

非调质钢在商用车零部件中的应用与研究

姜伟健 张光金 张光磊 朱树银 田红阳
山东德泰机械制造有限公司 山东新泰 271200

摘要: 汽车生产的不断增长,对环境造成了很大的压力,国标ISO14000提出了一种基于生命周期的环境压力评价机制对于汽车企业的考核要求更加严格。非调质钢因其特殊的加工性能,在锻造后不需要进行调质热处理,即可达到调质钢材的性能,因而可以减少能源消耗。现已广泛应用于日、美的车架和发动机锻件。文章对非调质汽车零件用钢的生产及使用状况进行了分析,并指出了改善其强度与韧性的研究方向。一般情况下,非调质钢的强度和韧性都是不够的,因此,为了满足汽车行业的需求,必须通过改善非调质钢的韧性来满足汽车行业的需求。

关键词: 非调质钢;商用车零部件;应用与研究

Application and research of non - tempered steel in commercial vehicle parts

Weijian Jiang, Guangjin Zhang, Guanglei Zhang, Shuyin Zhu, Hongyang Tian
Shandong Detai Machinery Manufacturing Group Co., Ltd. Xintai, Shandong, 271200

Abstract: The increasing production of automobiles has put great pressure on the environment. The national standard ISO14000 puts forward a kind of environmental pressure evaluation mechanism based on the life cycle, which has more strict requirements for the assessment of automobile enterprises. Because of its special workability, the non-tempered steel can achieve the performance of tempered steel without quenching and tempering heat treatment after forging and firing, so the energy consumption can be reduced. It has been widely used in frame and engine forgings in Japan and the United States. This paper analyzes the production and use of non-tempered steel for automobile parts and points out the research direction of improving its strength and toughness. In general, the strength and toughness of untempered steel are not enough. Therefore, in order to meet the needs of the automobile industry, it is necessary to meet the needs of the automobile industry by improving the toughness of non-tempered steel.

Keywords: non-tempered steel; commercial vehicle parts; application and research.

引言:

随着经济的逐渐发展,人们对于汽车的要求也在逐渐改变,改善汽车安全的呼声愈演愈烈,环保、节能、低成本的汽车零部件已成为汽车发展的必然趋势。热锻汽车包含了连杆、曲轴、半轴、前轴等主要零部件,由于其工作特性,使其在强度、韧性、抗弯曲疲劳、耐腐蚀、加工等方面具有良好的性能指标。传统的汽车零部件是用中碳钢条做毛坯,通过热锻后再调质,以此达到改善产品的强度与韧性的目的,然而工序多、周期长、污染重,间接使得成本高、效率变低是其不足之处,此外部件淬透性不够,调质后零件芯部强度与韧性都易不达标。而非调质钢则能够解决调质钢在此方面的不足之处,其经热锻后无需调质处理就使强度达标,并且与

调质钢的性能基本相同,特别是在大截面锻件的表面和中央的硬度均匀性方面,不能与调质钢相比。因此,很多汽车零部件都可以采用锻压状态的非调质钢来替代调质钢。

1 非调质钢特性概述

微合金非调质钢以其优良的性能、高效、等优点因此被称为“绿色钢”,深受国际先进国家的喜爱。欧洲、日本和北美等国家的汽车,大部分锻均采用是不调质钢。非调质钢具有使微合金化合元素如锯、钛、钒等元素与碳、氮等非金属元素具有较强的亲合力的特点,从而使其在过冷的奥氏体中沉淀,从而产生弥散增强效应。在工艺上,通过对初锻温度、终锻温度、冷却速率的严格控制,能够获得具有细化晶粒的铁素体和珠光体等组

织,使其达到与调质钢材热处理后相同的力学性能,使传统调质钢锻后热处理工序得以减除,使生产效率得以提升,材料利用率与产品合格率更高,降低成本。同时,对于改善LCA指数也具有显著的贡献。

2 国内外汽车零部件用非调质钢的现状

2.1 无调质钢在我国汽车零件制造中的应用

我国汽车业的技术引进与合资,促进了新型材料的推广。在引进的过程中,部分关键部件采用了国外的相关标准,从而导致了大量的国产材料。我国在经历了几年的设备改造与施工后,现已形成了转炉流程与电炉流程两条不同的非调质钢生产工艺。近几年,三大钢铁公司通过长时间的研发,研发出了汽车零件用的非调质钢,提高了产品的品质,有些产品已达到了世界领先水平。

2.2 无调质钢在我国汽车零件中的应用

目前,国内主要开发利用的非调质钢为:铁素体/珠光体、贝氏体型、马氏体型等,而在此之中,汽车工业利用非调质钢最为广泛。根据不完全的数据,每年使用的非调质钢约为20-25万吨,而汽车业每年使用的钢材约为10-15万吨。在众多非调质钢中,铁素体/珠光体非调质钢在开发利用之处主要用于汽车发动机曲轴等部件,现在已经延伸到了其它的汽车部件上。目前,我国曲轴用F/P非调质钢主要有48 MnV、38 MnVS、38 MnSiV、49 MnVS3等,其同样可用于摩托车曲轴、货车曲轴。其中,非调质钢应用最多的是各类汽车发动机连杆,其使用量占我国非调质钢产量的近半数。其它非调质钢汽车零部件的制造及应用也体现在非调质钢汽车半轴、汽车发动机油泵驱动、凸轮轴等方面。

