

65Mn钢弹性挡圈制件热处理工艺改进

沈亚秋, 关海瑛, 李建坤, 高逸雯

北京首航科学技术开发有限公司信阳分公司 河南信阳 464000

摘要: 65Mn弹簧钢制造的弹性挡圈类制件, 外形呈类圆环状, 制件厚度薄, 易出现淬火变形问题。分析了65Mn钢弹性挡圈的淬火工艺及其淬火变形产生的主要原因, 通过设计专用的淬火工装并改进淬火工艺, 不仅减小了制件的热处理变形, 而且提高了制件淬火后的硬度及均匀性, 使制件综合性能得到提升, 降低了生产成本, 提高了制件加工质量。

关键词: 65Mn弹簧钢; 弹性挡圈; 淬火工装; 工艺改进

Improvement of heat treatment process for 65Mn steel elastic retaining ring parts

SHEN Yaqiu, GUAN Haiying, LI Jiankun, GAO Yiwen

Beijing Shouhang Science and Technology Development Co., Ltd., Xinyang 464000, Henan, China

Abstract: The elastic retaining ring parts made of 65Mn spring steel, shape is like a circular ring, parts thickness is thin, easy to appear hardening deformation problems. This paper analyzes the quenching process of 65Mn elastic retaining ring and the main causes of quenching deformation, by designing special quenching fixture and improving the quenching process, not only reduces the heat treatment deformation of parts, but also improves the hardness and uniformity of parts after quenching, so that the comprehensive performance of parts is improved, reduces the production cost, and improves the processing quality of parts.

Keywords: 65Mn spring steel; elastic retaining ring; quenching fixture; process improvement

1 序言

65Mn为弹簧钢。该钢的强度高, 淬透性好, 脱碳倾向小, 价格低廉, 切削加工性好, 但有过热敏感性, 易产生淬火裂纹, 并有回火脆性。65Mn钢用途较广泛, 用于制造各种截面较小的扁形或圆弹簧、板簧和弹簧片等^[1]。

前期加工的65Mn钢弹性挡圈类制件, 规格为 $\phi 3 \sim \phi 20\text{mm}$ 。当规格较大($\geq \phi 20\text{mm}$)时, 淬火后部分制件出现严重的翘曲变形, 变形样件如图1所示。翘曲变形严重的制件需进行100%挑选, 报废率较高, 不仅造成了资源浪费, 且增加了人工成

本, 延长了制件的生产周期。针对此现象进行原因分析, 并开展相关工艺试验, 对热处理工艺进行改进, 解决大规格弹性挡圈类制件热处理易变形的问题。



图1 挡圈变形样件

2 弹性挡圈工艺及技术要求

弹性挡圈形状和结构如图2、图3所示，一般用厚度为0.4~3mm的冷轧钢带或板材加工，其工艺流



图2 弹性挡圈形状

程为：钢带（板材）下料→线切割或冲裁（成形）→钻孔→热处理→喷砂→表面处理。其热处理后的性能及外观要求应符合技术条件GB/T 959.1—2017《挡圈技术条件 弹性挡圈》规定，见表1。

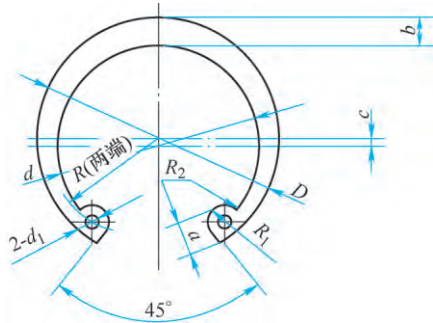


图3 弹性挡圈结构

表1 弹性挡圈性能及外观

序号	国家标准	公称规格 d_0 /mm	硬度HRC（HV）	弹性	韧性	缝规试验
1	GB/T 894—2017《轴用弹性挡圈》	$d_0 \leq 48$	47~54 (470~580)	试验后挡圈内径应不大于沟槽直径的最小值	试验后，挡圈不应出现断裂或裂缝	挡圈应能自由通过间隙 c （当 $d_0 \leq 100\text{mm}$ 时， $c = 1.5s$ （厚度）；当 $100\text{mm} < d_0 \leq 300\text{mm}$ 时， $c = 1.8s$ （厚度））
		$48 < d_0 \leq 200$	44~51 (435~530)			
2	GB/T 893—2017《孔用弹性挡圈》	$d_0 \leq 48$	47~54 (470~580)	试验后挡圈外径应不小于沟槽直径的最大值	试验后，挡圈不应出现断裂或裂缝	
		$48 < d_0 \leq 200$	44~51 (435~530)			

