



冷挤压成型塑料模具渗碳 热处理缺陷及对策

温州热处理厂 (浙江 325600) 赵昌盛 金永乐

一、概述

冷挤压成型塑料模具是采用低碳钢(一般 $w_c = 0.1\% \sim 0.2\%$) 硬度低、塑性好的特点, 采用冷挤压的方法在淬硬的凸模上直接压制出型腔来, 省去型腔的切削加工, 这对于成批生产一种模具是十分经济的工艺方法。模具加工后经过渗碳、淬火和低温回火后, 具有高硬度、高耐磨性的表面和韧性良好的心部组织, 可以用于制造形状较复杂、承受载荷较高的塑料件成型模具。

但是冷挤压成型塑料模具由于热处理不当或材料质量太差, 往往造成模具早期失效, 因此作者根据几十年的实践和国内外有关资料对冷挤压成型塑料模具渗碳层偏浅、渗碳层深度不均匀、表层过度渗碳、硬化层偏浅、表面和心部硬度不足、表层内氧化、氢脆及模具淬火后开裂等缺陷进行研究, 分析了缺陷的危害及产生原因, 并探讨了减少和预防这些缺陷产生的工艺措施, 这对提高冷挤压成型塑料模具的产品质量、延长模具的使用寿命有着十分重要的意义。

二、渗碳模具硬化层偏浅

渗碳模具硬化层偏浅将会导致模具表面硬化层抗剥落性能降低, 其他性能恶劣, 降低模具使用寿命。

1. 渗碳模具硬化层偏浅的原因

(1) 模具材料选择不当 对重要的、复杂的冷挤压成型模具不应选择渗碳速度慢、淬透性差的钢, 如 20 钢、20Cr 钢。如最新研制的冷挤压成型专用钢 0Cr4NiMoV (LJ) 钢, 渗碳速度快, 相同渗碳时间渗碳深度比 20 钢深 1 倍, 渗碳淬硬层也较深。

(2) 渗碳层偏浅 模具渗碳时, 渗碳时间太短、渗碳温度偏低、渗碳炉有效加热区的温度分布不均、渗碳过程中强渗阶段及扩散阶段的碳势控制

不当、模具装炉前未消除油污以及装炉量过多所留孔隙太小等原因造成的。

(3) 淬火介质冷却性能不足也会造成模具渗碳后硬化层偏浅。

2. 预防措施

(1) 选择淬透性较好的钢材作为形状复杂的冷挤压成型塑料模具材料, 如瑞典的 8416、美国的 P2、P4 以及国内最新研制的冷挤压成型专用钢 0Cr4NiMoV (LJ) 钢, 也可采用传统的中淬透性合金钢 12CrNi3A、12Cr2Ni4、20Cr2Ni4 等钢。

(2) 选择冷却性能合适的冷却介质。

(3) 要严格控制渗碳前模具表面质量、装炉量、炉内温度、炉内碳势气氛、强渗和扩散时间等。

(4) 对已经出现的模具渗层不足要进行补渗碳。

例如: 渗碳模具渗碳层技术要求为 1.3mm, 模具材料为 20Cr, 而实际渗碳层为 0.7mm, 应对模具进行补渗碳, 渗碳层深度的计算公式可由下式得出:

$$T = k\sqrt{t}$$

式中 T ——渗碳层深度, mm;

k ——渗碳温度系数, 930℃ 时 $k = 0.647\text{mm} \cdot \text{h}^{-2}$;

t ——渗碳时间, h。

按上式计算: 当 $T = 1.3\text{mm}$ 时

$$t_1 = \left(\frac{T}{k}\right)^2 = \left(\frac{1.3}{0.647}\right)^2 \text{h} = 4.04\text{h}$$

当 $T' = 0.7\text{mm}$ 时

$$t_2 = \left(\frac{T'}{k}\right)^2 = \left(\frac{0.7}{0.647}\right)^2 \text{h} = 1.17\text{h}$$

则 $t = t_1 - t_2 = (4.04 - 1.17)\text{h} = 2.87\text{h}$

因此, 在 930℃ 的温度补渗时间为 2.87h。

三、模具渗碳层深度不均匀

模具渗碳层深度不均匀将会造成模具不同部位的性能不同, 薄弱区域首先破坏, 造成整个模具失效, 严重影响模具的使用寿命。



1. 模具渗碳深度不均匀的原因

(1) 气体渗碳时, 主要是炉内温度不均匀, 另外装炉前模具未清除油污, 炉内气氛循环不良, 炭黑在模具表面沉积等造成模具渗碳层深度不均匀。

(2) 固体渗碳时渗碳箱内温度相差较大及催渗剂不均匀, 另外渗碳箱的大小、装箱量、装炉方式及渗碳时的升温速度都会对渗碳层的不均匀度有所影响。

2. 预防措施

(1) 对成批生产和重要复杂塑料模具尽量避免采用固体渗碳, 必须进行固体渗碳时应严格执行操作工艺, 装炉量不宜过多, 渗碳箱要放在炉内温度均匀的中间区域, 在渗碳过程中要适当调换渗碳箱前后位置, 催渗剂和木炭要混和均匀, 最好采用专业厂生产的配制好的固体渗碳剂。

