

面向绿色制造的干式齿轮加工过程碳排放分析

李先广^{1,2} 杨 勇¹ 李聪波² 陈 鹏^{1,2} 曹华军²

1. 重庆机床(集团)有限责任公司,重庆,400055

2. 重庆大学机械传动国家重点实验室,重庆,400030

摘要:为了研究干式切削齿轮加工过程碳排放特性,对齿轮加工过程的物料、能源消耗、废物处理及碳排放特性进行了分析,提出了齿轮加工过程碳排放边界条件,建立了齿轮加工过程碳排放计算模型;根据某制造企业提供的数据,将同批次齿轮的绿色干式切削和湿式切削加工过程的碳排放量进行计算与对比分析,结果显示,与湿式切削相比,干式切削齿轮加工过程碳排放总量约少 55.69%,废弃物处理碳排放量少 15.57%,表明面向绿色制造的干式齿轮加工的能源消耗、成本费用较低且环保,高速干式齿轮加工技术将成为未来齿轮制造业发展的主要趋势。

关键词:绿色制造;齿轮;干式加工;碳排放

中图分类号:TH17

DOI:10.3969/j.issn.1004-132X.2014.16.010

Analysis of Carbon Emission in Gear Dry Machining Process for Green Manufacturing

Li Xianguang^{1,2} Yang Yong¹ Li Congbo² Chen Peng^{1,2} Cao Huajun²

1. Chongqing Machine Tool(Group) Co., Ltd., Chongqing, 400055

2. The State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing, 400030

Abstract: To study the characteristics of carbon emission of gear dry machining process for green manufacturing, the materials, energy consumption, waste treatment and carbon emission were analyzed. The boundary conditions of carbon emission were proposed for the gear machining process, and a calculation model for carbon emission was constructed. According to the data of a manufacturing enterprise, the carbon emission of gear dry and wet machining process were calculated. The contrast analyses show that the carbon emission of gear dry machining process is 55.69% and lower than wet cutting, and the carbon emission value of waste treatment process in dry cutting is 15.57% and lower than wet cutting. The analyses validate that the energy consumption and cost of dry machining are relatively lower, and the high-speed dry-cutting gear technology will become the main trend of future development of gear manufacturing industries.

Key words: green manufacturing; gear; dry machining; carbon emission

0 引言

随着齿轮机床制造技术的发展,普通湿式滚齿加工机床发展到了绿色高速干切滚齿机,出现了新的切削工艺和加工方法以及成套绿色智能齿轮加工等先进技术^[1-5]。同时,国家对装备制造业提出了转型升级和可持续发展的要求,相应地对齿轮加工效率、加工成本、绿色环保及健康加工方面的要求也愈来愈高,因此,机床制造及齿轮加工过程碳排放量指标越来越受到重视^[6]。

国内外制造业在提升效率、降低成本的同时,特别注意齿轮加工过程中的环境保护、清洁加工及操作者健康等问题。美国 GLEASON 公司、德

国 LIEBHERR 公司等近年来将具有绿色特性的齿轮加工机床作为产品研发的重要方向,并形成了一种新的竞争优势,其产品特点主要表现为全数控、高速高效、绿色净化及全护罩防护等,特别是高速干式齿轮加工机床将逐步成为主流^[7-9]。重庆机床(集团)有限责任公司也成功地研制出高速干切齿轮机床。随着国家对装备制造业及高新技术的投入与支持,齿轮加工机床制造及齿轮加工工艺设计中的绿色环保特性将成为齿轮制造业应用研究与发展的重点。

近年来,我国经济高速增长,各工业产业快速发展,温室气体排放快速增长,在 2009 年哥本哈根世界气候大会上,我国率先提出到 2020 年碳排放强度相对于 2005 年减少 40%~45% 的承诺指标,减排压力非常大。齿轮加工制造业作为我国制造业能源消耗大户,将成为减排任务的主要对象^[10]。因此,研究齿轮加工过程能源消耗和碳排放特征,对我国减排任务的实施有重要作用,并对

收稿日期:2012-11-23 修回日期:2014-06-24

基金项目:国家自然科学基金资助重点项目(51035001);国家自然科学基金研究发展计划(863 计划)资助项目(SS2012AA040107);重庆市“百名工程技术高端人才”项目;重庆市“科技创新领军人才”项目;重庆市科技人才培养计划(新产品创新青年科技人才)资助项目(cstc2013kjrc-qncr70001)