3 原热处理工艺及存在的问题

3.1 原热处理工艺

热处理规范：65Mn钢淬火工艺见表2。采用真空炉对65Mn钢弹性挡圈进行加热，淬火温度为810℃，KR328真空油冷却，采用空气炉对弹性挡圈进行回火处理^[2]。

表2 65Mn钢淬火工艺

标准	淬火设备	淬火温度/℃	淬火冷却介质
HB/Z 136—2000《航空结构钢热处理工艺》	保护气氛炉、真空炉	810	油
QJ 2257A—2016《弹簧钢的热处理》	保护气氛炉、真空炉	800~820	油、硝酸盐等温

3.2 存在的问题

前期65Mn钢弹性挡圈淬火装料时为平铺堆放

（见图4）。挡圈平铺装料时，不同规格制件容易出现不规则的叠加。淬火从较高温度迅速冷却时，冷却过程热应力较大；弹性挡圈淬火过程中组织由奥氏体转变为马氏体+残留奥氏体，由于奥氏体与马氏体组织的比容不同，因此淬火过程存在组织应力^[3]。由于弹性挡圈厚度较薄且装料摆放散乱，因此加热时易造成畸变，进而在淬火时产生较严重的翘曲变



图4 平铺堆放

形。由于制件要求的硬度高，热矫形时需采用比回火温度低的温度进行矫正，因此热矫形温度低（300~350℃），采用多次回火热矫正后翘曲变形仍比较严重，且加工效率低。

弹性挡圈要求硬度高，热处理变形后不易进行定位，后续进行机械加工难度大，故不宜改变弹性挡圈目前执行的加工路线。

4 改进措施

4.1 装炉方式改进

弹性挡圈的热处理变形主要是翘曲变形，对不同的淬火装炉方式进行研究，减小产品热处理变形。试验用原材料为65Mn退火态不同厚度的钢带，化学成分均满足标准GB/T 1222—2016《弹簧钢》要求，见表3。首先将退火态的钢带按照工艺流程分别加工成 $\phi 24\text{mm}$ 、 $\phi 52\text{mm}$ 、 $\phi 75\text{mm}$ 3种规格的弹性挡圈。加工成形的每种规格挡圈各取20件，分别采用挂装、竖立叠放、固定平放3种装炉方式，在双室真空炉中进行810℃加热，真空油中淬火，装炉方式如图5~图7所示。保温结束后迅速入油冷却。淬火后各抽取10个样件进行尺寸、硬度及金相检测。竖立叠放取样为从上部第1件至中间第10件（见图8），固定平放取样为从边缘第1件至中间第10件（见图9），缝规间隙 c 按挡圈厚度计算（见图10），高度 h 测量按平放时平面到变形后最高点的距离尺寸计算（见图11），不同装炉方式经真空炉加热油淬后的硬度和尺寸见表4、表5。

表3 化学成分（质量分数）（%）

C	S	Cr	Ni	P	Cu	Mn	Si
0.62~0.70	≤0.035	≤0.25	≤0.30	≤0.35	≤0.25	0.90~1.20	0.17~0.37