马氏体形非调质钢因其优异的韧性和良好的强韧性而被广泛应用于汽车连杆等部件的制造。低碳马氏体高强度、高韧性、无调质钢已经在实验室中得到了广泛的应用。目前,国内研制的马氏形非调质自回火钢,已经在汽车水泵轴的制造中得到了应用。

2.3 非调质钢在国外的应用与发展

第二次石油危机之后,德国蒂森公司首次研制出49MnVS3非调质锻钢,替换调质50钢进行汽车曲轴的生产,使铸件的成品率、切削性能、疲劳性能得到改善,从而大大降低了生产成本。英国钢铁公司之后研发了Vanard系列的热锻钢;法国SAFE公司研制出800~1000兆帕的METASAFE钢;日本近几年来对非调质钢材的研究最积极,在国际上处于领先地位,而新日铁、神户、爱知、山扬特种钢等都已形成了自己的非调质钢材系列^[1]。

热锻用的非调质钢(铁素体+珠光体)是一种常用的结构钢,由于其强度高、价格便宜,因此被广泛地用于替代45, 40 Cr, 40 MnB, 等结构钢材中;日本现有

的汽车生产中,75%的连杆和90%的曲轴使用了非调质钢材;瑞典的沃尔沃公司每年生产的汽车零部件大约是25000吨。

在节约能源和降低成本的过程中,非调质钢材可以节省约6%的热处理成本。德国人认为,用49 MnVS3钢作为连杆,可以节省38%的总造价;日本爱知公司认为,未调质钢因省略调质工艺,可减少18%的热锻制品成本。

汽车锻件专用钢材的传统生产方法是:全断、热、锻、热处理、机加工。特殊钢在经过高温锻烧后,其强度会降低,在锻打后需要进行热处理和调质,故又称其为调质钢。为了进行调质处理,通常的锻压工厂都设有大型的热处理车间,这是一种高成本、高污染、需要大量人手的热处理工序。日本的热处理质量调质费是每吨250美元,相当于30%的钢铁成本。在国外,由于人力、能源、电能等方面的高成本,使得热处理在整个生产过程中所占的比重逐渐增加。日本新日铁、丰田、日产等汽车企业,为了改善其加工工艺和降低生产成本,研制了一种新型的非调质钢材。

日本非调质钢材与调质钢材相比,无需调质。适用于轴类和冷加工的工件。公司主要生产汽车前轴、曲轴、转向节、半轴、转向臂和用于冷冲压的螺栓、螺母等。目前日本80%以上的汽车生产厂家已经开始使用非调质钢材,大部分的汽车生产厂家已经全部淘汰。日本2004年的汽车专用钢材数量为319万吨,其中2040,000吨是非调质钢材,占64%^[2]。

3 非调质钢在汽车零件中的应用研究

传统非调质钢为在中碳钢中加入V、Ti等元素,经过锻压控制冷却,在铁素体+珠光体(铁素体+珠光体)中分散析出碳氮化物,从而达到增强的目的,从而在轧制后(锻后)不需要进行调质处理,从而达到同样的机械性能。之后开发的低碳贝氏体和低碳马氏体非调质钢的强度、韧性均高于常规无调质钢,经调质处理后,其强度、韧性均能达到。

针对铁素体/珠光体微合金非调质钢的韧性差,一般采取如下措施:(1)降低碳含量,提高材料的冲击韧性;(2)利用微钛工艺对V型非调质钢进行细化。再对晶内铁素体进行淬炼,改善其韧性;(3)利用贝氏体非调质钢材;(4)利用非调质钢的马氏体。

3.1 减少含碳量和提高硅量

通过减少碳含量、提高硅含量等措施,可以改善非调质钢的韧性。碳的减少会使钢材的强度下降,可以采取提高钢中锰的含量来补偿。

3.2 晶粒细化及晶内铁素体技术

细化晶粒能有效提升钢材的延展性,并保持较高的

强度。在非调质钢中加入铝、钛等元素,使其在加热时晶粒生长和奥氏体再结晶,从而使其晶粒细化。到80年代末,新日铁公司开发出了仅有0.30%碳含量非调质钢,晶内铁素体细化技术,在一定的工艺条件下,使晶粒内部存在大量的铁素体形核,进而获得更细、更均匀的铁素体,从而大大改善了钢材的韧性。

3.3 采用贝氏体的组织

采用贝氏体组织是改善其强度与韧性的一种有效工艺。通过加入能使贝氏体转化区扩大的元素、加入微合金元素使晶粒得以细化、控制冷却速度、从而获得低碳贝氏体组织。贝氏形非调质钢具有1200兆帕左右的抗拉强度,其缺口抗冲击韧度也得到了提高。