(2) 气体渗碳时, 装炉前要清除模具表面油污, 装炉量不宜过多, 模具摆放位置要适当, 炉温要均匀, 炉内气体要充分循环, 炉内气体介质中不饱和碳氢化合物要减少, 以防止模具工作面形成炭黑或结焦, 气体渗碳炉要很好地密封, 对于漏气的马弗罐要及时更换, 气体渗碳炉炉罐要定期进行清理等。

四、渗碳模具表面硬度偏低

渗碳模具硬度偏低将会导致模具耐磨性和抗疲劳性能降低, 大大降低模具使用寿命。

1. 模具表面硬度偏低的原因。

(1) 模具材料淬透性差以及淬火冷却介质性能过低。

(2) 模具渗碳后淬火温度偏高造成淬火后表面残余奥氏体量过多。

(3) 模具表层含碳量太低。由于渗碳时炉温低, 炉内碳势低、表面形成炭黑、装炉量过多以及炉子漏气等使模具表面达不到必要的碳浓度。另外模具渗碳后的冷却过程中或在加热过程中缺少保护气氛使模具表面脱碳。

(4) 模具淬火后回火温度过高, 保温时间过长。

2. 预防措施

(1) 选择淬透性好的低碳合金钢作渗碳模具材料, 并在适当冷却性能的冷却介质中冷却。

(2) 要选择合适的加热温度进行淬火, 以便减

少渗碳模具淬火后的残余奥氏体量。对已经出现残余奥氏体量过多的模具应进行重新加热淬火或进行冰冷处理, 减少残余奥氏体量。

(3) 对造成模具表层含碳量太低的因素要采取适当的控制措施。对已经产生表层含碳量低的模具应进行增碳处理。

(4) 模具渗碳冷却或重新加热淬火时应在保护气氛下进行, 对已经发生氧化现象的模具应除掉氧化皮进行表层渗碳后再进行淬火。

(5) 对因回火温度过高造成渗碳模具硬度偏低的应采取重新加热淬火, 并采取合适的温度进行回火。

五、渗碳模具表层过度渗碳

模具表层过度渗碳后, 表层将会出现块状或网状碳化物, 此时模具塑性变形能力极低, 耐冲击性能减弱, 在使用中沿块状或网状碳化物处产生破坏; 模具渗碳淬火后在使用中也易于开裂。

1. 模具表层过度渗碳的原因

(1) 模具固体渗碳时, 其渗碳箱内碳势过高, 又不能随意调整碳势, 因此渗碳温度越高, 过共析的程度就越大。对含有强碳化物形成元素 Cr、Mo 的渗碳钢, 由于碳的扩散较慢, 模具渗碳层表面碳浓度就更高了, 达到了过共析成分的渗碳层, 在冷却时, 从奥氏体晶界析出渗碳体形成网状分布。

