



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113579552 B

(45) 授权公告日 2023.05.16

(21) 申请号 202110836448.7

B23K 35/40 (2006.01)

(22) 申请日 2021.07.23

审查员 刘晓楠

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113579552 A

(43) 申请公布日 2021.11.02

(73) 专利权人 武汉理工大学

地址 430070 湖北省武汉市洪山区珞狮路
122号

(72) 发明人 秦训鹏 杨世明 董书洲 倪茂

熊晓晨 胡泽启

(74) 专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务

所(特殊普通合伙) 42222

专利代理师 石超群

(51) Int. Cl.

B23K 35/24 (2006.01)

权利要求书1页 说明书6页

(54) 发明名称

一种用于药芯焊丝配方设计的计算方法

(57) 摘要

本发明涉及焊接设计技术领域,尤其涉及一种用于药芯焊丝配方设计的计算方法,包括以下步骤:推导出某元素分别在1g熔覆金属中和1g焊丝中质量的对应关系 η' ;将所有原料以一定规则排列成矩阵形式,使每一列构成一种原料,每一行对应同一元素,以 η' 为纽带建立一个矩阵的线性运算,未知解向量为各原料的配方组成;对方程求解,若有解给出通解一般形式,若无解,对矩阵线性运算方程的增广矩阵的行变换重排。本方法克服了现有配方设计中存在的配方折算不方便、折算结果不精确问题,而且对寻求性价比最高的配方组成问题提出明确的公式推导和步骤,摆脱了以往配方设计对经验的依赖。

1. 一种用于药芯焊丝配方设计的计算方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一:确定药芯焊丝过渡系数公式中填充率和药芯粉末中合金组份总含量的值,并对公式做一定的变形,推导出某元素分别在1g熔覆金属中和1g焊丝中质量的对应关系 η' ;

步骤二:确定原料种类和钢带型号,并将所有原料以一定规则排列成矩阵形式,使每一列构成一种原料,每一行对应同一元素,以 η' 为纽带建立一个矩阵的线性运算,未知解向量为各原料的配方组成;

步骤三:对方程求解,若有解给出通解一般形式,若无解,对矩阵线性运算方程的增广矩阵的行变换重排,再行分块,分为上下两个矩阵,上矩阵求精确解,下矩阵求最小二乘解,对两者的解空间求交集,得出通解;

所述步骤一中, η' 可以通过 $\eta = \eta' [(1-F) + K_{CM} \cdot F]$ 公式按已有的过渡系数、填充率和药芯粉末中合金组份总含量数据求得,也可按 $\eta' = \frac{C_{ew}}{(1-F) \cdot C_{es} + F \cdot \sum (K_{ei} \cdot C_{ei})}$ 实验测得;

$$\text{其中, } \eta = \frac{C_{ew}}{C_{eo}} = \frac{C_{ew}}{[(1-F) \cdot C_{es} + F \cdot \sum (K_{ei} \cdot C_{ei})] / [(1-F) + K_{CM} \cdot F]},$$

C_{ew} :合金元素e在熔覆金属实际含量,

C_{eo} :合金元素e在焊丝中的总原始含量,

F:填充率,

C_{es} :合金元素e在钢皮中含量,

K_{ei} :药芯粉末中合金原料i的含量,

C_{ei} :合金元素e在合金原料i中的含量,

K_{CM} :药芯粉末中合金组份总含量,

η' :某元素分别在1g熔覆金属中和1g焊丝中质量的对应关系;

所述步骤三中,增广矩阵的行变换重排依据为,按熔覆金属给定成分的范围大小从小到大排列元素,增广矩阵的行变换结果要使每行对应的元素自上而下对应前面的范围大小顺序;若对某些元素含量的精度要求高,也可将其对应的行置于增广矩阵的上部;所述步骤二中,原料种类为合金剂,且所有原料包含所有过渡合金元素;还包括步骤四:结合矩阵各原料的单价,对通解中所有齐次项向量各组成作单价的加权平均,比较不同的齐次解项对应的平均值大小,保留平均值最小的通解项作为解,去掉其他项,通解配置原料组成为性价比最高的配方组成。

