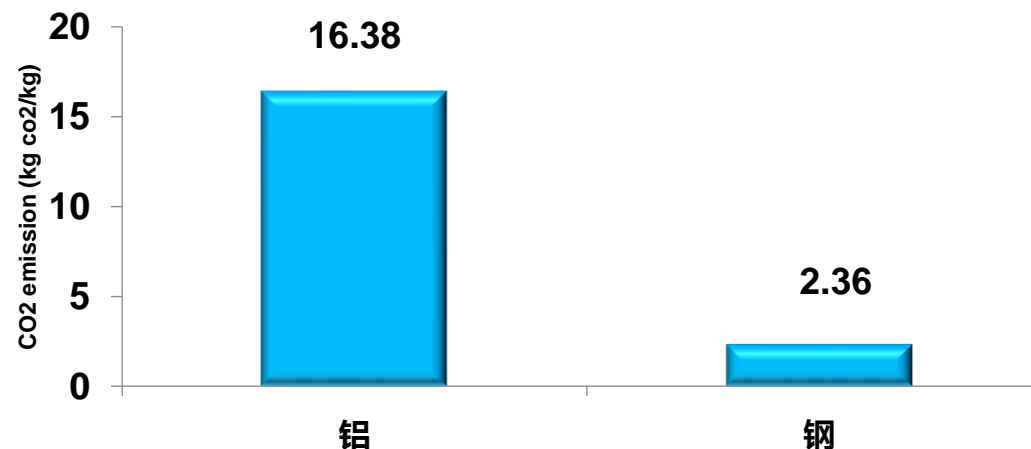
- **国内外首发了热成形超轻量化商用车车轮**，比冷成形高强度钢车轮减重27%，达到锻造铝合金商用车车轮同等重量。
- **原创开发了热成形车轮装备、焊接技术和高强韧性材料等成套装备技术**，实现**四高**（高疲劳、高抗变形开裂、高抗氢脆、高精度）**两低**（超低重量、低碳排放）。
- **国内外首次实现装车应用评价。**

➤ 产品精度高-车轮跳动 $\leq 0.8\text{mm}$ 甚至 $\leq 0.5\text{mm}$ 和车加工的铝合金车轮相当；车轮的不平衡量 $\leq 40\text{g}$, 优于铝合金车轮



➤ 碳排放低

CO2 Emission Comparison between Steel and Aluminum Production in China 中国钢和铝材生产的碳排放对比



二. 技术成果及创新性

- **国内外首发了热成形超轻量化商用车车轮，比冷成形高强度钢车轮减重27%，达到锻造铝合金商用车车轮同等重量。**
- **原创开发了热成形车轮装备、焊接技术和高强韧性材料等成套装备技术，实现四高（高疲劳、高抗变形开裂、高抗氢脆、高精度）两低（超低重量、低碳排放）。**
- **国内外首次实现装车应用评价。**

➤ 取得6项浙江省科学技术成果



➤ 获得23件专利授权，授权发明专利15件



一. 背景和意义

二. 技术成果及创新性

三. 热成形车轮专有技术

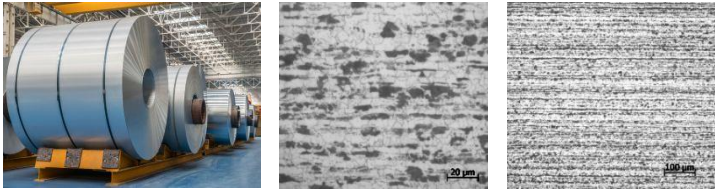
四. 产品应用案例

五. 未来展望

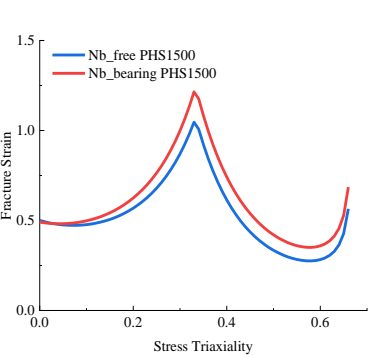
三. 热成形车轮专有技术

- **专用材料创新技术：**基于商用车车轮的复杂工况和热成形钢自身脆性高的问题，开发了热成形车轮专用热轧热成形钢，采用微合金化及工艺控制，实现了极限冷弯角度、抗氢脆性能、复杂应力三轴度下的临界断裂应变三个关键韧性指标均大幅度提高，保障了车轮的服役性能。