我国齿轮制造业的发展有参考价值。

为了揭示碳排放规律,国内外众多学者对产品零部件制造过程中的碳排放问题进行了大量研究,取得了一些成就,制定出了减排策略^[11-12],但这些研究仅从产业层面出发,探究其碳排放特性。不同工业产业结构的碳排放效应差异较大,需要对齿轮加工过程能源消耗与碳排放进行进一步的研究与分析,为此,本文对某企业某型号高速干式齿轮加工机床齿轮加工过程中的物料消耗、能源消耗、废物处理及碳排放特性进行分析,建立齿轮加工过程碳排放模型,提出碳排放动态量化方法,并根据企业提供数据,展开某批次齿轮的绿色干式切削和普通湿式切削加工过程碳排放量研究。

1 干式切削齿轮加工过程碳排放分析

齿轮加工中,钢材齿坯原材料,其他辅助材料与物料,以及电、气等能源与材料的消耗将产生废弃物排放(废屑、废液、废气等),不可避免地会产生碳排放。为了深入研究干切滚齿机切削齿轮全过程的能源消耗及碳排放规律,须对齿坯制作与齿轮切削过程碳排放特性及边界条件进行分析。

1.1 齿轮加工过程碳排放特性

1.1.1 齿坯制备过程的碳排放

齿坯制备过程需要消耗物料和能源,主要有钢、铸铁和一些辅助材料,如锻造、机械加工及热处理过程要消耗刀具材料以及电、气、煤、油等资源,会产生碳排放。

齿坯干切加工单元主要能源消耗为电能。电能使用过程中的碳排放为零,而齿坯切削与机械加工过程中所消耗的化石能源将产生直接碳排放。

齿坯热处理工艺中,加热工序耗能最多,主要有电能、天然气、燃油、压缩空气等能源消耗,会产生碳排放。图1为齿坯制作过程流程示意图。



图1 齿坯制作过程流程示意图

1.1.2 齿轮切削加工过程碳排放

随着齿轮加工机床绿色特性与资源环保理念的提出,具有全数控、高速高效、绿色净化及全护罩防护等功能的干切滚齿机将逐渐得到广泛应用。由于高速干切滚齿机滚齿过程中未采用冷却液,滚刀与齿坯发生摩擦磨损会产生大量飞溅的火花与白烟,将产生大量碳排放。另外,齿轮制造、加工、剃齿、热处理及机械加工等过程中要消耗电、气及油等能源,也会产生碳排放。因此,在高速干切滚齿机齿轮加工过程中,碳排放越多,机床能耗越多,机床发热量就越大,机床热变形就越明显。图2为齿轮加工过程流程示意图。



图2 齿轮加工过程流程示意图

齿坯及齿轮加工过程中会产生废水、废气及固体废弃物,这些废弃物的排放与处理均会产生碳排放,将严重影响生态环境,为了降低或减少其危害性,须对齿轮加工过程碳排放进行深入分析。

1.2 齿轮加工过程碳排放边界条件

干式切削齿轮加工中,各种物料输入与输出、能源转换与消耗、废弃物排放与处理等过程都会产生大量碳排放。齿轮加工过程的碳排放边界可设定为从齿轮原材料输入到齿轮产品输出的整个过程,如图3所示。齿轮加工全过程碳排放主要包括:能源开采、物料机械加工、热处理及切削加工阶段的碳排放,齿轮加工各工艺过程中涉及的化石燃料燃烧产生的碳排放,废物处理需消耗额外的能源和物料产生的碳排放。

