

含碳量对氮化件白亮层厚度的影响

谢小春

科普费尔(常州)传动技术有限公司, 江苏 常州

收稿日期: 2022年9月27日; 录用日期: 2022年10月19日; 发布日期: 2022年10月26日

摘要

本文主要研究在锻件毛坯表面存在一定深度脱碳, 而后续机加工未完全去除表面脱碳层的情况下对热处理氮化后零件的白亮层厚度是否产生影响。为了得到充分的数据支撑, 采取了正、反向实验验证; 对不同材料的零件进行不同程度的渗碳和对其中一种材料的零件进行高温脱碳, 最后用相同热处理工艺进炉氮化, 对比不同状态下白亮层的厚度。从结果看, 表面碳势高的零件氮化后比未渗碳的零件白亮层要明显厚一些; 脱碳的零件比未脱碳的零件氮化后白亮层要浅一些。以上的结论对控制热处理氮化后白亮层厚度的稳定性有一定现实的指导意义。

关键词

白亮层厚度, 含碳量, 氮化

The Effect of Carbon Content on the Thickness of Compound Layer after Nitriding

Xiaochun Xie

Koepfer (Changzhou) Transmission Technology Co., Ltd., Changzhou Jiangsu

Received: Sep. 27th, 2022; accepted: Oct. 19th, 2022; published: Oct. 26th, 2022

Abstract

This paper mainly studies the effect on the compound layer thickness of the parts after nitriding. And for these parts, there is a certain depth of decarbonization layer on the surface after forging, and the subsequent machining has not completely removed the surface decarbonization layer. In order to obtain sufficient data, forward and reverse experiments were carried out, such as different degrees of carburizing for the parts of different materials, high temperature decarbonization

of the parts chosen from one of the materials, and comparing the thickness of the compound layer under different states which were nitrided with the same heat treatment program. The results show that the compound layer of the parts with high surface carbon potential is significantly thicker than that of the parts without carburizing. And the compound layer thickness of the decarbonized parts is thinner than that of non-decarbonized parts after nitriding. The conclusions above have a certain guidance to keep the stability of the compound layer thickness after nitriding.

Keywords

Thickness of Compound Layer, Carbon Content, Nitrocarburizing

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 前言

采用氮化处理时，在工件表面产生一种氮化铁薄膜。用显微镜观察时，由于氮化铁薄层难以被腐蚀，故叫白亮层[1]。鉴于当前热处理氮化后零件的白亮层厚度不稳定，有较大幅度的波动；在排除热处理过程参数控制异常、热处理设备问题以及装炉量不固定的情况下，原材料锻件的交付状态是个值得研究的方向。此前热前机加工反馈锻件毛坯偶有余量不足，加工不全的现象；在此可以推断并研究，若零件毛坯来料时余量状态各有不同并且表面有脱碳现象，后续的机加工对脱碳层的清除状态也随之不同；那么热处理前零件表面是否存在脱碳层，即零件表面含碳量是否有大的差异，对氮化处理后的白亮层厚度有无影响，通过此次研究将会对热处理氮化后白亮层厚度的稳定控制有全新的认识。此外，对一些零件氮化后需要少白亮层或无白亮层的技术要求而言，也会提供一个新的解决思路。

2. 对象与方法

试验材料的选取由于目前公司内的氮化件所使用的材料均为低碳合金钢，所以考虑到实际应用意义和对比有效性，选取了四种材质的低碳钢或低碳合金钢，分别为 SPCC，20#，20Cr 和 20MnCr5。其中 SPCC 原材料状态为冷冲压件；20#和 20Cr 为正火棒材加工件；20MnCr5 为正火状态的锻件加工件。在实验前对这 4 种材质进行了成分检测，其成分结果在国标规定的范围内；以 20MnCr5 为例，结果见表 1。这里不考虑同一材质其不同钢厂浇铸炉号中各元素成分波动引起的组织和性能的差异。

Table 1. Chemical elements of 20MnCr5

表 1. 20MnCr5 化学成分

项目及 要求 Item and requirement	20MnCr5								
	化学成分 Chemical element/%								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Cu	AL
	0.17~0.21	0.4max	1.1~1.4	0.025MAX	0.035MAX	1.0~1.3	≤0.08	≤0.25	0.015~0.05
检验结果 Checking result	0.197	0.086	1.369	0.02	0.025	1.261	0.02	0.147	0.027