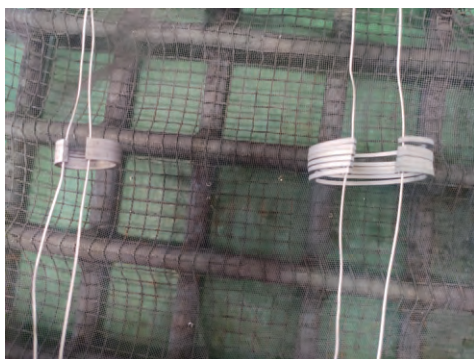


图5 挂装

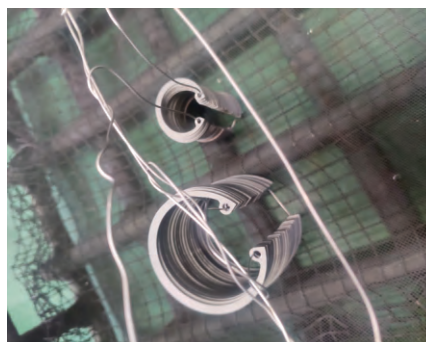


图6 竖立叠放



图7 固定平放

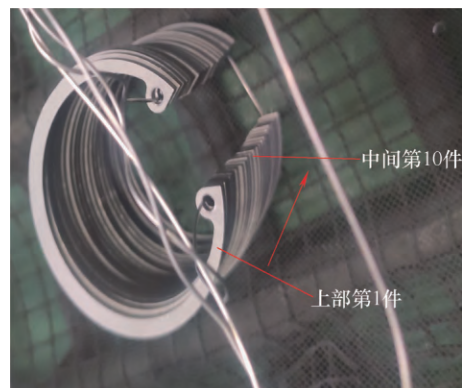


图8 竖立叠放取样示意

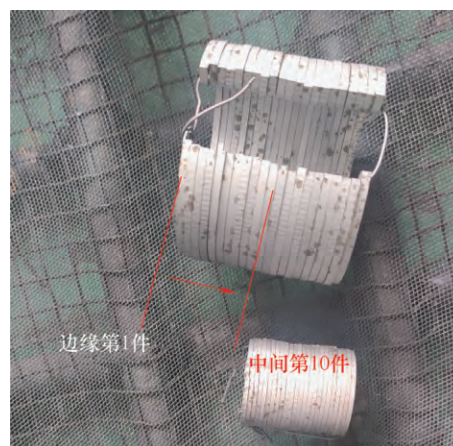


图9 固定平放取样示意

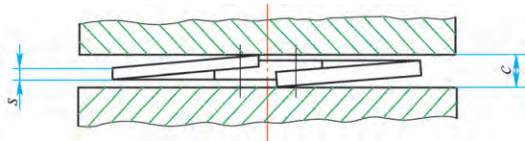


图10 缝规间隙 c

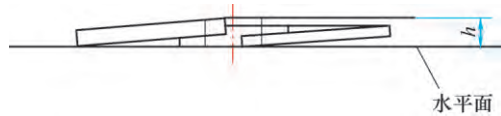


图11 高度 h 测量示意

表4 不同装炉方式的真空炉加热油淬后弹性挡圈硬度检测结果

公称规格/mm	装料方式	淬火后硬度HV	平均值HV	离散度HV
$\phi 24$	挂装	802、798、794、797、799、798、795、794、797、795	796.9	8
	竖立叠放	797、792、789、794、788、795、799、786、792、790	792.2	13
	固定平放	798、794、789、799、796、794、792、795、792、796	794.5	10
$\phi 52$	挂装	781、773、766、782、777、762、784、779、764、776	774.4	22
	竖立叠放	782、754、746、713、692、684、691、665、649、642	701.8	140
	固定平放	773、758、761、694、725、633、614、583、596、577	671.4	196
$\phi 75$	挂装	762、759、738、746、755、749、743、746、745、751	749.4	24
	竖立叠放	749、751、738、729、713、704、685、671、654、662	705.6	97
	固定平放	755、742、723、678、646、652、611、588、538、563	651.6	217

表5 不同装炉方式的真空炉加热油淬后弹性挡圈尺寸检测结果 (mm)

公称规格	装料方式	缝规间隙 c	热处理前厚度 s	热处理后高度 h	变形量
$\phi 24$	挂装	1.2~1.8	1.19~1.22	1.82、1.87、1.79、2.0、1.80、1.82、1.78、1.93、1.81、1.83	0.625
	竖立叠放		1.19~1.23	1.81、1.86、1.79、1.80、1.81、1.84、1.82、1.83、1.79、1.82	0.587
	固定平放		1.19~1.24	1.78、1.79、1.76、1.77、1.77、1.80、1.78、1.79、1.81、1.80	0.545
$\phi 52$	挂装	2~3	1.98~2.01	3.19、3.13、3.01、2.97、3.08、3.06、3.02、3.11、3.30、3.05	1.082
	竖立叠放		1.96~2.03	3.17、3.09、3.11、3.02、3.07、3.00、2.98、3.03、3.02、2.99	1.018
	固定平放		1.96~2.01	2.99、2.95、3.00、2.97、2.94、2.98、2.97、2.99、2.98、2.96	0.963
$\phi 75$	挂装	2.5~3.75	2.48~2.51	3.87、4.30、4.06、3.94、3.92、3.72、4.03、5.15、4.10、3.84	1.583
	竖立叠放		2.48~2.52	4.13、3.97、4.00、3.89、3.83、3.86、3.81、3.75、3.79、3.74	1.357
	固定平放		2.48~2.53	3.70、3.73、3.67、3.69、3.70、3.67、3.74、3.69、3.71、3.69	1.169

