

汽车渗碳齿轮用钢及热处理工艺的现状和发展趋势

彭俊, 周述积, 楼芬丽

(湖北汽车工业学院 材料工程系, 湖北 十堰 442002)

摘 要:概述了国内外汽车渗碳齿轮用钢及热处理工艺现状。展望了我国汽车渗碳齿轮材料和热处理工艺的发展趋势与应用。

关键词:汽车齿轮钢; 热处理; 工艺; 研究

中图分类号: TG142.41, TG156.8+1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-4971(2007)01-0003-04

State of Process and Development Trend of Automobile Carburized Gear-used Steel and Heat Treatment Technology

PENG Jun, ZHOU Shu-ji, LOU Fen-li

(Dept. of Material Engineering, Hubei Automotive Industries Institute, Shiyan Hubei 442002, China)

Abstract: The state of the art in automobile carburized gear-used steel and heat treatment technology at home and abroad was reviewed. The development trends of domestic automobile carburized gear material and heat treatment technology were forecasted as well.

Key words: automobile gear-used steel; heat treatment; technology; research

1 国内外汽车齿轮用钢现状

1.1 国外齿轮钢应用情况

国外,最初使用的渗碳齿轮钢基本上是锰钢和锰铬钢,例如日本的 SMn420、SMnC420,德国的 16MnCr5、20MnCr5 等。此类钢便宜,性能良好。这是当时从经济角度出发,考虑到资源条件而研制的,但它们质量不稳定,强韧性配合差,往往强度指标合格而硬度达不到要求,晶粒粗化倾向大。因此,目前国外汽车工业中已很少采用而逐渐被铬钢、铬钼钢、镍铬钼钢所取代。德国 ZF 公司就曾在 Mn-Cr 钢的基础上再加硼处理,形成了颇具特色的 ZF 钢系列,其各方面的性能大大改善。各国渗碳齿轮钢应用状况如下:

日本:主要用铬钢和铬钼钢。如铬钢 SCr415、SCr420 和铬钼钢 SCM415、SCM418、SCM420、SCM421、SCM822 均是日本汽车工业中广泛应用的钢种。铬钢大多数用于小型车的变速箱齿轮。铬钼

钢中含钼量较低的 SCM415、SCM418、SCM420、SCM421 钢大多用于中型汽车变速齿轮和轻型汽车后桥主、被动齿轮。Mo 含量较高的 SCM822 则用于中型汽车后桥主、被动齿轮。其次是镍铬钼钢,如 SNCM415、SNCM420,主要用于要求高淬透性和要求心部韧性较高的重型汽车上,以取代不含 Mo 的镍铬钢 SNC415、SNC815 等。

美国:小汽车变速箱以钼钢 4023 为主。中型汽车变速齿轮及后桥主、被动齿轮以含 Ni 较低的 Ni-Cr-Mo 钢种 8620、和 8720 为主,重型汽车齿轮采用含 Ni 较高的 Ni-Cr-Mo 钢 4320 和含 Mo 较高的 Ni-Cr-Mo 钢 8822。个别重型汽车齿轮采用 Ni-Cr-Mo-B 钢 94B17。

英国:仍使用传统的 Ni 钢,如轻、中型汽车采用 Ni-Mo 类的 EN35 钢、Ni-C 类的 EN36 钢和 Ni-Cr-Mo 类的 EN352。重型汽车则采用含 Ni-Cr-Mo 较高的 EN355。