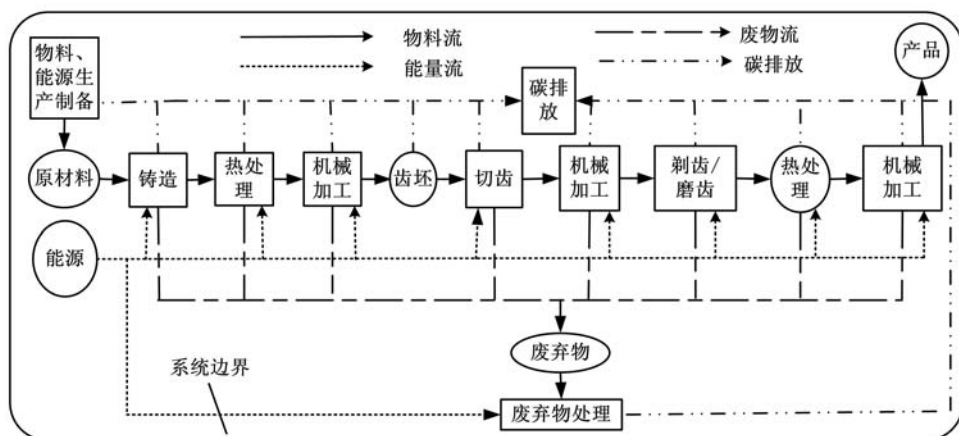


图3 齿轮加工过程碳排放边界图

2 齿轮加工过程碳排放量计算模型

在对干切式齿轮加工过程碳排放特性进行分析的基础上,根据齿轮加工过程中各物料流、能量流、废物流及碳排放情况,建立齿轮加工过程碳排放量化模型。

2.1 齿轮加工过程的物料、能源消耗和废弃物产生情况

齿轮加工消耗的物料主要为齿坯原材料、各种辅助材料,消耗的能源为电、油、天然气等。各类物料 $i(i=1,2,\dots,n)$ 和能源 $k(k=1,2,\dots,N)$ 按生产需要进入齿坯准备与齿轮切削车间,经锻造成形、热处理、机械加工、滚齿加工及车削加工等车间的依次加工最终加工出齿轮成品,每个过程中各车间均要排放废弃物 $l(l=1,2,\dots,r)$ 。

齿轮加工中,经过车间 $j(j=1,2,\dots,m)$ 产生的物料和能源消耗以及废弃物量分别用 $M(i,j)$ 、 $E(k,j)$ 、 $W(l,j)$ 表示。在加工时间段 T 内,齿轮加工过程消耗的物料、能源以及排放的废弃物总量可分别表示为

$$M_T = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n M(i,j) \quad (1)$$

$$E_T = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^N E(k,j) \quad (2)$$

$$W_T = \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^r W(l,j) \quad (3)$$

其中, n, N, r, m 均为自然数。

2.2 齿轮加工过程碳排放量化

根据齿轮加工过程中物料、能源消耗情况和废弃物产生情况,对其加工过程的碳排放进行如下量化:

$$C_{ET} = C_{EM} + C_{EE} + C_{EW} \quad (4)$$

式中, C_{EM} 为消耗物料产生的碳排放; C_{EE} 为消耗能源产生的碳排放; C_{EW} 为废弃物处理过程的碳排放。

齿轮加工全过程碳排放量化与计算中,采用排放因子法^[13],其基本方程为:碳排放量 = 能源消耗量(折合为标煤) × 相应的碳排放因子 S_{CE} ($S_{CE} = t_{CO_2} / t_{CE}$, 其中, t_{CO_2} 为碳排放量(t), t_{CE} 为标煤量(t))。

2.2.1 物料碳排放计算

齿轮加工中,加工车间 j 消耗第 i 种物料产生的间接碳排放为

$$C_{EM}^{(i,j)} = \sum_{c=1}^N M(i,j) M_c^{(i)} S_{CE_c} \quad (5)$$

式中, $M_c^{(i)}$ 为生产单位物料 i 所消耗的第 c 种能源标煤量; S_{CE_c} 为能源 c 的碳排放因子。

齿轮加工过程中消耗物料 i 的间接碳排放总量为

$$C_{EM}^{(i)} = \sum_{j=1}^m C_{EM}^{(i,j)} = \sum_{j=1}^m \sum_{c=1}^N M(i,j) M_c^{(i)} S_{CE_c} \quad (6)$$

齿轮加工过程中消耗全部物料所产生的间接碳排放总量为

$$C_{EM} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n C_{EM}^{(i,j)} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{c=1}^N M(i,j) M_c^{(i)} S_{CE_c} \quad (7)$$

2.2.2 能源碳排放计算

消耗能源产生的碳排放分为两类:一是能源在制备过程中产生的间接碳排放 C_{EEP} ;二是在齿轮加工过程中消耗化石能源产生的直接碳排放 C_{EEU} ,即 $C_{EE} = C_{EEP} + C_{EEU}$,具体量化过程如下。