一种用于药芯焊丝配方设计的计算方法

技术领域

[0001] 本发明涉及焊接设计技术领域,尤其涉及一种用于药芯焊丝配方设计的计算方法。

背景技术

[0002] 传统焊条设计由熔覆金属成分折算为原料组成是通过过渡系数 η 实现的。 η 定义如下: $\eta=C_w/(C_0+KC_e)$; $K=m_1/m_0$ (C_w :要求某元素在熔覆金属中的含量%; C_0 :某元素在焊芯中的浓度%; C_e :药皮中应该加入的某合金的元素含量%; η :合金元素的过渡系数; K 药皮重量系数; m_1 :药皮重量; m_0 焊芯重量)。 η 已有大量数据积累且结果成熟,后人设计新配方常将 η 作为已知量带入公式。

[0003] 药芯焊丝在成分、结构及生产方面与传统焊条均有区别,导致 η 的定义与焊条不同, η 定义如下:

$$\eta = \frac{C_{ew}}{C_{eo}} = \frac{C_{ew}}{[(1-F) \cdot C_{es} + F \cdot \sum (K_{ei} \cdot C_{ei})] / [(1-F) + K_{CM} \cdot F]} \quad (C_{ew}: \text{合金元素e在熔覆金属实际含量}; C_{eo}: \text{合金元素e在焊丝中的总原始含量}; K_{CM}: \text{药芯粉末中合金组份总含量}; C_{es}: \text{合金元素e在钢皮中含量}; K_{ei}: \text{药芯粉末中合金原料i的含量}; C_{ei}: \text{合金元素e在合金原料i中的含量}; F: \text{填充系数})$$

实际应用多采用上式的简化表达式,简化条件为:采用钢带,则 C_{ew} 为0;某种元素仅有一种原料过渡,去掉 $\Sigma()$;药芯合金比重较大, $K_{CM} \approx 1$;简化式为:

$$\eta = \frac{C_{ew}}{F \cdot K_{ei} \cdot C_{ei}}$$

无论是在传统焊条还是现代药芯焊丝配方设计,若合金剂成分复杂,即一种过渡元素的原料有多种(可能为单质或合金),则还需提前假设过渡同一元素各原料分配情况才能确定最终配方,仅靠 η 的定义式并不利于直接折算最终配方,需要反复的核算调整。

[0004] 目前在配方折算时大多只考虑某原料的主要成分,忽略次要成分,这样折算方便,如简化式所示,但折算结果并不准确,当熔覆金属的某元素的含量和某原料次要成分数量级相同时,这种忽略不可取;进行原材料组成设计时,在满足熔覆金属成分要求时,寻求性价比最高的配方带有经验性,没有明确的公式表达,需要后期不断调整。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种用于药芯焊丝配方设计的计算方法,计算步骤更明确、计算结果更精确的方法。

[0006] 本发明实现目的所采用的方案是:一种用于药芯焊丝配方设计的计算方法,包括以下步骤:

[0007] 步骤一:确定药芯焊丝过渡系数公式中填充率和合金剂百分含量的值,并对公式做一定的变形,推导出某元素分别在1g熔覆金属中和1g焊丝中质量的对应关系 η' ;

[0008] 步骤二:确定原料种类和钢带型号,并将所有原料以一定规则排列成矩阵形式,使每一列构成一种原料,每一行对应同一元素,以 η' 为纽带建立一个矩阵的线性运算,未知解

向量为各原料的配方组成；

[0009] 步骤三：对方程求解，若有解给出通解一般形式，若无解，对矩阵线性运算方程的增广矩阵的行变换重排，再行分块，分为上下两个矩阵，上矩阵求精确解，下矩阵求最小二乘解($A^TAX=A^Tb$)，对两者的解空间求交集，得出通解。

[0010] 优选地，所述步骤一中， η' 可以通过 $\eta' = \eta \cdot [(1-F) + K_{CM} \cdot F]$ 公式按已有的过渡系数、填充率和合金剂百分含量数据求得，也可按 $\eta' = \frac{C_{ew}}{(1-F) \cdot C_{es} + F \cdot \sum(K_{ei} \cdot C_{ei})}$ 实验测得；