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Nb	V	Ti	Mo	B	
Wt.%	0.20~0.25	0.20~0.35	1.0~1.5	≤0.015	≤0.003	0.15~1.0	0.03~0.05	0~0.05	≤0.03	0~0.2	≤0.005	
工艺	Heating temperature: ≥1220 °C, final rolling temperature: 870-920 °C, crimping temperature: 650-700 °C.											



热成形车轮专用钢	厚度/mm	状态	屈服/MPa	抗拉/MPa	延伸率/%	碳当量(C.E)	脱碳层厚度/mm
WHF1300R	2.0 ~ 12.0	供货态	320 ~ 400	420 ~ 550	≥22	< 0.6	≤0.05
		热成形后	950 ~ 1250	1300 ~ 1700	≥6		



极限冷弯角度对比				
钢板	极限冷弯方向	最大弯曲载荷, KN	最大弯曲位移, mm	平均弯曲角度°
热成形车轮专用钢	平行轧制方向	23.83	8.23	67.6
	垂直轧制方向	21.73	7.1	56.6
传统 22MnB5	平行轧制方向	39.84	8.0	62.3
	垂直轧制方向	37.33	6.5	48.7

VDA 238-100/ T/CSAE 154 - 2020

不同应力三轴度下的临界断裂应变

恒载荷弯曲氢脆断裂对比

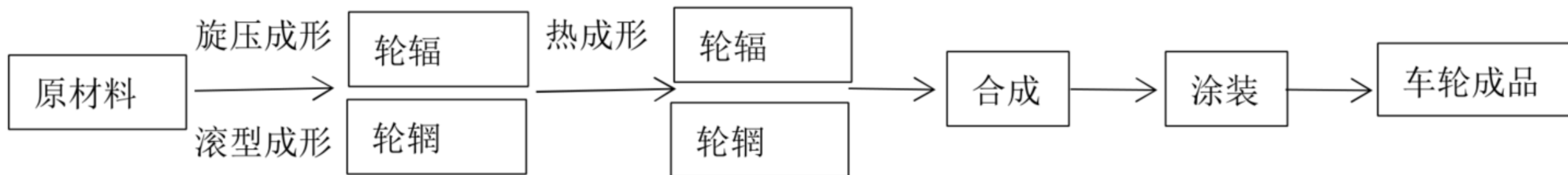
钢板	试样	试验跨距0.1mol HCl/mm	300 小时断裂情况	断裂时间/h
传统22MnB5	1-1	145mm	Y	144
	1-2		Y	144
	2-1	135mm	Y	40
	2-2		N	-
	3-1	120mm	Y	16
	3-2		N	-
	4-1	105mm	Y	10
	4-2		Y	10
	5-1	90mm	Y	6
	5-2		N	-
热成形车轮专用钢	1-1	145mm	N	-
	1-2		N	-
	2-1	135mm	N	-
	2-2		N	-
	3-1	120mm	N	-
	3-2		N	-
	4-1	105mm	N	-
	4-2		N	-
	5-1	90mm	N	-
	5-2		N	-

T/CSAE 155 - 2020: U-shaped constant bending load test

三. 热成形车轮专有技术

- **专有热成形车轮成形技术**：采用的热成型工艺、独特的模具设计及冷却系统设计实现快速冷却并减少产品变形，保证产品成形精度；提出了基于变截面的轻量化钢制车轮设计方法实现轻量化设计。