(1) 能源制备过程碳排放量化。齿轮加工中,加工车间 j 消耗第 k 种能源而产生的能源制备过程碳排放为

$$C_{EEP}^{(k,j)} = \sum_{s=1}^N E(k,j) Z_s^{(k)} S_{CE_s} \quad (8)$$

式中, $Z_s^{(k)}$ 为生产单位能源 k 所消耗的第 s 种能源的标煤量; S_{CE_s} 为能源 s 的碳排放因子。

齿轮加工过程中消耗能源 k 产生的能源制备过程碳排放总量为

$$C_{EEP}^{(k)} = \sum_{j=1}^m C_{EEP}^{(k,j)} = \sum_{j=1}^m \sum_{s=1}^N E(k,j) Z_s^{(k)} S_{CE_s} \quad (9)$$

齿轮加工过程中消耗全部能源所产生的能源制备过程碳排放总量为

$$C_{EEP} = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^N C_{EEP}^{(k,j)} = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^N \sum_{s=1}^N E(k,j) Z_s^{(k)} S_{CE_s} \quad (10)$$

(2) 化石能源使用过程直接碳排放量化。齿轮加工中,加工车间 j 消耗第 k 种化石能源产生的直接碳排放为

$$C_{EEU}^{(k,j)} = E(k,j) P_k S_{CE_k} \quad (11)$$

式中, P_k 为能源 k 折标煤系数; S_{CE_k} 为能源 k 的碳排放因子。

齿轮加工过程消耗能源 k 的直接碳排放总量为

$$C_{EEU}^{(k)} = \sum_{j=1}^m C_{EEU}^{(k,j)} = \sum_{j=1}^m E(k,j) P_k S_{CE_k} \quad (12)$$

齿轮加工过程中消耗全部能源的直接碳排放总量为

$$C_{EEU} = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^N C_{EEU}^{(k,j)} = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^N E(k,j) P_k S_{CE_k} \quad (13)$$

2.2.3 废弃物处理碳排放计算

齿轮加工过程产生的废水、废气及固体废弃物等需要进行处理,会消耗电能和少量化石能源。制造车间 j 排放废弃物 l 而产生的废弃物处理过程碳排放量为

$$C_{EW}^{(l,j)} = \sum_{q=1}^N W(l,j) Z_q^{(l)} S_{CE_q} \quad (14)$$

式中, $Z_q^{(l)}$ 为处理单位废弃物 l 消耗的第 q 种能源的标煤

量; S_{CE_q} 为能源 q 的碳排放因子。

齿轮加工过程中排放废弃物 l 产生的废弃物处理碳排放总量为

$$C_{EW}^{(l)} = \sum_{j=1}^m C_{EW}^{(l,j)} = \sum_{j=1}^m \sum_{q=1}^N W(l,j) Z_q^{(l)} S_{CE_q} \quad (15)$$

齿轮加工过程中排放全部废弃物所产生的废弃物处理过程碳排放总量为

$$C_{EW} = \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^r C_{EW}^{(l,j)} = \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^r \sum_{q=1}^N W(l,j) Z_q^{(l)} S_{CE_q} \quad (16)$$

3 齿轮加工过程碳排放量计算与分析

3.1 高速干切齿轮过程碳排放量

以某企业 YS3116CNC7 高速干切滚齿机(主轴功率 9.0 kW, MR510-Z251-2 型粉末冶金高速钨合金钢单头滚刀)加工 19.2 万个汽车变速器中间轴二挡齿轮(材料为 20CrMnTiH, 外径为

97.25 mm, 齿厚为 15 mm, 模数为 1.75 mm, 齿数为 46, 重约 0.665 kg)全过程(齿坯制作到齿轮产品全过程)为实例, 进行齿轮加工全过程碳排放量计算与分析。

根据实际加工工况, 对各工序物料和能源消耗情况进行统计, 得到该批次齿轮加工物料消耗数据: 钢材 160 t, 电 90 000 kW·h, 天然气 30 000 m³, 煤 40 t, 燃油/循环油/润滑油 7.2 t, 如表 1 和表 2 所示。表 3 所示为齿轮各加工工序废弃物排放情况。根据有关资料^[14-16], 可得各能源碳排放系数、排放因子及能源折标煤系数等相关换算系数与参数。由表 1~表 3 数据及第 2 节齿轮加工过程碳排放分类与量化方法, 可计算出该批次加工齿轮(19.2 万个汽车变速器中间轴二挡齿轮)所消耗物料和能源量, 以及废弃物处理过程的碳排放量, 如表 4~表 7 所示。