(2) 气体渗碳时炉内碳势过高, 强渗时间过长, 无扩散阶段等也会出现模具表层碳浓度过高。

2. 预防措施

(1) 固体渗碳时, 为了防止过度渗碳宜采用较低的渗碳温度或使用较弱的渗碳剂(如新渗碳剂要和旧渗碳剂混合使用)。

(2) 气体渗碳时, 在渗碳后期要设扩散阶段, 适当降低炉内的碳浓度, 使表层粗大碳化物逐步溶解并向内层扩散。

(3) 对已经产生表层过度渗碳的模具, 可在碳势气氛较低的渗碳炉中进行高温扩散球化处理(920℃, 2h), 再进行重新加热淬火处理。

六、渗碳模具淬火后断裂

渗碳模具在淬火后产生裂纹造成模具报废, 给生产和使用带来不应有的损失。



1. 渗碳模具断裂原因

(1) 模具材料原始缺陷的影响。如金属夹杂物、疏松或材料混放等。

(2) 锻造工艺不当, 模具毛坯锻后未进行正火处理, 使锻造过程中产生的黑色网状组织未能消除。

(3) 渗碳过程中过度渗碳、渗碳不均、模具表面脱碳、渗碳后模具缓冷时不均等都易造成模具热处理和使用中早期断裂。

(4) 渗碳后淬火冷却不当、回火不及时或未进行回火也是引起模具断裂的原因。

2. 预防措施

(1) 加强模具材料的管理, 对模具材料要进行严格的质量检查。

(2) 采用正确的锻造工艺, 模具毛坯锻造后必须进行严格的正火热处理。

(3) 严格控制渗碳炉内气氛, 并采用强渗和扩散两阶段渗碳法, 渗碳后采取保护气氛下均匀冷却, 防止氧化脱碳。

(4) 在保证模具表面硬度的情况下适当降低淬火温度和保温时间, 以及提高出油温度, 淬火后的模具必须进行及时和充分的回火。

七、高合金钢模具的氢脆

高合金钢模具在渗碳和淬火后, 由于氢渗入钢中使模具塑性降低或自行开裂, 产生氢脆。

1. 模具氢脆的原因

由于模具在渗碳时其炉内气氛中含有约 40% ~ 60% 的氢, 加上温度高, 氢在钢中的扩散速度及溶解度都较大, 因此渗碳时必然有相当数量的氢渗入钢中, 如果渗碳后直接淬火, 则氢来不及析出, 而以过饱和状态存在于钢中。在模具静置或使用过程中, 这些氢向钢中拉应力区和微裂纹处析聚, 使模具塑性降低或自行开裂, 称为氢脆。氢脆现象往往出现于 18Cr2Ni4WA、25Cr2Ni4WA 等高合金钢模具。

2. 预防措施

(1) 在模具渗碳后缓冷或直接淬火后在 250℃ 以上 (在符合模具技术条件的情况下) 回火可使氢扩散逸出而不出现氢脆。

(2) 在模具硬度要求过高不允许提高回火温度情况下, 可在模具渗碳出炉前停止供给渗碳剂, 通

入氨气排氢后直接淬火。

八、模具心部硬度偏低

渗碳模具心部要求具有一定硬度, 硬度偏低, 模具材料的屈服点降低, 易产生心部塑性变形, 使模具表面硬化层抗剥落性能及弯曲疲劳性能降低, 降低模具的使用寿命。

1. 模具心部硬度偏低的原因

(1) 模具材料淬透性能差或淬火介质冷却性能低。

(2) 模具渗碳后直接淬火前预冷温度过低或渗碳重新加热淬火时温度偏低。

2. 预防措施

(1) 选用淬透性好、材质好的钢材作渗碳模具材料, 并选用合适的冷却介质淬火。

(2) 适当提高渗碳模具淬火温度。

九、渗碳模具的表层内氧化

气体渗碳后的模具外观看来好象未氧化, 但在未经浸蚀的截面表层作金相检查时发现, 在渗碳模具表面以下约 15μm 范围的晶界与晶粒内有许多细小的氧化物, 这就是表层内氧化。在固体渗碳或液体渗碳中都可能出现同样现象。如果内氧化特别严重, 将会造成淬透性能降低而生成细小珠光体类组织, 使表层硬度降低和出现残余拉应力, 使接触疲劳和弯曲疲劳强度显著降低, 因此使渗碳模具的使用寿命降低。

1. 渗碳模具内氧化的原因

在渗碳炉内气体中含有部分 CO_2 、 H_2O 、 O_2 等氧化性气体, 这些气体向模具表面扩散, 在晶界面产生氧原子被钢吸收, 并在模具表面形成氧的富集。随着氧的富集, 模具表面产生一定的氧浓度梯度, 此时溶解在金属中的氧会向内部扩散。由于晶界处存在大量的位错和空位, 因此氧在晶界的扩散速度高于晶内。在合金模具材料中, 首先比铁更易氧化的 Cr、Si、Mn、Ti 等元素, 与氧发生反应在晶界处生成 Cr_2O_3 、 MnO 、 SiO_2 、 TiO_2 等氧化物, 因此渗碳模具内氧化严重程度取决于钢中易氧化合金元素的含量。由于可提高淬透性的 Cr、Mn 等元素形成氧化物而使其含量减少, 从而降低了渗碳模具的淬透性, 使模具表面硬度下降。

(下转第 63 页)



然而,在配制冲天炉金属炉料时,通常是首先拟定 $C_{\text{铸件}} = C_{\text{铁液}}$ 的数值,然后再确定金属炉料的碳含量 $C_{\text{炉料}}$,值此也可运用增碳图和以上三个公式,不过这里的自变量是 $C_{\text{铁液}}$ 。其改写方法如下:

$$\text{因为 } C_{\text{铁液}} = 0.44 C_{\text{炉料}} + 1.988$$

$$\text{所以 } C_{\text{炉料}} = \frac{C_{\text{铁液}} - 1.988}{0.44}$$

$$\text{或者 } C_{\text{炉料}} = 2.273 C_{\text{铁液}} - 4.518 \quad (4)$$

$$\text{又因为 } \Delta C = C_{\text{铁液}} - C_{\text{炉料}}$$

$$\begin{aligned} \text{所以 } \Delta C &= C_{\text{铁液}} - \frac{C_{\text{铁液}} - 1.988}{0.44} \\ &= \frac{-0.56 C_{\text{铁液}} + 1.988}{0.44} \end{aligned}$$