表 1 国外齿轮钢化学成分

钢号	C	Si	Mn	P≤	S≤	Cr	Ni	Mo	其它
SCM415	0.13~0.18	0.15~0.35	0.60~0.85	0.030	0.030	0.90~1.20	≤0.25	0.15~0.30	Cu≤0.30
SCM420	0.18~0.23	0.15~0.35	0.60~0.85	0.030	0.030	0.90~1.20	≤0.25	0.15~0.30	Cu≤0.30
SCr420	0.18~0.23	0.15~0.35	0.60~0.85	0.030	0.030	0.90~1.20	≤0.25	-	Cu≤0.30
SNCM420	0.17~0.23	0.15~0.35	0.40~0.70	0.030	0.030	0.40~0.65	1.60~2.00	-	Cu≤0.30
8822	0.20~0.25	0.15~0.35	0.75~1.00	0.035	0.040	0.40~0.60	0.40~0.70	0.30~0.40	-
8620	0.18~0.23	0.15~0.35	0.70~0.90	0.035	0.040	0.40~0.60	0.40~0.70	0.15~0.25	-
4320	0.17~0.22	0.15~0.35	0.45~0.65	0.035	0.040	0.40~0.60	1.65~2.00	0.20~0.30	-
4023	0.20~0.25	0.15~0.35	0.70~0.90	0.035	0.040	-	-	0.20~0.30	-
EN35	0.20~0.26	0.15~0.35	0.35~0.75	0.035	0.015~0.04	-	1.50~2.00	0.20~0.30	-
EN352	0.14~0.20	0.15~0.35	0.60~0.90	0.035	0.015~0.04	0.60~1.00	0.85~1.25	-	-
14NiCr10	0.10~0.17	0.15~0.35	0.40~0.70	0.035	0.035	0.55~0.95	-	2.25~2.75	-
14NiCr18	0.10~0.17	0.15~0.35	0.40~0.70	0.035	0.035	0.90~1.30	-	4.25~4.75	-
14MnCr5	0.14~0.19	0.40	1.00~1.30	0.035	0.035	0.80~1.10	-	-	-
20MnCr5	0.17~0.27	0.40	1.10~1.40	0.035	0.035	1.00~1.30	-	-	-
ZF	0.18~0.21	0.15~0.40	1.00~1.30	0.030	0.035	0.80~1.10	-	-	B 0.001~0.003

德国:重型汽车主要采用 14NiCr10、14NiCr4 和 14NiCr18 钢。轻、中型汽车目前以 ZF 系列逐步替代 Mn-Cr 系列钢 16MnCr5、20MnCr5 等。

国外广泛使用的渗碳齿轮钢成分见表 1。

1.2 国内汽车齿轮钢的应用状况

1.2.1 传统齿轮钢

我国汽车行业使用的齿轮材料,多年来主要沿用前苏联用钢系列。二十世纪六十至七十年代,为节省 Cr、Ni 资源,我国研究了 B 钢以及 Si-Mn、Cr-Mo、Cr-Mn 系钢。近五年来还研究了易切削钢、渗氮用钢。由于品种繁多,有的因热处理或冶炼造成材料性能不佳,给生产带来了一定的困难。进入八十年代,为了适应汽车齿轮国产化的需要,在消化吸收国外先进技术的基础上,参照国外技术标准和引进产品的实际水平,我国汽车齿轮钢又相继增加类似于美国、日本、德

国等国齿轮钢的钢种,开发出了 20MnCr5、16MnCr5、SCM415、SCM420、SCM415H、SCM420H、21NiCrMo5H、20MnCr5CaB(相当于德国的 ZF7 钢)等新钢种;同时开展了这些钢种的基础性能,锻造毛坯热处理工艺、齿轮零件的热处理工艺实验研究,并在提高齿轮钢纯净度方面做了大量工作,获得了可靠的数据。1987 年以来,我国各特殊钢厂向汽车行业提供国产化齿轮钢数千万吨。由于新型齿轮钢价格过高,用户不易接受;另外冶炼后续工序中需进行相应的调整和改造,对有的材料研究尚欠深入。因此,对于引进齿轮钢的推广应用还存在很大的障碍。

我国目前汽车行业用得最多的仍是 20CrMnTi,其次是 20Cr,20CrMo,20CrMnMo 钢,部分工厂直接引进国外钢材制造齿轮,但价格昂贵。国内汽车渗碳齿轮钢成分见表 2。

表 2 国内齿轮钢化学成分

钢号	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	其它
20MnVB	0.17~0.23	0.17~0.37	1.20~1.60	0.30	0.37	-	0.07~0.12	B 0.005~0.0035
20Cr	0.18~0.24	0.17~0.37	0.50~0.80	0.70~1.00	0.30	-	-	-
20CrMo	0.17~0.24	0.17~0.37	0.40~0.70	0.80~1.10	0.30	0.15~0.25	-	-
20CrMnMo	0.17~0.23	0.17~0.37	0.90~1.20	1.10~1.40	0.30	0.20~0.30	-	-
20CrMnTi	0.17~0.23	0.17~0.37	0.80~1.10	1.00~1.30	0.30	-	-	Ti 0.04~0.10

1.2.2 引进钢种

在后桥主、被动轮齿轮方面,引进钢种中主要有 Ni-Cr-Mo、Cr-Mo 和 ZF 系列的 SAE4320H、21NiCrMo5H、ZF7、SCM822H 等钢种。Ni-Cr-Mo 钢的齿轮经热处理后具有高的强度和良好的韧性,抗压能力强,且质量易于保证。只要热处理工艺合理,不导致心部硬度过高,则使用性能较佳。