表 1 干式切削齿轮加工各工序物料消耗情况

车间 j		锻造	热处理	机械加工	切齿	机械加工	剃齿/磨齿	热处理	机械加工	总计
		M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8	M_T
钢材(t)	C_{E_1}	160								160

表 2 干式切削齿轮加工各工序能源消耗情况

车间 j		锻造	热处理	机械加工	切齿	机械加工	剃齿/磨齿	热处理	机械加工	总计
		E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_8	E_T
电力(10 ⁴ kW·h)	C_{E_2}	1.2	0.3	0.3	4.6	0.3	1.6	0.3	0.4	9
天然气(10 ⁴ m ³)	C_{E_3}	1.6	0.7					0.7		3
煤(t)	C_{E_4}	20	10					10		40
燃油/循环油/润滑油(t)	C_{E_5}	1	0.5		0.2		5	0.5		7.2

表 3 干式切削齿轮加工各工序废弃物排放情况

车间 j		锻造	热处理	机械加工	切齿	机械加工	剃齿/磨齿	热处理	机械加工	总计
		W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7	W_8	W_T
废水/废油(m ³)	$W^{(1)}$	60	30	10	5	10	10	30	10	165
废屑(t)	$W^{(2)}$	10	2	2	16	2	4	2	2	40

表 4 干式切削齿轮加工产生的物料制备过程碳排放量

碳排放类别	物料 i 消耗量		能耗总量(标煤)		能源 c 碳排放因子	碳排放量(t)	碳排放总量(t)
			生产过程消耗能源 c	单位物料 i 生产制备过程耗能折标煤系数			
物料制备过程碳排放 C_{EM}	钢材	160t	原煤	0.780	2.741	342.08	342.08

3.2 湿式切削齿轮加工过程碳排放量

为了便于比较分析干切与湿切机床产生的废弃物和碳排放量, 将同规格、同数量的齿坯采用湿切机床进行滚齿加工。YKS3120CNC6 滚齿机(主轴功率 12.0 kW, QR510-Z251-5 型粉末冶金高速合金钢单头滚刀)对同样批次齿轮(19.2 万个汽车变速器中间轴二挡齿轮)以喷淋冷却液方式滚切加工, 物料消耗数据如下: 钢材 160 t(湿切

与干切物料消耗相同, 见表 1), 电 24×10^4 kW·h, 天然气 30 000 m³, 煤 40 t, 燃油/循环油/润滑油 10 t, 如表 8 所示。表 9 为齿轮加工各工序废弃物排放情况。采用相同计算方法, 得到加工该批齿轮所消耗的能源量以及废弃物处理过程碳排放量, 如表 10~表 12 所示。由于湿切与干切物料消耗量相同(均是钢材 160 t), 因此湿切与干切物料制备过程的碳排放量也相同, 见表 4。

表 5 干式切削齿轮加工消耗能源产生的能源制备过程碳排放

碳排放类别	能源 k 消耗第 s 种能源的消耗量		能耗总量(标煤)		能源 s 碳排放因子	碳排放量(t)	碳排放总量(t)
			生产过程消耗能源	单位能源 k 生产制备过程能耗折标煤系数			
能源制备过程碳排放 C_{EEP}	电	90 000 (kW·h)	原煤	0.414×10^{-3}	2.741	106.31	137.37
			原油	2.06×10^{-5}	2.150		
			天然气	1.29×10^{-6}	1.642		
	煤	40 t	原油	1.23×10^{-3}	2.150	23.14	
			天然气	6.8×10^{-8}	1.642		
			电	0.071	8.112		
	天然气	30 000 m ³	原煤	0.843×10^{-6}	2.741	88.95	
			原油	3.39×10^{-5}	2.150		
			天然气	1.76×10^{-3}	1.642		
	燃油 / 循环油 / 润滑油	7.2 t	原煤	3.19×10^{-2}	2.741	28.97	
			原油	1.83	2.150		
			天然气	1.03×10^{-4}	1.642		

表 6 干式切削齿轮加工消耗化石能源产生的直接碳排放

碳排放类别	能源 k 的直接消耗量		消耗能源折标煤系数	能源碳排放因子	碳排放量(t)	碳排放总量(t)
加工过程直接碳排放 C_{EEU}	煤		40 t	0.7143	0.7476	21.36
	天然气		30 000 m ³	1.2143×10^{-3}	0.4479	16.2
	燃油 / 循环油 / 润滑油		7.2 t	1.4286	0.6167	6.34
						43.9