由表4可看出， $\phi 24\text{mm}$ 规格采用挂装、竖立叠放、固定平放时，真空油淬后硬度较高、离散度小，不同装料方式对硬度影响较小； $\phi 52\text{mm}$ 、 $\phi 75\text{mm}$ 规格采用挂装方式时，真空油淬后硬度较

高、离散度小；采用竖立叠放、固定平放方式时，真空油淬后边缘件与中间件硬度差异较大。

由表5可看出，挂装及竖立叠放试件真空油淬后部分件高度与淬火前相差加大，超出标准要求，试

件有肉眼可见翘曲；固定平放时真空油淬后高度与淬火前尺寸相差较小，满足标准要求。

真空油淬后对试件进行金相组织检测，金相组织为片状马氏体加少量残留奥氏体，如图12、图13所示。从图12可看出， $\phi 24\text{mm}$ 、 $\phi 52\text{mm}$ 和 $\phi 75\text{mm}$ 规格边缘件的硬度偏高，金相组织中残留奥氏体较少；从图13可看出， $\phi 52\text{mm}$ 、 $\phi 75\text{mm}$ 规格中间件试件硬度偏低，金相组织中残留奥氏体较多。



图12 边缘件油淬后金相组织（硬度773HV）



图13 中间件油淬后金相组织（硬度614HV）

由于试件固定平放时变形量最小，因此为提高试件固定平放加工效率，对固定平放方式设计专用防变形工装，以减小翘曲变形。防变形工装结构如图14所示。该工装主要由三爪固定卡座、三爪压板（见图15）、螺栓杆、装配螺母共4部分组成。工装使用方法是先将螺栓杆穿过三爪固定卡座的中心孔，再将弹性挡圈排列整齐套入螺栓杆中，再用三爪压板固定零件，最后用装配螺母对其进行压紧。根据现有弹性挡圈的规格尺寸范围设计的固定卡座和压板的三爪长度，适用于规格为 $\phi 63\text{mm}$ 以下的弹性挡圈。根据实际装炉量要求并考虑工装的耐用性，设计的螺栓杆长度为120mm左右，可以根据使

用情况进行相应小范围调整。根据热处理方式，选用不锈钢材料加工弹性挡圈防变形工装。弹性挡圈用该工装固定后再装炉进行淬火、回火处理，有效地避免了零件的翘曲变形。

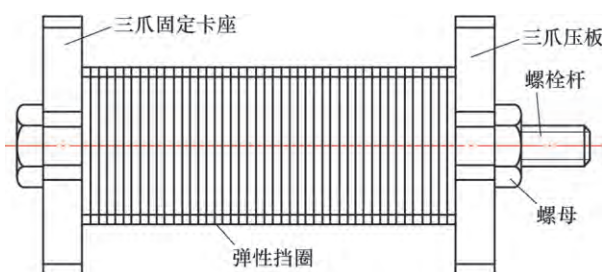


图14 工装结构示意图

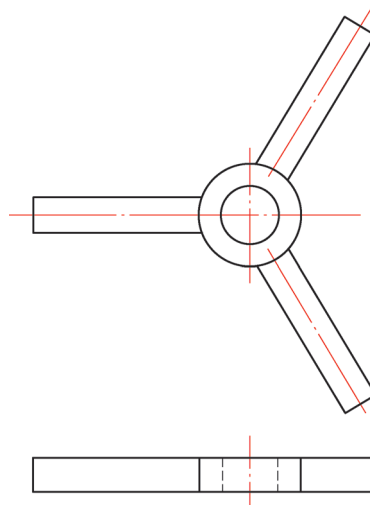


图15 三爪固定卡座和压板结构

4.2 淬火工艺改进

固定平放方式制件变形最小，能够满足标准要求，但是由于两端夹紧的影响，不同位置的制件淬火后硬度差异较大。查阅相关资料^[4, 5]，分析可知奥氏体化的碳素钢工件温度较高，浸入淬火油后会导致淬火冷却介质迅速挥发，在碳素钢工件表面形成一层蒸汽膜。蒸汽膜的存在会减缓碳素钢工件从高温向低温的快速冷却，而在真空状态或较低气压状态下蒸汽膜不能迅速破裂，碳素钢工件会以低于临界冷却速度降温至奥氏体化温度以下，碳素钢材料中由于提高过冷奥氏体稳定性的合金元素含量少，因此过冷奥氏体会向珠光体组织转变。