在变速箱齿轮方面,对于 Mn-Cr 系列钢,由于强韧性配合差,晶粒易长大,容易出现质量问题。根据国内厂家的现有经验,大批应用该系列钢还存在很大的困难。采用日本汽车工业常用的 Cr 钢、Cr-Mo 钢系列则比较适宜。对于承载小、精度要求高且主要要求耐磨性的零件,可以引进含碳量低,变形小的 SCr420H、SCM415H 等。对于承受载荷较高、用于传递发动机扭矩的零件,主要考虑疲劳性能,则可引进 SCM420H。德国的 ZF 钢性能好,合金元素简单且价廉,有推广前景。但由于此类钢含硼,对硼的强化机理还不完全清楚,需要进一步开展理论和应用研究。

国产重型汽车齿轮钢基本上沿用前苏联牌号。在过去很长时间内,一直长期使用 20CrMnTi 钢,不仅品种单一,而且钢材成分波动范围大,淬透性带宽,夹杂物多,造成齿轮热处理变形大,寿命低。随着国外先进车型的引进,各种齿轮钢的国产化使我国的齿轮钢水平上了一定的台阶。目前,对于德国的 Cr-Mn 系钢,日本的 Cr-Mo 系钢和美国的 SAE86 系列钢已逐步实现国产化,基本上满足了国内中小模数汽车齿轮钢的需求。

根据国内重型汽车的使用现状,超载使用和路况较差这两个问题较为严重,而且短期内无法克服,这就使齿轮经常承受较大的过载冲击载荷,而过载往往造成齿轮早期失效。同时,Cr-Mn 和 Cr-Mo (SCM420H、SCM822H 钢)的强韧性已不能满足大模数重负荷汽车齿轮性能要求。因此,应重新选择和开发新的齿轮钢种及推广应用 Cr-Ni 或 Cr-Ni-Mo 系钢。参照国内牌号分析,选择美国的 20CrNi2Mo 和德国的 17CrNiMo6 钢作为大模数重负荷汽车齿轮新材料当更为有效。

目前国内新型齿轮钢 20CrNi2Mo 是针对大功率发动机的使用而开发的轿车用汽车齿轮钢,可以用于汽车变速箱中的关键重载齿轮。开发了新型 20CrNi2Mo 齿轮钢及其热处理工艺等,并应用于 2000 型长江车的变速箱齿轮,可以替代进口的 TL-VW4521 钢。这种新型齿轮钢还可推广应用于中、高

档轿车齿轮及工程机械中的高应力重载齿轮。

该项目主要技术指标为:

渗透性:J10 = 36 ~ 44 HRC; 力学性能:BG 状态 $\sigma_b = 550 \sim 650$ MPa; 冷、热加工性能优良,渗碳、淬火性能优良。

2 汽车齿轮渗碳热处理工艺概述

2.1 国外动态

热处理是齿轮质量控制过程中的一个关键工序。齿轮的许多关键特性要通过热处理来实现。热处理的质量直接影响齿轮的齿面啮合和使用寿命。目前,世界上汽车齿轮生产所采用的热处理工艺主要是气体渗碳。这种常用的渗碳工艺,国外通过计算机不仅可以控制渗碳层层深和表面硬度,而且还可控制表面含碳量、组织中的碳化物及残留奥氏体的形态、分布以及表层硬度梯度等,从而可以得到最佳的渗碳层质量和最小的变形,提高了产品的质量。碳氮共渗工艺由于渗层组织性能不易控制稳定,只有少数小模数低负荷的齿轮才允许采用。目前,许多渗碳技术的新工艺正在发展之中,最近将高压气淬的真空与等离子渗碳工艺应用于汽车齿轮加工行业,获得了很大的成功。

真空渗碳与离子渗碳工艺,一般压力在 200 ~ 3000 Pa 之间。渗碳气体是甲烷和丙烷。在真空热处理中一般选择丙烷,因为在相同的渗碳温度下它更容易分解。低压渗碳最引人注目的一项主要优点是无氧处理介质使得渗碳零件不会产生内氧化。由于设备能做到提高渗碳温度,从而也缩短了处理周期。低压渗碳可显著减少气体消耗量和排放量,不需要火帘,点燃器和排气装置,在空载时可以停炉;更短的加热和降温时间使系统能获得最大的利用率。德国 ALD 在渗碳钢硬化上用气淬取代油淬,其心部硬度高于油淬。这种热处理工艺一般用来生产高档车齿轮。

