

模具表面处理与使用寿命强化技术研究

罗献武，梁胜龙

柳州五菱汽车工业有限公司，广西 柳州 545000

DOI:10.61369/ME.2026050023

摘 要： 模具是现代制造业的核心工艺装备，广泛应用于机械加工、汽车制造、塑料制品生产等领域，模具服役状态直接影响产品加工精度与生产效率。模具长期处于高压、高温、摩擦、冲击的复杂工况，表面易出现磨损、腐蚀、疲劳开裂等损伤问题，大幅缩短服役周期，增加企业生产制造成本。为有效改善模具表面性能，延长模具使用寿命，各类表面处理强化技术逐步得到应用。本文分析模具常见表面失效形式与诱发因素，梳理主流模具表面处理与强化技术工艺特点与应用优势。探究不同工艺技术适用场景与操作要点，结合工业生产实际提出技术优化与工艺配套策略。旨在提升模具表面硬度、耐磨性、耐腐蚀性，改善模具服役性能，为制造业模具提质增效提供技术参考。

关 键 词： 模具加工；表面处理；强化技术；使用寿命

Research on Surface Treatment of Molds and Enhancement of Service Life

Luo Xianwu, Liang Shenglong

Liuzhou Wuling Automobile Industry Co., Ltd., Liuzhou, Guangxi 545000

Abstract： Molds are the core process equipment in modern manufacturing, widely used in mechanical processing, automotive manufacturing, plastic product production, etc. The service condition of molds directly affects the processing accuracy and production efficiency of products. Molds are constantly exposed to complex working conditions such as high pressure, high temperature, friction, and impact, and their surfaces are prone to damage problems such as wear, corrosion, and fatigue cracking, which significantly shorten the service life and increase the production and manufacturing costs of enterprises. To effectively improve the surface performance of molds and extend their service life, various surface treatment enhancement technologies have gradually been applied. This paper analyzes the common surface failure forms and inducing factors of molds, summarizes the main characteristics and application advantages of mold surface treatment and enhancement technologies. Exploring the applicable scenarios and operation key points of different process technologies, combined with industrial production practice, proposes technical optimization and process matching strategies. The aim is to enhance the hardness, wear resistance, and corrosion resistance of mold surfaces, improve the service performance of molds, and provide technical references for improving the quality and efficiency of molds in the manufacturing industry.

Keywords： mold processing; surface treatment; strengthening technology; service life

引言

现代制造业向着高精度、高效率、大批量的方向不断前进，模具是成型加工的主要工装，使用频率和服役负荷越来越大。模具工作表面与加工的物料直接接触，在长期的磨损、冲击的作用下，工作表面逐渐产生磨削、刮擦、拉毛、裂纹等现象，从而造成模具失效。大部分模具基体材料性能可以满足长期使用要求，但是表面耐磨、耐蚀、抗疲劳性能差，则易造成模具提前报废，影响生产连续性。传统的模具维护方式是以后修复为主，无法从源头改善表面性能的缺陷。依靠专业的表面处理和强化技术，可从根本上改善模具表层组织结构，提高综合服役性能。

一、模具表面主要失效形式及成因分析

（一）磨粒磨损失效

磨粒磨损是模具服役过程中出现最普遍的失效形式，常见于塑料模具、冲压模具、压铸模具等常用工装上。模具成型表面和

加工物料之间存在相对滑动，物料内部的硬质颗粒不断刮擦模具表面，使得模具表面材料逐渐脱落、轮廓变小。长期磨损会造成模具型腔尺寸产生误差，加工工件产生飞边、毛刺、尺寸超差等质量问题。模具表面粗糙度增大之后，摩擦损耗会更加严重，而造成恶性循环。磨粒磨损会不断降低模具的加工精度，缩短模