非调质钢的拉伸强度在600-900 MPa之间。研制了一种新型的贝氏形非调质钢,以进一步改善其强度与韧性。日本三菱公司研制出贝氏体非调质钢,其化学组成为0.25% C—1.5% Mn—0.35% Cr—0.15% V,可用于锻造前轴大梁。贝氏体型非调质钢的强度和低温韧性均优于珠光/铁素体微合金^[3]。

3.4 在钢中获得马氏体组织

另外一种改善微合金非调质钢的强度与韧性的途径是在钢材中得到马氏体组织。得到马氏形非调质钢主要有两种途径:一是采用经处理后的余热直接淬火,二是利用余热控制的直接淬火工艺生产。马氏形非调质钢的抗拉强度可达到1400 MPa,其缺口冲击韧度已经接近调质钢。针对空冷钢性能差的缺陷,采用直接淬火的方法,避免了再热淬火,减少了产品的加工成本。马氏体型非调质钢是因为直接淬火后的组织是马氏体,并且部分或全部忽略了调质处理。马氏形非调质钢主要有两种:热处理后的直接淬火和直接淬火。前者通常使用原化学成份的淬火回火钢,并加入适当的微合金使其韧性得以提升。该钢材常用于螺旋弹簧、转向球、前轴以及其他转向和悬架部件的制造。直接淬火钢中往往含有较少的合金元素,但热处理工艺同样需要严格控制。

通过降低钢中的含碳量,使马氏体转变完全,并使其达到205℃,从而改善板条马氏体的自回火。当Nb的Nb(CN)颗粒不能在锻烧温度下熔融,从而抑制了Nb的再结晶和晶粒的生长。与锻件的大小相结合(最大厚度可达50毫米),在不进行后续热处理的情况下,钢材的硬度可达HRC38-43。马氏体型非调质钢相较于49MnVS3与1524 MoV有更高的韧性。马氏体非调质钢在低温条件下仍能维持高强度,-60℃时冲击韧性大于20 J。结果表明,在同样硬度(HRCAO)下,马氏体型非调质钢的韧性高于调质碳素结构钢1040和调质合金4140。中国钢铁研究院对马氏体非调质钢的低C-Mn-B系列钢进行相关的试验研究^[4]。

3.5 钒氮复合与钒氮锯复合强化理论及晶内形核技术
非调质钢的强化机制是利用V(C, N), Nb(C, N)等成分的扩散增强,在普通锻烧温度(1200-1250℃)时,钒的碳氮化物可以完全溶解,加入能加速V(C, N)化合物的沉淀,对非调钢的强化效果非常明显。氮添加量通常为100 ppm,在确保其强度的前提下,可以减少添加钒,从而进一步降低生产成本。大量的试验证明,在钢中加入氮肥可以节省20%-40%的钒。在钢中,氮气通过钉扎奥氏体-铁素体晶界的沉淀,使奥氏体-铁素体转变速率增加,使铁素体组织得到细化。同时,氮化也能改善氮化钛沉淀粒子的稳定性,并能有效地抑制奥氏体晶粒的生长。

3.6 MnS夹杂物形态控制

为了改善非调质钢的切削性能,可以将硫的比例适当地加入到合金中,硫常常以硫化物的形式参与,如:MnS等。MnS的尺寸、形状以及分布对于钢材的性能也存在着影响。在钢液凝固时,S型MnS在晶界沉淀并富集,形成应力集中的来源,促使晶界滑移,出现微观裂缝,因此,硫化物对钢材的可塑性有很大的影响,此外MnS在轧制后会以长条状进行分布,这在一定程度上影响了其切削性,从而使其具有不同的力学性质,从而降低冲击韧性,降低其应用前景。在熔炼过程中,通过加入Ca能一定程度上减少MnS的含量,或利用减少加热速度或延长其在高温阶段的停留时间,形成球状、纺锤状等,从而提高钢材的各项性能,满足使用要求^[5]。

4 结语

近几年,由于生产成本不断下降,市场竞争能力不断增强,非调质钢由于其自身特性具有节能、环保等优势,因而采用非调质钢替换耗电耗能更高的调质钢来进行汽车零部件的制造是汽车工业发展的必然要趋势。然而,非调质钢目前的强度较大,但韧性较差,因此,改善其韧性以达到主机厂的要求已成为非调质钢生产中的一个关键问题。为改善微合金非调质钢的韧性,冶金科研人员开展了一系列新工艺,以完善其产品系列。

参考文献:

- [1] 缪桃生, 蒋鹏. 非调质钢在汽车曲轴、连杆锻件上的应用研究[J]. 锻压技术, 2010, 35(6): 1-5.
- [2] 魏元生. 非调质钢在汽车零部件上应用的可行性分析[J]. 热加工工艺, 2014, 43(14): 78-82.
- [3] 李新平, 赵韩飞, 熊剑, 姚孝寒, 高原. 微合金非调质钢在汽车零部件生产中的应用[J]. 中国金属通报, 2020(20): 117-118.
- [4] 唐宏伟, 王敢利, 邹敏华, 徐卉. 新型非调质钢在重型载货汽车前轴的应用研究[J]. 汽车工艺与材料, 2015, 0(8): 1-49.