表 7 干式切削齿轮加工产生的废弃物处理碳排放量

碳排放类别	废弃物 l 排放量		能耗(标煤)		能源碳排放因子	碳排放量(t)	碳排放总量(t)
			废物处理过程消耗能源	处理单位废弃物能耗折标煤系数			
废物处理过程碳排放 C_{EW}	废水 / 废油	165 m ³	电	0.0045	8.112	35.18	47.92
	废屑	40 t	电	0.011	8.112	12.74	

表 8 湿式切削齿轮加工各工序能源消耗情况

车间 j		锻造	热处理	机械加工	切齿	机械加工	剃齿 / 磨齿	热处理	机械加工	总计 E_T
		E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_8	
电力(10 ⁴ kW·h)	C_{E_2}	1.2	0.3	0.3	19.6	0.3	1.6	0.3	0.4	24
天然气(10 ⁴ m ³)	C_{E_3}	1.6	0.7					0.7		3
煤(t)	C_{E_4}	20	10					10		40
燃油 / 循环油 / 润滑油(t)	C_{E_5}	1	0.5		5		5	0.5		12

表 9 湿式切削齿轮加工各工序废弃物排放情况

车间 j		锻造	热处理	机械加工	切齿	机械加工	剃齿 / 磨齿	热处理	机械加工	总计 W_T
		W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7	W_8	
废水 / 废油(m ³)	$W^{(1)}$	60	30	10	40	10	10	30	10	200
废屑(t)	$W^{(2)}$	10	2	2	16	2	4	2	2	40

由表 4~表 7 知,干切加工齿轮全过程所消耗的物料碳排放为 342.08 t;能源碳排放为 181.27 t,其中能源制备过程碳排放为 137.37 t,能源直接碳排放为 43.9 t;废弃物处理过程碳排放为 47.89 t。由以上分析及表 10~表 12 知,采用喷淋冷却液方式加工齿轮全过程所耗物料的碳排放 342.08 t(与干切方式相同,见表 1);能源碳排放为 443.84 t,其中能源制备过程碳排放为 443.85 t,能源直接碳排放为 48.12 t;废弃物处理过程碳排放为 55.38 t。

由表 13 知,高速干切产生的碳排放总量为 571.27 t,湿式切削产生的碳排放总量为 889.43 t,

高速干切产生的碳排放总量比湿式切削少将近 55.69%,主要表现在以下几个方面:①高速干切加工产生的能源碳排放比湿式切削约少 59%,这主要归因于高速干切加工所消耗的电和润滑油比湿式切削分别少 62.5%和 40%;②高速干切加工产生的废弃物处理导致的碳排放比湿式切削约少 15.57%,主要由于高速干切产生的废水/废油比湿式切削少 17.5%。由此可见,高速干切在碳排放上远远优于传统湿式切削。齿轮采用无切削液的干切加工,车间生产环境清洁,无油雾污染,保护了操作者的安全与健康。

表 10 湿式切削齿轮加工消耗能源产生的能源制备过程碳排放

碳排放类别	能源 k 消耗第 s 种能源的消耗量		能耗总量(标煤)		能源 s 碳排放因子	碳排放量(t)	碳排放总量(t)
			生产过程消耗能源	单位能源 k 生产制备过程能耗折标煤系数			
能源制备过程碳排放 C_{EEP}	电	240 000 (kW·h)	原煤	0.414×10^{-3}	2.741	283.49	443.85
			原油	2.06×10^{-5}	2.150		
			天然气	1.29×10^{-6}	1.642		
	煤	40 t	原油	1.23×10^{-3}	2.150	23.14	
			天然气	6.8×10^{-8}	1.642		
			电	0.071	8.112		
	天然气	30 000 m ³	原煤	0.843×10^{-6}	2.741	88.95	
			原油	3.39×10^{-5}	2.150		
			天然气	1.76×10^{-3}	1.642		
	燃油 / 循环油 / 润滑油	12 t	原煤	3.19×10^{-2}	2.741	48.27	
			原油	1.83	2.150		
			天然气	1.03×10^{-4}	1.642		