$$\text{或者 } \Delta C = -1.273 C_{\text{铁液}} + 4.518 \quad (5)$$

$$\text{再因为 } \eta = \frac{\Delta C}{C_{\text{炉料}}}$$

$$\begin{aligned} \text{所以 } \eta &= \frac{-0.56 C_{\text{铁液}} + 1.988}{\frac{C_{\text{铁液}} - 1.988}{0.44}} \\ &= \frac{- (C_{\text{铁液}} - 1.988) + 0.44 C_{\text{铁液}}}{C_{\text{铁液}} - 1.988} \\ &= \frac{0.44 C_{\text{铁液}}}{C_{\text{铁液}} - 1.988} - 1 \quad (6) \end{aligned}$$

根据预先拟定的 $C_{\text{铸件}} = C_{\text{铁液}}$ 的数值,利用增碳图及引伸的式(4)、式(5)和式(6)便可得出所配金属炉料的碳含量及相关数据,详见表5。

表5 铸件的碳含量(= $C_{\text{铁液}}$)所需冲天炉金属炉料的碳量及金属炉料增碳量(率) (%)

$C_{\text{铁液}}$	3.05	3.10	3.15	3.20	3.25	3.30	3.35	3.40
$C_{\text{炉料}}$	2.414	2.527	2.641	2.755	2.868	2.982	3.095	3.209
增碳量 ΔC	0.636	0.573	0.509	0.445	0.382	0.318	0.255	0.191
增碳率 η	0.00	26.37	22.66	19.28	16.17	13.31	10.67	8.22
	0	26	23	19	16	13	11	8
$C_{\text{铁液}}$	3.45	3.50	3.55	3.60	3.65	3.70	3.75	3.80
$C_{\text{炉料}}$	3.323	3.436	3.55	3.664	3.777	3.891	4.005	4.118
增碳量 ΔC	0.127	0.064	0	-0.064	-0.127	-0.191	-0.255	-0.318
增碳率 η	0.00	3.83	1.85	0	-1.74	-3.37	-4.91	-6.36
	0	4	2	0	-2	-3	-5	-8

例如 HT250 的冲天炉配料单中要求 $w_{C_{\text{铸件}}} = w_{C_{\text{铁液}}} = 3.15\%$,即可得到金属炉料的相关数值:

$$w_{C_{\text{炉料}}} = 2.273 \times 3.15 - 4.518 = 2.64\%$$

$$\Delta C = -1.273 \times 3.15 + 4.518 = 0.51\%$$

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{0.44 C_{\text{铁液}}}{C_{\text{铁液}} - 1.988} - 1 = \frac{0.44 \times 3.15}{3.15 - 1.988} - 1 \\ &= 19\% \end{aligned}$$

再列举几例牌号铸铁(若已拟以下铸件的碳含量 $C_{\text{铸铁}} = C_{\text{铁液}}$)所需配制的金属炉料的相关数据,详见表6。

表6 配制牌号铸铁碳含量的控制范围 (%)

铸铁牌号	HT100	HT150	HT200	HT250	HT300	QT600-3
假设 $C_{\text{铁液}}$	3.70	3.52	3.35	3.15	3.05	3.80
宜选 $C_{\text{炉料}}$	<3.89	<3.48	<3.10	<2.64	<2.41	<4.11
增碳量 ΔC	-0.19	0.04	0.25	0.51	0.64	-0.31
增碳率 η	-5	1	8	19	26	-8

5. 结语

根据统计数据绘出冲天炉的综合增碳图,建立增碳计算公式的假说。利用这些理论结合各厂冲天炉的特点稍加调整,即能比较准确地控制冲天炉金属炉料碳含量及最终铸件的碳含量,以保证铸件材质的稳定性。**热** (20040826)

(上接第28页)

2. 预防内氧化的措施

(1) 为防止内氧化造成的淬透性降低,形成细珠光体类的组织,可采用在渗碳的最后几分钟通入氢气的方法。

(2) 对允许有一定变形的模具适当加快冷却速度的方法来使淬透性提高,减少渗碳模具内氧化层珠光体析出,提高模具表面硬度。

十、结语

本文简要论述了模具渗碳后硬化层偏浅、渗碳层深度不均匀、模具表面和心部硬度偏低、渗碳层过度渗碳、模具淬火后断裂、模具的氢脆和模具的内氧化等缺点的特征、危害性、产生的原因及预防措施。

冷挤压成型塑料模具首先选择优质的模具材料,渗碳时要严格执行热处理工艺和操作规程,严把每道工序的质量关。如果发生模具热处理缺陷,要认真分析产生的原因,找出解决问题的办法,这对提高模具的质量延长其使用寿命有着重要意义。

(20040926)