具的正常使用周期，属于影响模具使用寿命的常规因素。

（二）表面腐蚀失效

模具加工过程中使用到的特殊物料，在物料高温熔融状态下会析出腐蚀性介质，和模具金属表面发生化学反应。塑料熔体、压铸所用的合金流体均会存在一定的腐蚀现象，长时间下模具表面产生氧化层、起皮现象以及点蚀剥落等情况。部分生产车间的环境湿度比较大，模具在闲置存放时很容易出现氧化锈蚀的现象，造成模具表面的平整结构被破坏。腐蚀问题会改变模具表层的组织结构，使表面硬度和致密性下降，削弱模具抗磨损能力。腐蚀损伤具有累积性和隐蔽性，初期的损伤不容易被发现，长时间发展会使得模具大面积失效报废。

（三）热疲劳开裂失效

压铸模具、注塑模具经常受到频繁冷热交替冲击，模具表面温度快速变化，表层和基体热胀冷缩不一致。反复形变会引起表层金属疲劳应力集中，慢慢产生细微裂纹。由于生产次数不断增加，裂纹会慢慢向四周延伸、扩散开来，形成网状热裂纹，对模具成型表面有严重的影响。热疲劳开裂会造成工件表面产生纹路缺陷，从而影响产品的外观质量以及尺寸精度。

（四）塑性变形失效

模具在高压、高速冲击工况下，表面金属所受的载荷大于其承载极限时，便会发生局部塑性变形。模具型腔棱角边缘处易产生塌陷、塌边等变形问题，改变模具原来的成型轮廓。塑性变形多发生在模具刚投入使用，这与模具表面硬度不足、韧性差有关。轻微的塑性变形会使工件的成型精度降低，严重变形则会造成模具无法再正常使用。相比磨损、腐蚀来说，塑性变形失效的突然性更强，对生产稳定性的影响也更加直接^[1]。

二、常用模具表面基础处理技术

（一）表面抛光处理

抛光属于模具加工后期常用的表面处理工艺，主要用以改善模具型腔表面的平整度和光洁度。采用打磨抛光的方法去除模具表面的刀纹、划痕、氧化层，使模具表面的微观形貌得到细化，表面粗糙度得到降低。高光洁度模具表面可以减小物料的附着，降低成型过程中摩擦阻力，减缓磨粒磨损速率。平整光滑的表层结构可以减少腐蚀介质附着点位，提高模具表面抗腐蚀性。

（二）表面喷砂处理

喷砂处理依靠高压气流将硬质砂粒冲到模具表面，清除模具表面的氧化皮、锈蚀层和加工残留的毛刺。高速砂粒冲击会使模具表面形成均匀的微小凹凸结构，改善了模具表面的应力状态。喷砂处理可以统一模具表面的质感，消除局部表面的缺陷，提高后面镀层涂层的结合牢固度。经过喷砂处理的模具表面附着性能好，不会出现后期涂层脱落起皮的情况。该工艺操作简便、成本低，适合于各种模具预处理作业，是模具表面强化前的辅助工艺。

（三）表面清洗除油处理

模具加工及存放时表面会附着油污、粉尘、杂质等，如果不

及时清除，会影响后面强化处理的效果。常规清洗工艺采用溶剂清洗、超声波清洗相结合的方法，将模具表面的油脂污染物全部去除。洁净的模具表面可以保证热处理镀层处理的均匀性，防止局部处理不均、涂层脱落、硬化不足等现象的发生。清洗除油是基础性的预处理工序，可以改善模具表面强化工艺的稳定性，保证各种强化技术的实施质量^[2]。

三、模具表面使用寿命强化核心技术

（一）化学镀强化技术

化学镀技术用化学反应在模具表面形成均匀、致密的合金镀层，不需要外接电源，镀层厚度可以调节。镀层材料大多选用镍磷合金，具有高硬度、高耐磨、高耐蚀的综合性能，可以完全覆盖模具型腔复杂的曲面棱角结构。化学镀处理后的模具表面硬度显著提高，可以很好地抵抗物料的摩擦和介质的腐蚀。镀层组织结构致密稳定，孔隙率很低，将隔绝空气和腐蚀性介质，保护模具基体不受损害。该工艺适合于形状复杂的精密模具，处理后模具尺寸精度变化小，有效满足高精度成型生产的需要。