[0011] 所述步骤一中， η' 可以通过 $\eta' = \eta \cdot [(1-F) + K_{CM} \cdot F]$ 公式按已有的过渡系数经验值确定，其中填充率与制备焊丝直径相关，受生产制约有合适的范围，视为常数。合金剂百分含量与焊接工艺性有关，也有合适的范围，视为常数。若无某元素的过渡系数经验值，也可

按 $\eta' = \frac{C_{ew}}{(1-F) \cdot C_{es} + F \cdot \sum(K_{ei} \cdot C_{ei})}$ 进行试验并测定。

[0012] 其中， $\eta = \frac{C_{ew}}{C_{eo}} = \frac{C_{ew}}{[(1-F) \cdot C_{es} + F \cdot \sum(K_{ei} \cdot C_{ei})] / [(1-F) + K_{CM} \cdot F]}$ ，

[0013] C_{ew} ：合金元素e在熔覆金属实际含量，

[0014] C_{eo} ：合金元素e在焊丝中的总原始含量，

[0015] F：填充系数，

[0016] C_{es} ：合金元素e在钢皮中含量，

[0017] K_{ei} ：药芯粉末中合金原料i的含量，

[0018] C_{ei} ：合金元素e在合金原料i中的含量，

[0019] K_{CM} ：药芯粉末中合金组份总含量，

[0020] η' ：某元素分别在1g熔覆金属中和1g焊丝中质量的对应关系。

[0021] 所述步骤一中具体的公式的变形及推导如下：

[0022] $\eta = \frac{C_{ew}}{[(1-F) \cdot C_{es} + F \cdot \sum(K_{ei} \cdot C_{ei})] / [(1-F) + K_{CM} \cdot F]}$

[0023] 令 $\eta' = \eta \cdot [(1-F) + K_{CM} \cdot F]$

[0024] $\eta' = \frac{C_{ew}}{(1-F) \cdot C_{es} + F \cdot \sum(K_{ei} \cdot C_{ei})}$

[0025] $\eta' = \frac{C_{ew} \cdot 1g}{[(1-F) \cdot C_{es} + F \cdot \sum(K_{ei} \cdot C_{ei})] \cdot 1g} = \frac{m_{ew}}{m_{eo}}$

[0026] m_{ef} ：1g熔覆金属e元素的质量； m_{eo} ：1g焊丝e元素的质量； η' ：两者的对应关系，即质量比。

[0027] 优选地，所述步骤二中，原料种类为合金剂，且所有原料包含所有过渡合金元素。

[0028] 所述步骤二中构建矩阵的线性运算的具体过程如下：

[0029] 将堆焊金属成分、钢带成分、原料成分、 η' 以及最终的药芯配方向量化

[0030] 堆焊金属成分： $(a, b, \dots, u)^T$

[0031] 钢带(铁粉)成分： $Z = (z_1, z_2, \dots, z_n)^T$

[0032] 原料成分： $X = (x_1, x_2, \dots, x_3)^T$

[0033] 质量比: $\eta' = (\eta'_1, \eta'_2, \dots, \eta'_n)^T$

[0034] 药芯组成: $(x, y, \dots, z)^T$

[0035] $xX+yY+zZ = (a/\eta'_1, b/\eta'_2, \dots, u/\eta'_n)$

$$[0036] \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & \cdots & z_1 \\ x_2 & y_2 & \cdots & z_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_n & y_n & \cdots & z_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ \vdots \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a/\eta'_1 \\ a/\eta'_2 \\ \vdots \\ a/\eta'_n \end{pmatrix}$$

$$[0037] A_{n,m} \begin{pmatrix} x \\ y \\ \vdots \\ z \end{pmatrix} = d_0$$

[0038] 优选地,所述步骤三中,增广矩阵的行变换重排依据为,按熔覆金属给定成分的范围大小从小到大排列元素,增广矩阵的行变换结果要使每行对应的元素自上而下对应前面的范围大小顺序;若对某些元素含量的精度要求高,也可将其对应的行置于增广矩阵的上部。