2.1. 试验仪器与设备

蔡司显微镜 Vert.A1, 北京普瑞赛司仪器有限公司;
布鲁克火花直读光谱仪 Q4 TASMALN, 布鲁克中国。

2.2. 研究方法

2.2.1. 原材料渗碳

将上述四种原材料 SPCC, 20#, 20Cr 和 20MnCr5 各准备 3 件相同状态的样件, 其中 2 件分别进多用炉中进行 0.45%C 和 0.75%C 不同状态的渗碳; 除碳势不一样外, 其余如强渗温度, 强渗时间, 扩散温度, 扩散时间和渗碳空冷状态等保持一致; 对于在炉位置, 所有的样品放在一起并处于同一位置, 保证氮化状态的相对一致。另外 1 件原材料不作渗碳处理, 保持原材料原始状态。将这三种状态的样件一起进行氮化处理, 并对比白亮层厚度的状态。

2.2.2. 原材料脱碳

针对 20MnCr5 这种材料, 分别在 860°C, 910°C, 960°C 下在试验炉中进行无气氛保温, 保温时间相同, 然后出炉空冷; 模拟锻造温度下, 表面脱碳的情况。选择这三种温度, 目的是比较不同锻造温度下, 若表面脱碳层未完全加工去除掉, 零件氮化后白亮层厚度是否有相同的变化趋势。为了做极限验证, 本实验样品表面脱碳层未机加工。最后将这三种温度下的样件和原材料未处理件一起进行氮化, 观察白亮层厚度的差异。

2.2.3. 氮化处理

将上述各种状态的样件用相同的氮化工艺进行氮化处理, 这里我们采用目前常用的氮化工艺。为了保证实验结果是在同一种状态下的比较, 我们在上述所有状态下的样品准备齐全下进行了同一炉次的氮化实验, 以保证氮化条件的相对一致。

3. 结果与分析

不同钢材渗碳后对氮化白亮层厚度的影响从下表数据可以看出, 不同材质的样件, 相同的氮化条件下, 表面含碳量越高, 有白亮层越厚的趋势, 见表 2; 具体白亮层厚度结果以 20# 为例, 见图 1。而渗碳后相同表面碳浓度的 4 款不同材料的样件其白亮层厚度并不趋于相同, 说明含碳量只是白亮层厚度的影响因素之一。

Table 2. Thickness of compound layer after nitridation for different materials and different surface carbon content
表 2. 不同材质, 不同表面含碳量下氮化后的白亮层厚度

不同状态下的白亮层厚度情况			
白亮层厚度 样件材质	样件状态		
	原材料 um	渗碳 0.45%C um	渗碳 0.75%C um
SPCC	31.98	32.03	35.84
20#	22.87	28.04	32.59
20Cr	24.25	31.82	32.03
20MnCr5	25.51	18.59	28.75