蒸汽膜延迟破裂后，由于过冷奥氏体已发生珠光体转变，因此珠光体组织不能向马氏体转变，导致碳素钢工件淬火后硬度低，且硬度不均匀。而奥氏体化后的碳素钢工件在惰性气氛中浸入淬火油

时，由于惰性气氛在淬火油上方产生一定压强，使碳素钢工件表面蒸汽膜迅速破裂，并在碳素钢工件浸入淬火油及冷却过程中对淬火油进行搅拌，进一步加快表面蒸汽膜破裂速度，使过冷奥氏体能够以大于临界冷却速度转变为马氏体，因此淬火后可得到较高、较均匀的硬度。

能够获得与在大气压下相同淬火硬度的最低液面压强称为临界淬火压强。临界淬火压强与真空淬火油的特性及钢的淬硬性有关^[4]。对于淬硬性较差的钢，应选用先充气后入油的方式进行淬火。油面

压强应高于其临界淬火压强，一般控制在 $5 \times 10^4 \text{Pa}$ 左右，但不宜低于 $1 \times 10^4 \text{Pa}$ 。为防止和减少油蒸汽进入并污染加热室，宜选用较高的充气压强，所用的气体应为高纯中性或惰性气体^[5]。

65Mn材料合金元素含量少、淬硬性差，故为了提高零件硬度和均匀性，利用上述原理，选用不同的油面压强来验证淬火效果，确定油面压强。用 $\phi 75 \text{mm}$ 规格制件每组各10件进行验证，试验方案和结果见表6。淬火油为快速真空淬火油KR328，其性能指标见表7。

表6 不同油面压强淬火效果

油面压强/Pa	硬度HV	平均值HV	离散度HV
$5 \times 10^4 \sim 6 \times 10^4$	735、735、732、653、650、680、660、721、732、725	702.3	85
$8 \times 10^4 \sim 9 \times 10^4$	749、751、753、742、746、752、752、746、749、750	749	7

表7 快速真空淬火油KR328性能指标

项目	质量指标
酸值/(mgKOH/g)	≤ 0.15
运动黏度(40℃)/(mm ² /s)	20~30
闪点(开口)/℃	≥ 180
腐蚀(铜片, 100℃, 3h)/级	≤ 1
水分(%)	≤ 0.05

从表6可看出，油面压强在 $5 \times 10^4 \sim 6 \times 10^4 \text{Pa}$ 时，淬火后硬度在702.3HV左右，制件硬度较高，但硬度离散性较大。当液面压强提高到 $8 \times 10^4 \sim 9 \times 10^4 \text{Pa}$ 时，制件硬度高且离散性小。经过验证，最终选择将制件淬火入油前的油面压强控制在 $8 \times 10^4 \sim 9 \times 10^4 \text{Pa}$ 。

研究表明，65Mn钢随淬火温度的提升，奥氏

体化程度更充分，淬火冷却得到的马氏体组织更均匀，材料硬度会有所提升。若淬火温度过高，则会得到粗大的马氏体组织^[6]，影响材料的韧性等。为确保弹性挡圈淬火后硬度均匀，回火后综合性能能够满足标准要求，需改进淬火工艺，将淬火温度提高至QJ 2257A—2016《弹簧钢的热处理》规定的上限(820℃)，并按上述原理增加了真空加压油淬要求，即制件淬火入油前，充入纯度为99.999%的高纯氩气，控制油面压强至 $8 \times 10^4 \sim 9 \times 10^4 \text{Pa}$ ，然后开启淬火油搅拌装置，将制件送入油槽，保持至少10min。将不同规格挡圈各20件使用工装固定平放后进行真空淬火，淬火温度为820℃，保温结束入油前，充入高纯氩气，控制淬火前油面压强在 $8 \times 10^4 \sim 9 \times 10^4 \text{Pa}$ 。制件经820℃真空加压淬火的硬度检测结果见表8，820℃真空加压淬火金相组织如图16

表8 不同规格弹性挡圈固定平放加压油淬硬度检测结果

公称规格/mm	淬火方式	淬火后硬度HV	平均值HV	离散度HV
$\phi 24$	820℃真空加压油淬	796、801、791、788、793、787、792、795、792、793、787、788、793、793、792、791、793、794、796、794	792.45	14
$\phi 52$		776、762、757、763、759、763、766、758、761、756、758、766、763、759、762、757、762、759、764、770	762.05	20
$\phi 75$		754、749、751、743、746、742、751、738、745、743、744、752、749、753、754、742、746、743、752、752	747.45	16