2.2 国内情况

我国汽车齿轮的质量与先进国家的同类产品相比,差距较大,平均使用寿命仅及其一半左右,且单位产品的能耗大,劳动生产率低。要提高汽车齿轮的质量,除了选材合适之外,必须对热处理工艺进行严格规范,并且努力创新,广泛采用新技术、新工艺和新设备。

设备是工艺的基础,齿轮热处理的质量在很大程度上需要热处理设备来保证。齿轮热处理对设备

温度和碳势的控制精度、炉内温度和气氛的均匀性以及淬火油的搅拌、循环等都要求较高。温度和碳势的控制误差大、炉内温度和气氛不均匀,将导致淬火变形加大等缺陷,严重时将造成齿轮报废。由于我国热处理设备技术落后,相当一部分渗碳炉不能进行碳势自动控制,产品表面碳浓度波动大,渗碳齿轮质量差,生产效率低、能耗大、成本高。目前国内气体动态软件在渗碳炉上的应用虽已获得成功,但控制水平和国外还存在着一定的差距。“八五”和“九五”期间各大汽车企业和零部件厂大量成套引进了热处理设备,大大提高了渗碳齿轮的质量。在对齿轮渗碳层的工艺测量方法上,我国现行标准规定用金相法测量总层深,这种方法不能直观地反映出淬硬层的硬度分布情况,国际上通用的是用硬度法测量渗碳层有效淬硬层深。目前有些大企业已开始使用硬度法,并正在逐渐推广。

2.3 齿轮热处理工艺研究进展

随着我国汽车生产朝高质量、大批量方向发展,各汽车制造厂也越来越重视汽车齿轮锻坯的预先热处理。现代化的大批量生产,要求齿坯在热处理后能获得均匀的组织 and 硬度,以保证获得良好的切削加工性能,稳定的淬火变形规律。

合金渗碳钢(如汽车齿轮)锻造毛坯一般均经正火处理,目的是调整钢件的显微组织和硬度,改善其切削加工性能,并为渗碳淬火作好组织准备,以减少淬火变形。但是,近年来,随着齿轮新材料的开发、齿轮材料的多样化和对齿轮质量的高标准要求,正火工艺常常难以满足生产的实际需要,尤其是大功率发动机的问世,促进了新型 Cr-Ni-Mo 系列钢的开发和应用,使锻后热处理工艺的研究显得更为重要和迫切。

正火时,钢的组织转变是在连续冷却过程中、即一定的温度范围内进行的,所得到的组织不均匀,而且批量正火时,锻坯往往成堆在空气中冷却或吹风冷却,其冷却速度易受其在堆中的位置及周围环境的影响,造成同批零件的硬度波动较大,同时又会增大渗碳淬火时的变形量。当材料中的 C、Mn、Mo、Cr 等元素含量较高时,正火后的金相组织常有粒状贝氏体组织出现,使得零件正火后的硬度高,造成不良品。为了降低硬度,常采用高温回火,这样虽然保证了锻件硬度,但因组织中的贝氏体不能完全消除,且贝氏体组织回火转变产物的弥散度较高,零件切削性能不好。为达到产品需要的硬度,需进行二次加热回火,明显加大了热处理的能耗和工艺成本。

为解决渗碳钢冷加工性能不良的问题,获得良好的金相组织和合适的硬度,寻求一种最佳的预备热处理工艺是很有价值的。某齿轮厂从 20 世纪末就采用等温退火代替原来的正火工艺。实践表明,等温退火后的齿坯具有良好的切削加工性能,能够减少刀具的磨损,延长刀具的寿命。另外也能不同程度地稳定零件最终热处理的淬火变形。

目前,国外汽车生产厂家对齿轮锻坯普遍采用等温退火处理,对不同的材料规定了不同的等温退火工艺。国内外的生产实践表明,经等温退火处理的齿轮不仅机加工性能大大提高,而且渗碳淬火后的变形也明显减少。