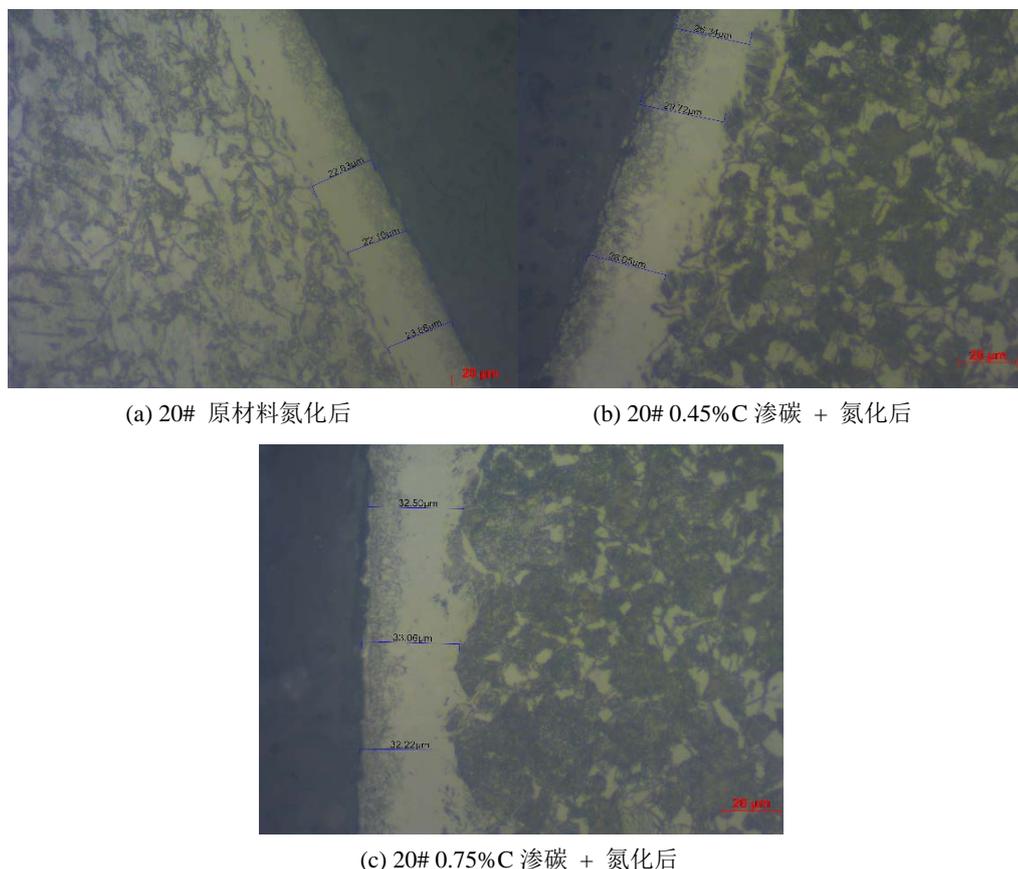


Figure 1. The results of compound layer depth of 20# steel after nitriding in three states Etching with 4% nitrate alcohol solution 500×

图 1. 三种状态 20#钢氮化后的白亮层厚度结果 4%硝酸酒精溶液浸蚀 500×

材质 20MnCr5 不同温度脱碳后对氮化白亮层厚度的影响在零件表面产生脱碳后再进行氮化处理, 其白亮层厚度相较于非脱碳的正常状态时小, 具体见表 3。此结果说明, 锻造毛坯件在机加工未完全去除表面脱碳层的情况下, 对产品氮化后的白亮层厚度是有影响的。这也解释了为什么同一氮化工艺, 不同原材料批次的零件氮化后的白亮层厚度有明显的波动, 显得不稳定, 并且难以通过工艺参数调整来控制。这都是由于加工余量状态的变化造成锻造后表面脱碳件机加工后的表面碳含量不同导致的。

Table 3. Thickness of compound layer after nitridation under decarburization of sample surface

表 3. 样件表面脱碳下氮化后白亮层的厚度

不同状态 20MnCr5 样件氮化后白亮层情况				
白亮层厚度	白亮层位置			
	白亮层 1 um	白亮层 2 um	白亮层 3 um	平均值 um
样件状态				
脱碳温度 860℃	22.45	21.43	23.11	22.33
脱碳温度 910℃	19.59	20.33	21.06	20.33
脱碳温度 960℃	22.82	23.89	23.33	23.35
原材料	26.73	27.45	26.44	26.87

原理分析对于纯铁在 520℃氮化时，当 N 的质量分数超过 7.8%时，可在表面形成密排六方结构的 ϵ 相(视 N 含量的不同可形成 Fe_3N ， $\text{Fe}_{2.3}\text{N}$ 或 Fe_2N)，如图 2 所示；这是一种氮含量变化范围相当宽的铁氮化合物。越远离表面，氮的质量分数越低，随之是 γ' 相(Fe_4N)，它是一种可变成成分较小的中间相，其质量分数在 5.7%~6.1%之间[2]。本试验中白亮层主要由 ϵ 相和少量 γ' 相组成，参见图 3 (氮化温度相近)；图 3 中水平虚线为钢中质量分数 $w(\text{C})$ 0.45%处，此时由表及里各分层相组成依次为： ϵ ， $\gamma' + \epsilon$ ， $\text{C} + \gamma'$ ， $\alpha + \text{C}$ 。对比图 2 和图 3 可知，同一氮化温度 565℃下纯铁中随着碳原子含量的不断增加，形成白亮层 ϵ 相的最低 N 含量阈值发生了显著变化(不断减小)；氮碳共渗的白亮层可在更低的 N 含量下形成(565℃时，纯铁中 N 的质量分数需要 7.4%及以上可形成 ϵ 相，而含碳件则低至 7.2%或含碳量高时低至 7.0%以下某一值即可)，并同时受 C, N 含量的影响。这就意味着相同 N 浓度梯度下，含碳量高的件相比含碳量低的件形成的白亮层厚度更大。因此，白亮层的厚度与碳含量成正相关趋势。