注：硬度检测取样为从边缘第1件至另一端最后第20件。

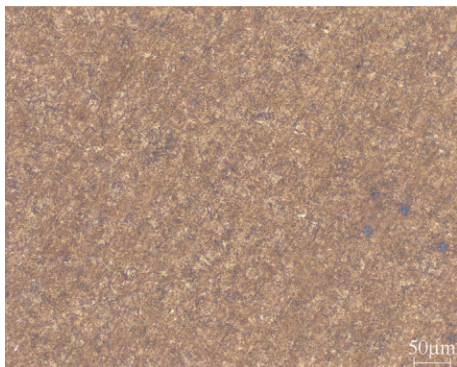


图16 820℃真空加压淬火后金相组织

所示。

从表8可看出，加压淬火后，制件固定平放时从边缘到中间的硬度较高且离散性小。对比图13和图16可看出，820℃真空加压淬火后，制件金相组织主要为均匀的片状马氏体，残留奥氏体减少。因此，采用820℃真空加压淬火方式能有效提高制件硬度的均匀性，满足技术要求。

5 生产效果

为了验证上述改进措施的可靠性，现要求65Mn钢弹性挡圈热处理时按上述措施进行控制，即采用弹性挡圈防变形专用工装将其固定平放、然后进行820℃真空加压油淬，再进行回火处理。热处理后抽取一定数量弹性挡圈检测其硬度、弹性、韧性等性能与变形量。经过2年多的生产跟踪，65Mn钢弹性挡圈翘曲变形量和硬度均控制在技术要求范围内，其变形量合格率达到98%。

典型标准规格制件的试验情况见表9。制件回火后的实物和金相组织如图17、图18所示。回火后金相组织为回火屈氏体，金相组织未出现过热、过烧等异常情况，硬度和变形量均满足标准要求。

表9 制件试验情况

制件名称	材料	标准	规格/mm	试验结果
孔用弹性挡圈-A型	65Mn	GB/T 893—2017《孔用弹性挡圈》	φ 26	硬度、弹性、韧性等检测达到标准要求。翘曲变形量均≤0.5mm，符合制件技术条件要求
孔用弹性挡圈-A型	65Mn	GB/T 893—2017《孔用弹性挡圈》	φ 52	
轴用弹性挡圈-B型	65Mn	GB/T 894—2017《轴用弹性挡圈》	φ 75	
孔用弹性挡圈-A型	65Mn	GB/T 893—2017《孔用弹性挡圈》	φ 120	



图17 回火后的挡圈实物

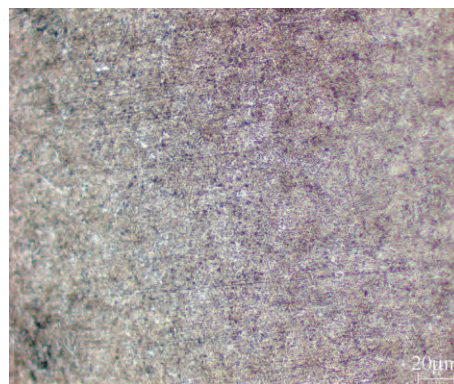


图18 回火后金相组织

6 结束语

改进弹性挡圈淬火装炉方式，采用专用工装对挡圈进行夹紧固定，可使挡圈热处理变形得到有效控制，翘曲变形量大幅减小，降低了制造成本。同时通过改进淬火工艺、提升淬火温度和加压淬火方式，提高了弹性挡圈淬火后的硬度及均匀性，使弹性挡圈综合性能得到提升。此种方式为解决弹性挡圈类制件热处理变形、改善性能，提供了一种良好的工艺方法。

参考文献：

- [1] 《中国航空材料手册》编辑委员会. 中国航空材料手册（第1卷）：结构钢、不锈钢[M]. 北京：中国标准出版社，2001.
- [2] 中国机械工程学会热处理学会. 热处理手册（第2卷）[M]. 4版. 北京：机械工业出版社，2008.
- [3] 《钢的热处理裂纹和变形》编写组. 钢的热处理裂纹和变形[M]. 北京：机械工业出版社，1978.
- [4] 张善庆，王广生. 真空热处理技术在航空领域的应用与发展[J]. 机械工人（热加工），2003（11）：24-26.
- [5] 王广生. 真空热处理技术的发展[J]. 国外金属热处理，2005，26（3）：1-3.
- [6] 冯旭东，杨刚，崔琳珠. 淬火工艺参数对65Mn钢组织及硬度的影响[J]. 热处理技术与装备，2009，30（3）：70-73.

MW 20240105