（二）电镀硬铬强化技术

电镀硬铬属于工业上成熟的应用模具表面强化技术，采用电解的方式在模具表面沉积硬质铬层。硬铬镀层硬度大、耐磨性好、摩擦系数低，可以大大减少模具成型过程中磨损的损耗。镀层有很好的耐氧化、耐酸碱腐蚀性能，可以适应各种工况环境。电镀硬铬工艺稳定、处理周期短，适合于各种常规模具的批量强化处理。经过电镀处理后的模具表面光洁度高，成型工件外观质量好，可以提高模具的使用寿命，降低模具的维护更换成本。

（三）激光表面强化技术

激光强化属于高精度现代化表面处理工艺，依靠高能激光束快速扫描模具表面，使表层金属快速升温熔化后迅速冷却。极速冷热循环可以改变模具表面的金相组织，形成细密均匀的硬化层，不需要再加涂层材料。激光硬化层和基体结合紧密，没有脱落分层的隐患，可以大大提高模具表面硬度、抗疲劳性能和耐磨性能。该技术可以做到局部精准加强，对模具型腔受力集中的地方进行定点处理，在提高局部强度的同时保持基体韧性，适合于高精度、高负荷模具的加工要求。

（四）等离子喷涂强化技术

等离子喷涂技术是用高温等离子焰流将陶瓷合金粉末熔化后高速喷射到模具表面，形成致密强化的涂层。根据工况要求可选用陶瓷粉末、金属粉末等不同的粉末来制备涂层材料，以提高模具的耐磨性、高温稳定性、耐腐蚀性。涂层厚度可调性好，可以满足高温压铸模具腐蚀工况下模具强化的需求。喷涂涂层可以隔绝高温介质和腐蚀介质，减缓热疲劳损伤和化学腐蚀损伤，大幅度提高恶劣工况下模具的使用寿命。

（五）气体氮化表面强化技术

气体氮化技术是用低温渗氮处理在模具表面形成高硬度的氮化物硬化层。氮化处理温度低，不会引起模具整体变形，可精准确保模具的尺寸精度。氮化层硬度高、耐磨性好，抗咬合、抗疲

劳性能好，有效防止模具表面出现拉伤、磨损、开裂等问题。经过处理后的模具表面耐蚀性显著提高，可抵抗一般的介质腐蚀^[3]。该工艺适合于塑胶模具、压铸模具等精密模具，效果稳定持久，是精密模具延寿的主要工艺之一。

四、不同工况模具强化技术适配应用

（一）塑料成型模具技术适配

塑料模具一般只受轻载荷的摩擦和很少的腐蚀，表面粗糙度、耐蚀性、耐磨性均需较高。常规塑料模具可以采用抛光加化学镀的复合处理工艺，使模具表面光洁度得到提高，同时提高模具的耐磨损、防腐蚀能力。高精度塑料模具可以采用气体氮化强化技术，在不改变结构的情况下提高表层硬度，防止长期成型出现表面磨损拉伤。对加入阻燃填料的腐蚀性塑料原料进行电镀硬铬处理，提高模具的抗腐蚀能力，适应长时间连续生产的工况，提高模具的使用寿命。

（二）冲压模具技术适配

冲压模具在高速冲击、反复摩擦的作用下，表面会慢慢磨损、塑性变形、疲劳损伤。冲压模具强化重点提高表面硬度和抗冲击能力，可以采用电镀硬铬加局部激光强化的方法。对模具刃口受力集中的地方做精确的激光硬化处理，提高局部硬度和抗变形能力。模具整体表面用电镀法来降低摩擦磨损速度。复合强化工艺可同时改善模具整体的耐磨性以及局部的抗冲击性，减少崩刃、磨损、变形等各类问题，提高冲压模具使用寿命^[4]。