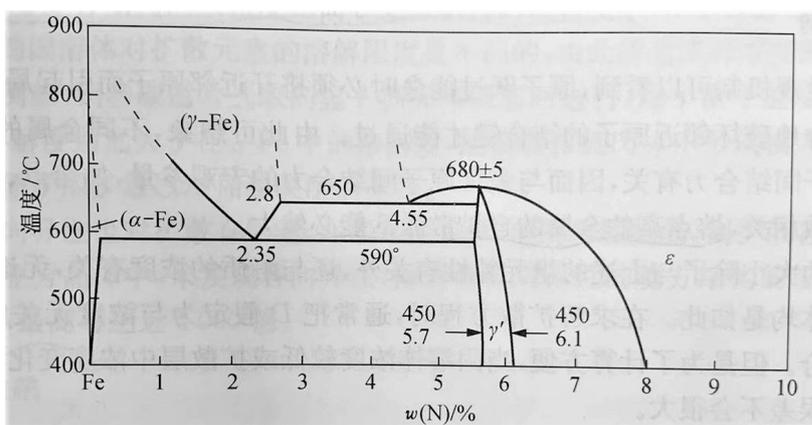


Figure 2. Fe-N phase diagram [2]
图 2. Fe-N 相图[2]

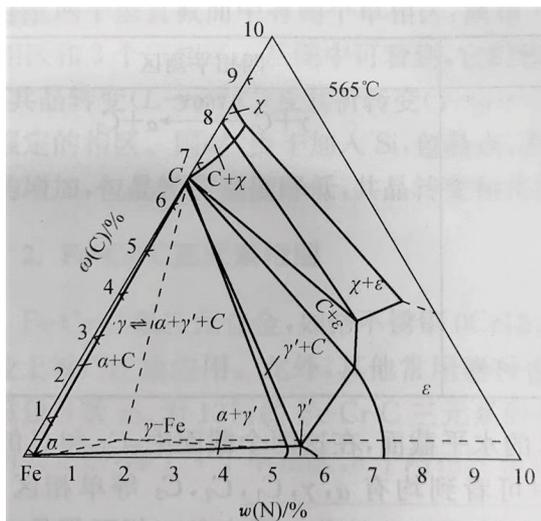


Figure 3. Horizontal section of Fe-C-N ternary system [2]
图 3. Fe-C-N 三元系水平截面[2]

而对于氮势阈值，通过氮势阈值控制的渗氮方法，在渗氮前期可以适当提高氮势，随着渗氮时间的增加，逐步多段地降低氮势，使实际氮势始终维持在氮势阈值的附近，此方法在保证渗氮速度的

同时,能有效控制钢渗氮后的白亮层厚度[3]。

4. 结论

1) 在相同的氮化条件下,零件表面的含碳量对氮化后白亮层厚度是有影响的;表面增碳,白亮层厚度会增加;反之,减小。

2) 至于形成白亮层(或者称为化合物层)的微观机制,需要进一步研究 N 原子的扩散机制和影响其扩散的因素。而本研究中的 SPCC 材料,虽然其含碳量最低,但是白亮层厚度却是四种材料中最大的,见表 2;则需要考虑其是冷冲压件,有大量位错和空位可作为扩散快速通道供 N 原子进行扩散。

3) 本研究对控制热处理氮化后白亮层厚度的稳定性有一定现实的指导意义。虽然只是其中一种影响因素,但也是有一定相关度的影响因素,需要综合考虑才能抓住主因,快速有效地解决问题。

参考文献

- [1] D. B. Clayton, K. Sachs, 靖殿军. 除去氮化零件表面生成的白亮层[J]. 金属热处理, 1979(3): 65-66.
- [2] 胡庚祥, 蔡珣, 戎咏华. 材料科学基础(第 3 版) [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2010.
- [3] 王会斌, 邱荣春, 陈葵, 等. 32Cr3MoVE 钢的气体渗氮工艺[J]. 金属热处理, 2021(9): 153-158.