➤ 研发了钢制车轮热冲压成形工艺

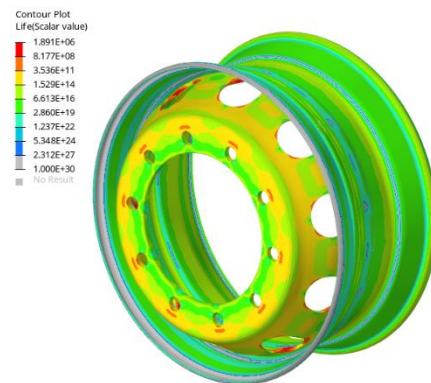
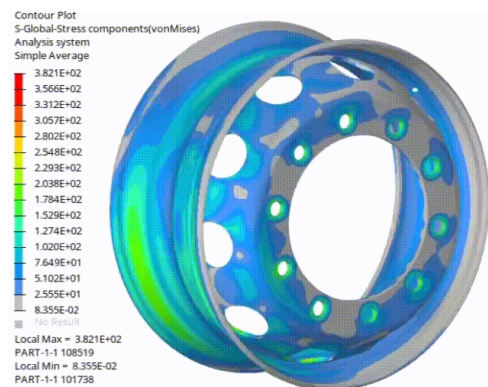


商用车热冲压成形车轮制造艺流程图

三. 热成形车轮专有技术

- **专有热成形车轮成形技术：**采用的热成型工艺、独特的模具设计及冷却系统设计实现快速冷却并减少产品变形，保证产品成形精度；提出了基于变截面的轻量化钢制车轮设计方法实现轻量化设计。

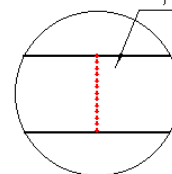
➤ 变截面的轻量化钢制车轮设计-通过优化设计，危险区域应力水平下降20%，保证性能的同时实现轻量化



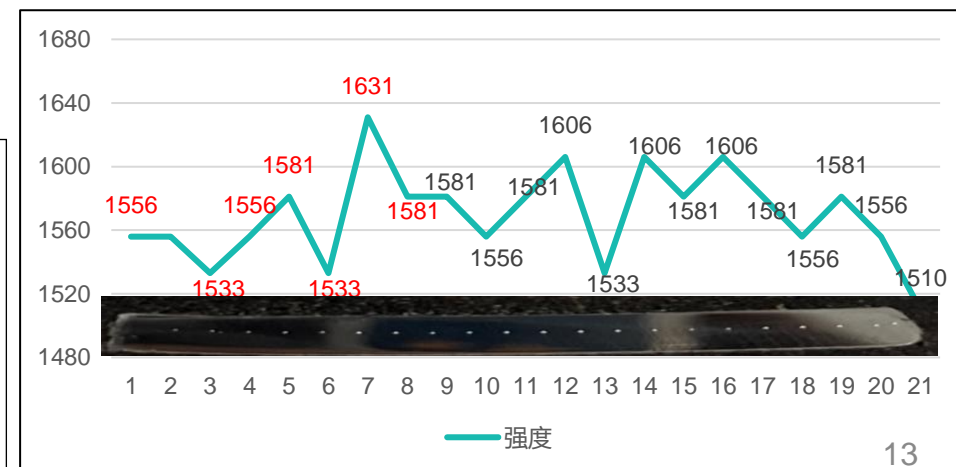
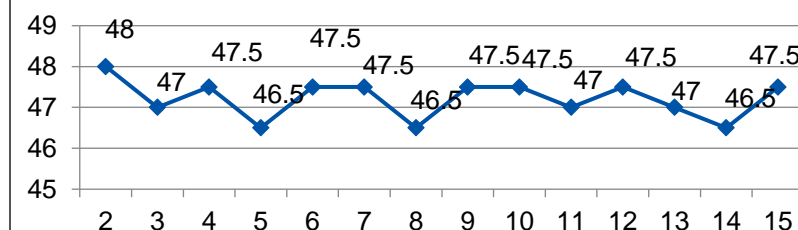
➤ 热成型工艺、独特的模具设计及冷却系统设计-热成型后产品强度均大于1500MPa，有效保证产品性能