2.4 齿轮热处理技术的发展趋势

1) 研究开发新型齿轮用钢,如 20CrNi2Mo、17CrNiMo6。

2) 研究开发齿轮热处理新工艺,如直升式渗碳技术,齿轮锻坯等温退火工艺,齿轮渗碳预氧化处理工艺、低压(真空)渗碳技术、催渗渗碳技术、齿轮淬火控制冷却技术。

3) 齿轮热处理先进设备的研制和发展。

4) 齿轮热处理变形与控制技术研究及精密齿轮热处理技术。

5) 开发齿轮成形新工艺。

6) 在应用渗碳齿轮钢的新材料中,采用齿轮喷丸强化技术,或采用齿轮电抛光修形处理技术,可以大大提高齿轮的抗疲劳能力和表面耐磨性能。据此,可以开发出大模数重载齿轮。

综上所述,近年来,随着我国汽车行业新产品的开发,国内目前使用的齿轮用钢已远不能满足性能要求,优质汽车渗碳齿轮用钢的开发和应用势在必行。因此,对汽车渗碳齿轮新材料的与热处理工艺的研究具有很大的现实意义,它将推动汽车渗碳齿轮技术的进步和发展。

参 考 文 献

- [1] 刘云树等. 汽车齿轮用渗碳钢的发展现状及前景[J]. 汽车工艺与材料, 1998, (9): 1-4.
- [2] 欧阳玺. 我国汽车齿轮热处理生产现状与国外的差距及今后的发展方向[J]. 中国机械工程学会热处理学会第四届年会论文集, 1991: 275-281.
- [3] By Daniel W. Mocerdy. Desktop computer simulation of atmosphere carburizing[J]. Heat treating. July 1990: 26-29.
- [4] 赵振东. 新渗碳工艺试验[J]. 国外金属热处理, 1999. 2: 2-5.

(下转第 24 页)

3 结论

3.1 2A12 铝合金镍磷镀层经 180 °C 热处理后, 硬度可达 182 HV₂₀₀ (0.025 mm) 和 164 HV₂₀₀ (0.015 mm), 比未经热处理者高 1 倍多; 比没有镍磷镀层的高 4 倍左右。

3.2 在本次试验中, 镀层厚度 0.025 mm, 经 180 °C 热处理的试样之耐磨性最好。

3.3 并非镀层越厚, 耐磨性越好。

参 考 文 献

- [1] 钱苗根主编 材料表面技术及其应用手册[M]. 机械工业出版社, 1998, 11: 198
- [2] 胡庚祥, 钱苗根主编. 金属学[M]. 上海科学技术出版社, 1980, 12: 1-2
- [3] 李鹏兴, 林行方主编. 表面工程[M]. 上海交通大学出版社, 1989, 9: 193
- [4] 朱晓云, 郭忠诚, 翟大成. 化学镀 Ni-P 合金在铝合金表面强化上的应用[J]. 中国表面工程, 2001, (1): 40-42
- [5] K.-H. 哈比希著, 严立译. 材料的磨损与硬度[M]. 机械工业出版社, 1987, 2.
- [6] K.-H. 哈比希著, 严立译. 材料的磨损与硬度[M]. 机械工业出版社, 1987, 2: 151
- [7] K.-H. 哈比希著, 严立译. 材料的磨损与硬度[M]. 机械工业出版社, 1987, 2: 39

(上接第 6 页)

- [5] 唐先敏等. 离子渗碳原理及应用[J]. 国外金属热处理, 1993, 6, 14(3): 40-43.
- [6] Dr. Fredrich Preisser. Vacuum and Plasma Carburising with High - pressure Gas Quenching[J]. Heat Treatment of Metals. 1998, 25(3): 65-71.
- [7] 孙炳超等. 气体渗碳 CAD 软件的试验验证[J]. 金属热处理, 2002, 5.
- [8] 郭应国等. 我国齿轮材料及其热处理技术的最新进展[J]. 热加工工艺, 2003, 2.
- [9] 阎承沛. 我国汽车热处理技术概况及发展趋势[J]. 国外金属热处理, 2002, 4.
- [10] 闫宇红等. 20CrNi2Mo 钢的应用范围[J]. 矿山机械, 1998(8) 68-69.
- [11] 赵德寅. 对汽车渗碳齿轮标准的论述[J]. 吉林工学院学报, 1995(3).

找检测仪器请上 [www. QCTester. com](http://www.QCTester.com) (QC 检测仪器网)

免费开商铺, 请登陆 (QC 检测网) www. qctest. cn

地址: 北京市朝阳区酒仙桥路 2 号电子宾馆旁三楼 319 室 (8502 信箱)

电话: 010-64385345 85411214 邮编: 100015

传真: 010-64374736

E-mail: qct@qctester.com qctest@163.com