表 11 湿式切削齿轮加工消耗石化能源产生的直接碳排放

碳排放类别	能源 k 的直接消耗量		消耗能源折标煤系数	能源碳排放因子	碳排放量(t)	碳排放总量(t)
加工过程直接碳排放 C_{EEU}	煤		40 t	0.7143	0.7476	21.36
	天然气		30 000 m ³	1.2143×10^{-3}	0.4479	16.2
	燃油 / 循环油 / 润滑油		12 t	1.4286	0.6167	10.56

表 12 湿式切削齿轮加工产生的废弃物处理过程碳排放

碳排放类别	废弃物 l 排放量		能耗(标煤)		能源碳排放因子	碳排放量(t)	碳排放总量(t)
			废弃物处理过程消耗能源	处理单位废弃物能耗折标煤系数			
废弃物处理过程碳排放 C_{EW}	废水 / 废油	200 m ³	电	0.0045	8.112	42.64	55.38
	废屑	40 t	电	0.011	8.112	12.74	

表 13 干式与湿式切削齿轮加工的碳排放对比

	干切加工(t)	湿切加工(t)	相对误差(%)
碳排放总量	571.27	889.43	55.69
废弃物碳排放	47.92	55.38	15.57

4 结论

(1)通过对齿轮加工过程碳排放分析可知,齿轮加工过程的碳排放主要来源于其加工过程物料、能源的消耗,可通过减少物料的使用和能源的消耗而降低齿轮加工过程碳排放量。

(2)高速干式滚齿机加工齿轮全过程的碳排放总量比普通湿式切削滚齿机加工齿轮全过程的碳排放要低 55.69%,表明面向绿色制造的干式齿轮加工全过程碳排放量少,降低了齿轮加工物料、能源消耗及加工成本费用且环保性好。

(3)绿色干切滚齿机采用无切削液加工,大大减少了车间的废弃物和碳排放,并且车间无油雾污染,生产环境清洁,保护了操作者安全与健康,因而绿色干切滚齿机得到用户的青睐和广泛使用。

参考文献:

[1] 李先广,刘飞,曹华军. 齿轮加工机床的绿色设计与制造技术[J]. 机械工程学报, 2009, 45(11): 140-145.

Li Xianguan, Liu Fei, Cao Huajun. Green Design and Manufacturing Technology of Gear Cutting Machine[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2009, 45(11): 140-145.

[2] 刘飞,曹华军,张华,等. 绿色制造的理论和技术[M]. 北京: 科学出版社, 2005.

[3] 李聪波,刘飞,王秋莲,等. 面向生命周期的机床行业绿色制造运行模式[J]. 中国机械工程, 2009, 20(24):2932-2937.

Li Congbo, Liu Fei, Wang Qiulian, et al. Green Manufacturing Operation Model for Machine Tool Industry Oriented to Product Life Cycle[J]. China Mechanical Engineering, 2009, 20(24):2932-2937.

[4] 岳文辉,张华,刘德顺,等. 面向绿色制造的工艺种类选择模型及应[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2009, 24(3): 27-30.

Yue Wenhui, Zhang Hua, Liu Deshun, et al. Process Category Selection Model and Its Application for Green Manufacturing[J]. Journal of Hunan University of Science & Technology (Natural Science Edition), 2009, 24(3): 27-30.

[5] 谷振宇,刘飞,李聪波,等. 绿色制造运行模式的研究与应用[J]. 中国机械工程, 2008, 19(19): 2310-2315.

Gu Zhenyu, Liu Fei, Li Congbo, et al. Study on the Operation Pattern for Green Manufacturing and