轮辋截面



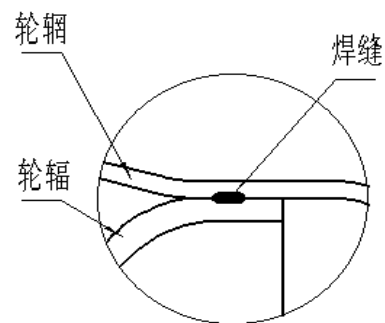
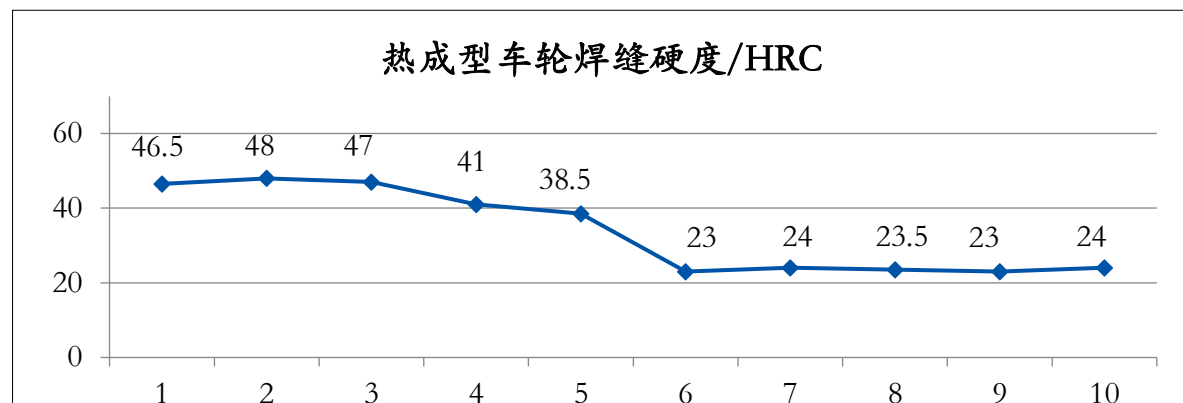
轮辋截面硬度检测/HRC



三. 热成形车轮专有技术

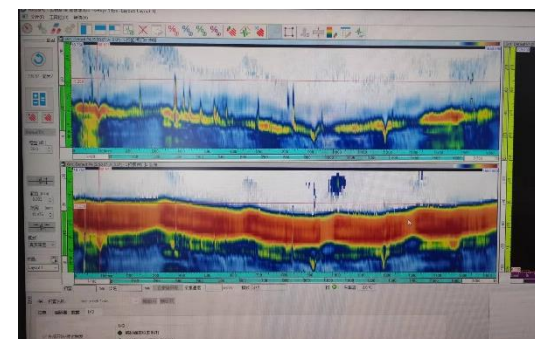
- **热成形车轮焊接及检测专有技术：**设计新的焊接结构并采用激光焊接方法，实现焊接疲劳强度高；发明了全新的表面清理设备并应用在线无损焊缝检测方法

- 新的焊接结构及激光焊接方法-焊接热影响区是传统焊接方法的25%，强度提高了30%以上，疲劳强度高



- 表面清理设备及在线无损焊缝检测方法-

- 替代传统的抛丸和酸洗工艺，工件变形小、表面粗糙度可控
- 检测精度高，最小可检测0.2mm的焊缝缺陷



一. 背景和意义

二. 技术成果及创新性

三. 热成形车轮专有技术

四. 产品应用案例

五. 未来展望

四. 产品应用案例

- 通过了所有台架试验，产品在一汽、东风等7~8家商用车企业完成10000km~20000km的可靠性路试，同时通过了10万km~15万km的耐久路试。



主机厂可靠性路试

四. 产品应用案例

- 通过了所有台架试验，产品在一汽、东风等7~8家商用车企业完成10000km~20000km的可靠性路试，同时通过了10万km~15万km的耐久路试。



主机厂耐久路试

- 产品在国内挂车中集、重卡头部企业福田汽车小批量应用，目前国内及出口销售超50万件

一. 背景和意义

二. 技术成果及创新性

三. 热成形车轮专有技术

四. 产品应用案例

五. 未来展望

- 产品已经从商用车重卡热成型车轮向轻卡和乘用车热成型车轮推广，产品陆续量产，预计2023年销量达300万只，未来3年销量超1000万只。
- 未来3年实现装车达**50万台**，降低油耗约**18万吨**，减少二氧化碳排放约**54万吨**。
- 金固热成形车轮产业链团队愿与各位同仁一道，不断完善优化工艺、产品性能和轻量化成效，为我国汽车的节能减排做出更大贡献。



感谢聆听

节能与新能源汽车技术路线图2.0