五、模具表面处理与强化工艺优化策略

（一）依据工况制定差异化强化方案

不同种类的模具工况条件下失效形式有明显的差别，统一强化工艺无法适应所有的生产环境。企业要根据模具加工物料的生产温度、冲击负荷、失效特点来制定不同的强化措施。以磨损失效为主的模具侧重于耐磨强化工艺，以腐蚀失效为主的模具侧重于耐蚀涂层处理，以热疲劳失效为主的模具侧重于高温稳定强化工艺。精准匹配强化技术和模具工况，可以充分发挥工艺的优势，防止因工艺选择不当造成强化效果不佳、资源浪费等现象。

（二）优化预处理工艺流程

表面预处理质量直接影响到最终的强化效果，企业要规范预处理工艺流程。严格按照清洗、除油、喷砂、抛光的顺序进行前

置处理，将模具表面的油污、杂质、氧化层全部清除干净。根据模具表面缺陷情况来调节打磨精度，保证模具表面平整、洁净。预处理过程中防止残留杂质和局部缺陷，防止后面涂层脱落、硬化不均、镀层有瑕疵等问题的发生。标准化预处理可以提高强化层的结合强度和均匀性，保证模具表面强化质量稳定可靠。

（三）推进复合强化工艺融合应用

单一的表面强化工艺存在着性能上的不足，难以满足复杂的高强度工作条件。多种工艺联合使用可以互相弥补，从而达到模具表面性能全方位提高的目的。采用抛光预处理、氮化硬化、防护涂层的复合工艺可以同时提高模具的精度、硬度、耐磨性、耐蚀性。采用激光局部强化加等离子喷涂的复合工艺，将同时获得局部抗冲击性能和整体耐高温性能。复合强化能够克服单一类型工艺性能的不足，大幅提高模具综合服役性能，满足高强度连续化工业生产的需要。

（四）严格控制工艺操作参数

各种表面强化工艺的参数设置会影响强化层厚度、硬度均匀性以及结合强度。生产过程中要对温度、时间、功率、浓度这些主要的工艺参数进行严格的控制。激光强化时要控制扫描速度和激光功率，防止形成过薄的硬化层或者造成表层过热烧伤。氮化处理要准确控制温度和保温时间，使渗氮层均匀稳定。电镀、喷涂工艺要控制沉积速度、涂层厚度，防止产生涂层不均、起皮脱落的现象。标准参数控制可保证强化工艺的稳定性，提高模具批量强化质量的一致性^[5]。

六、结论

模具表面性能是影响模具使用寿命和加工精度的主要因素，模具服役过程中出现的磨损、腐蚀、热疲劳、塑性变形等绝大多数模具失效问题均由表层性能不足所导致。本文对模具各种表面失效原因进行了系统的分析，整理了抛光、喷砂、清洗等基础预处理工艺，研究了化学镀、电镀硬铬、激光强化、等离子喷涂、气体氮化等主要的延寿技术。根据塑料模具、压铸模具、冲压模具不同的工况进行技术适配分析，提出差异化的工艺制定流程优化、复合应用参数控制、后期维护综合优化策略。科学选用水处理及强化技术，可明显提高模具表面的硬度、耐磨性、耐腐蚀性、抗疲劳性能。未来，工业生产要不断改进工艺方案，依靠复合强化技术和标准化控制提高模具的服役性能，助力制造业实现提质降本增效。

参考文献

- [1] 孙志仁,胡志强,王自鹏,等.长寿命热作模具钢热稳定性研究[J].锻压技术,2026,51(1):284-290.
- [2] 王颖,周峰,曹文俊.塑料模具钢及其热处理对模具寿命的影响研究[J].南方农机,2025,56(23):128-131.
- [3] 黄晓梅.机械模具表面质量的数控-材料协同控制机制研究[J].冶金与材料,2025,45(09):34-36.
- [4] 罗昭富.精密锻造模具表面处理技术研究[J].锻压装备与制造技术,2025,60(01):137-140.
- [5] 姚炜莹,齐兴,单林杰,等.板式换热器常用模具材料及提高模具寿命的研究[J].锻造与冲压,2023,(12):49-52.