- Its Case[J]. China Mechanical Engineering, 2008, 19(19):2310-2315.
- [6] Peters G, Weber C, Guan D, et al. China's Growing CO₂ Emissions — a Race between Increasing Consumption and Efficiency Gains[J]. Environmental Science & Technology, 2007, 41(17): 5939-5944.
- [7] 刘飞, 李聪波, 曹华军, 等. 基于产品生命周期主线的绿色制造技术内涵及技术体系框架[J]. 机械工程学报, 2009, 45(12): 115-120.
- Liu Fei, Li Congbo, Cao Huajun, et al. Green Manufacturing Technology Connotation and System Framework Based on Product Life Cycle[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2009, 45(12): 115-120.
- [8] Yeo S H, Neo K G. Inclusion of Environmental Performance for Decision Making of Welding Processes [J]. Journal of Materials Processing Technology, 1998, 82:78-88.
- [9] Weinert K, Inasaki I, Sutherland J W, et al. Dry Machining and Minimum Quantity Lubrication[J]. CIRP Annals-manufacturing Technology, 2004, 53(2): 511-537.
- [10] 程亚林. 机床制造业的节能减排[J]. 机械制造与自动化, 2011, 60(3): 60-61.
- Cheng Yalin. Energy Saving and Emission Reduction in the Machine Tool Industry[J]. Machine Building & Automation, 2011, 60(3): 60-61.
- [11] Song J S, Lee K M. Development of a Low-carbon Product Design System Based on Embedded GHG Emissions[J]. Resources Conservation and Recycling, 2010, 54(9): 547-556.
- [12] Johnson E P. Air-source Heat Pump Carbon Footprints: HFC Impacts and Comparison to Other Heat Sources[J]. Energy Policy, 2011, 39(3): 1369-1381.
- [13] 英国标准协会. PAS 2050 规范-如何评价商品和服务的碳足迹[M]. 伦敦: 大英图书馆, 2008.
- [14] 狄向华, 聂祚仁, 左铁镛, 等. 中国火力发电燃料消耗的生命周期排放清单[J]. 中国环境科学, 2005, 25(5): 632-635.
- Di Xianghua, Nie Zuoren, Zuo Tiejong, et al. Life Cycle Emission Inventories for the Fuels Consumed by Thermal Power in China[J]. China Environmental Science, 2005, 25(5): 632-635.
- [15] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume II [EB/OL]. Hiyama, Japan: the Institute for Global Environmental Strategies, [2008-07-20]. <http://www.ipcc.ch/ipccreports/Methodology-report.hun>.
- [16] 袁宝荣, 聂祚仁, 狄向华, 等. 中国化石能源生产的生命周期清单(II)——生命周期清单的编制结果[J]. 现代化工, 2006, 26(4): 59-61.
- Yuan Baorong, Nie Zuoren, Di Xianghua, et al. Life Cycle Inventories of Fossil Fuels in China (II)-Final Life Cycle Inventories [J]. Modern Chemical Industry, 2006, 26(4): 59-61.
- (编辑 苏卫国)
-
- 作者简介: 李先广, 男, 1966 年生. 重庆机床(集团)有限责任公司教授级高级工程师、博士, 重庆大学机械传动国家重点实验室兼职工程博士研究生导师. 研究方向为机床智能及绿色设计与制造技术. 杨勇(通信作者), 男, 1980 年生. 重庆机床(集团)有限责任公司高级工程师、博士. 李聪波, 男, 1981 年生. 重庆大学机械传动国家重点实验室教授、博士研究生导师. 陈鹏, 男, 1969 年生. 重庆机床(集团)有限责任公司教授级高级工程师, 重庆大学机械传动国家重点实验室工程博士研究生. 曹华军, 男, 1978 年生. 重庆大学机械传动国家重点实验室教授、博士研究生导师.
-
- ## 中国数字工厂推进大会(DFC'2014)即将举行
- “十二五”期间, 制造业智能化已经被我国政府列为未来行业发展的关键战略. 未来的数字工厂将由智能化设备组成, 结合 IT 技术、软件技术等智能装备, 为制造企业的设计、生产、装配、物流、检测等各个环节提供更好的服务. 数字工厂无疑是现代工业化与信息化融合的最佳应用体现, 也是当前工业企业变革、突破的终极目标.
- 为此, 由科技部制造业信息化科技工程办公室指导, 中国机电一体化技术应用协会、国家两化融合创新推进联盟、中国机械工程学会机械工业自动化分会、中国自动化学会制造技术专业委员会共同主办, 弗戈博达传媒集团《e 制造》杂志承办的“中国数字工厂推进大会(DFC'2014)”将于 2014 年 9 月 21 日~22 日在北京国家会议中心举行.
- 大会同期还将举办“全国先进制造技术高层论坛暨第 13 届制造业自动化与信息化技术研讨会”、“2014 全国自动化系统与集成标准化技术委员会(SAC/TC159)年会”、“PLCopen 中国组织换届及技术交流会议”、“SERCOS 技术交流会议”.
- 欢迎各相关单位积极参与并支持此次活动. 会议具体情况请参见中国机械工程学会网站 (<http://www.cmemo.org>).
- (工作总部)