[0039] 所述步骤三中解的分类和求解如下:

[0040] ① $R(A_{n,m}) = R(A_{n,m} \ d_0) = p$

[0041] $(x, y, \dots, z)^T = C_0^* + k_1 C_1 + k_2 C_2 + \dots + k_{n-p} C_{n-p} (k_i \in R)$

$$[0042] \begin{cases} x + y + \dots + z \leq 1 \\ z \approx 1 - F \\ x, y, \dots, z \geq 0 \end{cases}$$

[0043] ② $R(A_{n,m}) \neq R(A_{n,m} \ d_0) \equiv R(A_{n,m}) < R(A_{n,m} \ d_0)$

[0044] 无解时,对 $A_{n,m} \ d_0$ 增广矩阵行变换重排,再行分块求解,分为上下两个矩阵,上矩阵求精确解,下矩阵求最小二乘解 ($A^T A X = A^T b$),对两者的解空间求交集,且也要满足下条件

$$[0045] \begin{cases} x + y + \dots + z \leq 1 \\ z \approx 1 - F \\ x, y, \dots, z \geq 0 \end{cases}$$

[0046] $A_{n,m}$ 矩阵阶数较大,实际求解过程可利用matlab等软件计算。

[0047] 所述步骤三中的解的一般形式推导如下:

[0048] 对于任意k克情况如下,设 $k \in R^+$

$$[0049] A_{n,m} \begin{pmatrix} x \\ y \\ \vdots \\ z \end{pmatrix} = k d_0 \triangleq A_{n,m} \begin{pmatrix} x/k \\ y/k \\ \vdots \\ z/k \end{pmatrix} = d_0$$

[0050] $(x, y, \dots, z)^T = k C_0^* + k'_1 C_1 + k'_2 C_2 + \dots + k'_{n-p} C_{n-p} (k'_i \in R, k'_i = k \cdot k_i)$

$$[0051] \begin{cases} x + y + \dots + z \leq k \\ z \approx (1 - F)k \\ x, y, \dots, z \geq 0 \end{cases}$$

[0052] 对于任意k克的焊丝,其组成按上式5配料均满足最终的熔覆金属成分要求。

[0053] 所述步骤三无解情况为当 $A_{n,m}$ 中 $n \geq m$ 时,矩阵的秩由列秩决定,列的增减会改变秩的大小,现实意义为一种原料往往包含多种过渡元素,从降低成本的角度也是可能的,但只能求近似解,名义成分往往是个小范围,近似解也可能处于范围内而有意义。具体求解过程如下:

$$[0054] \begin{matrix} A'_{n,m} & & d'_0 \\ & \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & \dots & z_1 \\ x_2 & y_2 & \dots & z_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_n & y_n & \dots & z_n \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} & = & \begin{pmatrix} a/\eta'_1 \\ a/\eta'_2 \\ \vdots \\ a/\eta'_n \end{pmatrix} & d''_0 \\ A''_{n,m} & & & & & & \end{matrix}$$

元素范围从小到大
自定义元素重要性大到小

[0055] 首先对 d_0 部分的元素重排列(矩阵和解向量均做相同行变换),从上到下可以按元素范围小到大排列,这里的元素范围指名义成分中单个元素的成分波动大小,波动小的求精确解,波动大的求近似解。将整个线性方程组按虚线分割,分割的依据是使 $R(A'_{n,m}) = R(A'_{n,m} d'_0)$,则有解,且有一个解空间 Ω_1 。再求解 $A''_{n,m} A''_{n,m} X = A''_{n,m} d''_0$,其解空间为 Ω_2 。 $(\Omega_1 \cap \Omega_2)$ 为所求。若对名义成分中某些元素的含量要求比较精确,也可按上述方法求解。

[0056] 优选地,还包括步骤四:结合矩阵各原料的单价,对通解中所有齐次项向量各组成作单价的加权平均,比较不同的齐次解项对应的平均值大小,保留平均值最小的通解项作为解,去掉其他项,通解配置原料组成为性价比最高的配方组成。

[0057] 所述步骤四中寻求性价比最高的配方组成步骤如下:

[0058] 取通解中齐次解中一向量 $C_1 = (c_{11}, c_{12}, \dots, c_{1m})^T$,它表示 $A_{n,m}$ 中m个原料的一种组合,每种原料的价格由市场决定,是已知量,设 c_{11} 对应的原料的单价为 ϕ_{11} ,同理 c_{1i} 对应 ϕ_{1i} ,则加入 C_1 的平均值 $\psi_1 = \sum c_{1i} \cdot \phi_{1i} / \sum c_{1i}$ 。同理计算并比较所有的 C_i 的平均值 ψ_i ,假设 $i = j$ 时平均值最低,则性价比最高的配方组成为:

$$[0059] (x, y, \dots, z)^T = kC_0^* + k_j C_j$$

[0060] 进一步按上面的方法比较 C_0^* 和 C_i ,在满足约束条件下,尽可能将平均值更低的向量的系数变大,且也要满足约束条件。寻求性价比最高的配方组成由公式推导且步骤明确。

[0061] 本发明具有以下优点和有益效果:

[0062] 1、本发明的用于药芯焊丝配方设计的计算方法,不需要提前假设原料的分配情况,仅将药芯焊丝n的表达式适当变形,并以矩阵的线性运算的形式计算配方组成,折算方便且结果准确。

[0063] 2、本发明的用于药芯焊丝配方设计的计算方法,将所有原料以矩阵形式表达, $A_{n,m}$ 理论上可以容纳所有合金原料,一般情况 $n \leq m$,所以线性方程组既有特解,又有齐次解。齐次解仅与 $A_{n,m}$ 有关,对 $A_{n,m}$ 的行、列各种组合的秩,以及齐次解研究结果适用于任意相同 $A_{n,m}$ 的

熔覆金属成分的配方折算。

[0064] 3、本发明的用于药芯焊丝配方设计的计算方法，当钢带中某合金元素成分与熔覆金属成分近似，或填充率较小时，则该成分不可忽略，用该方法折算也适用。

[0065] 4、本发明的用于药芯焊丝配方设计的计算方法，熔覆金属合金系越复杂，折算优势越明显。

具体实施方式

[0066] 为更好的理解本发明，下面的实施例是对本发明的进一步说明，但本发明的内容不仅仅局限于下面的实施例。

[0067] 实施例1

[0068] 步骤一：熔覆金属的成分和过渡系数确定如下，由于 $\eta\eta' = \eta \cdot [(1-F) + K_{CM} \cdot F]$ ，这里药芯组成拟为金属粉型，无造渣剂，即 K_{CM} 为0，带入上式，得到 $\eta = \eta'$ 。将熔覆金属构成的行向量记为a， η' 所在行向量记为 η' ，如下表。

[0069]

	碳	硅	猛	铬	钼	钨	钒	钴	铌	镍
熔覆成分a	0.24	0.5	0.8	11	1.8	0.6	0.65	0.6	0.5	1.5
η	0.4	0.5	0.85	0.86	0.91	0.91	0.85	0.9	0.8	0.91
η'	0.4	0.5	0.85	0.86	0.91	0.91	0.85	0.9	0.8	0.91

[0070] 步骤二：原料种类确定为以下几种，必须覆盖所有过渡的合金元素，将以下数值构成的矩阵记为A，各原料所需的配料组成记为X，X的维度和原料种类相同，建立 $AX = a/\eta'$ 方程。。

[0071]

	硅铁粉	钒铁粉	钼粉	铌铁	铬粉	硅锰合金	镍粉	钨粉	钴粉	高铬
碳	0.002	0.004	0	0	0	0.025	0	0	0	0.07
硅	0.75	0.02	0	0.012	0	0.15	0	0	0	0
猛	0.004	0.005	0	0	0	0.63	0	0	0	0
铬	0	0	0	0	0.985	0	0	0	0	0.6
钼	0	0	0.995	0	0	0	0	0	0	0
钨	0	0	0	0	0	0	0	0.995	0	0
钒	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
钴	0	0	0	0	0	0	0	0	0.995	0
铌	0	0	0	0.55	0	0	0	0	0	0
镍	0	0	0	0	0	0	0.9967	0	0	0

[0072] 步骤三：采用matlab工具计算，在工作区输入A、a、 η' 的值，利用命令 $X = A \setminus (a/\eta')$ 求解。X有唯一解，解如下：

[0073]

硅铁粉	钒铁粉	钼粉	铌铁	铬粉	硅锰合金	镍粉	钨粉	钴粉	高铬	SUM	钢带
0.9793	1.5294	1.988	1.1364	12.9855	1.4756	1.6538	0.6627	0.67	0.5573	23.638	76.362

[0074] 以上组成为100g焊丝的组成情况，填充率为23.638%，可根据需要选择不同直径的焊丝。

[0075] 实施例2

[0076] 步骤一：熔覆金属的成分和过渡系数确定如下，由于 $\eta' = \eta \cdot [(1-F) + K_{CM} \cdot F]$ ，F拟定为24%，这里药芯组成造渣剂含量拟添加4%，即 $K_{CM} = 96\%$ ，带入上式，得到 η' 。将熔覆金属构成的行向量记为a，如下表。

[0077]		碳	硅	锰	铬	钼	钨	钒	钴	铌	镍
[0078]	熔覆成分 a	0.24	0.5	0.8	3	1.8	0.6	0.65	0.6	0.5	1.5
	η	0.4	0.5	0.85	0.86	0.91	0.91	0.85	0.9	0.8	0.91
	η'	0.39	0.48	0.82	0.83	0.88	0.88	0.82	0.87	0.78	0.88

[0079] 步骤二：原料种类确定为以下几种，覆盖所有过渡的合金元素，将以下数值构成的矩阵记为A，各原料所需的配料组成记为X，X的维度和原料种类相同，建立 $AX = a/\eta'$ 方程。

[0080]		硅铁粉	钒铁粉	钼粉	铌铁	铬粉	硅锰合金	镍粉	钨粉	钴粉	石墨
	碳	0.002	0.004	0	0	0	0.025	0	0	0	0.99
	硅	0.75	0.02	0	0.012	0	0.15	0	0	0	0
	锰	0.004	0.005	0	0	0	0.63	0	0	0	0
	铬	0	0	0	0	0.985	0	0	0	0	0
	钼	0	0	0.995	0	0	0	0	0	0	0
	钨	0	0	0	0	0	0	0	0.995	0	0
	钒	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
	钴	0	0	0	0	0	0	0	0	0.995	0
	铌	0	0	0	0.55	0	0	0	0	0	0
	镍	0	0	0	0	0	0	0.9967	0	0	0

[0081] 步骤三：采用matlab工具计算，在工作区输入A、a、 η' 的值，利用命令 $X = A \setminus (a/\eta')$ 求解。X有唯一解，解如下：

[0082]	硅铁粉	钒铁粉	钼粉	铌铁	铬粉	硅锰合金	镍粉	钨粉	钴粉	石墨	SUM	钢带	造渣剂
	1.04	1.58	2.06	1.16	3.67	1.44	1.71	0.68	0.69	0.58	14.6	85.4	0.61

[0083] 若仍然选用1.6直径的焊丝，经计算的配方并不满足要求，因为 $F = (14.6 + 0.61) / (100 + 0.61) = 15\% < 23\%$ 。按照要求钢带质量要求应为 $(100 + 0.61) \times 76\% = 76.5$ ，选择250铁粉代替部分钢带质量，质量为 $85.4 - 76.5 = 8.9$ ，最终配方如下：

[0084]	硅铁粉	钒铁粉	钼粉	铌铁	铬粉	硅锰合金	镍粉	钨粉	钴粉	石墨	SUM	铁粉	钢带	造渣剂
	1.04	1.58	2.06	1.16	3.67	1.44	1.71	0.68	0.69	0.58	14.6	8.9	85.4	0.61

[0085] 以上所述是本发明的优选实施方式而已，当然不能以此来限定本发明之权利范围，应当指出，对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明原理的前提下，还可以做出若干改进和变动，这些改进和变动也视为本发明的保护范围。