

超硬质相在高温磨损中的行为及抗磨性

刘政军 季杰 董晓强
(沈阳工业大学)

吴英杰
(抚顺发电机厂)

吴葵芬
(沈阳 东北制药总厂)

摘要 通过高温硬度、高温磨损试验,研究了铁基 Cr—Mo—W—V—Nb 系高温耐磨损料磨损等离子弧粉末堆焊合金,可以替代价格昂贵的镍基和钴基等离子弧堆焊合金。同时系统地研究了合金元素及其硬质相在高温磨损中的行为及堆焊合金的抗磨性。即 Cr_3C_3 (Cr, Fe)₇ C_3 、 Cr_3C (Cr, Fe)₃ C 、 WC 、 W_2C 、 NbC 、 VC 硬质相对堆焊层的组织、硬度和耐磨损性的影响规律。结果表明:硬质相的形态、数量和大小不同对堆焊层的抗磨性影响不同。

关键词: 耐磨合金 堆焊 硬度 耐磨损性

0 序 言

随着现代工业生产的不断发展,用堆焊方法将耐磨材料复盖在廉价材料上,既提高了耐磨损性,延长零件使用寿命,又节省贵重材料,降低了成本。尤其是高温耐磨损料磨损堆焊材料,国内外都应用价格昂贵的镍基、钴基堆焊合金修复和制造高温耐磨损件^[1],而本文针对上述问题系统研究了铁基高温耐磨损堆焊合金,超硬质相在高温磨损中的行为及耐磨损机理。并研究了硬质相的形态、数量、大小及分布对堆焊层常温硬度和耐磨损性、高温硬度和耐磨损性的影响规律。

1 试验方法及试验材料

1.1 试验材料

主要应用铬粉等各种合金。

1.2 试验方法

常温、高温磨损分别是在胶轮磨损试验机 G W/ML—MS 销盘式高温磨损试验机上进行。磨损规范见表 1。

表 1 磨损试验规范

Table 1 Parameters of wear test

Abrasive material and its size	Quartz sand 50~70 orders
Rotational speed of wheel	72 r/min
Diameter of wheel	200mm room temperature wear
Surface pressure of wheel	150N/cm ²
Wear time/Piece	10min/ piece
Temperature	760 °C
Load	38.8N
Slide speed	0.175 m/s high temperature wear
Wear dish	Heat sprayed layer of Al_2O_3
Wear time	1h

所研制的铁基 Cr—Mo—W—V—Nb 系合金的常温耐磨损性以 Stellite No 12 钴基合金堆焊层为标准试样,即相对耐磨损性:

$$\epsilon = \frac{\text{钴基试样绝对磨损量}}{\text{试验的试样绝对磨损量}}$$

镍基合金的耐磨损性低于钴基 Stellite No 12,所以 ϵ 不采用镍基合金标准试样。Stellite No 12 堆焊层 760 °C 硬度为 HV 272.6(275, 272, 271); 磨损失重 ΔW 为 6.8mg。

2 试验结果及分析

2.1 合金元素及其硬质相对堆焊层硬度、耐磨性的影响

为了说明合金元素对堆焊层性能的影响,首先将其它元素及其含量固定不变(含量为优化设计所得),研究每种元素含量对堆焊层性能的影响规律。图1是几种合金元素对堆焊层硬度、耐磨性的影响规律。

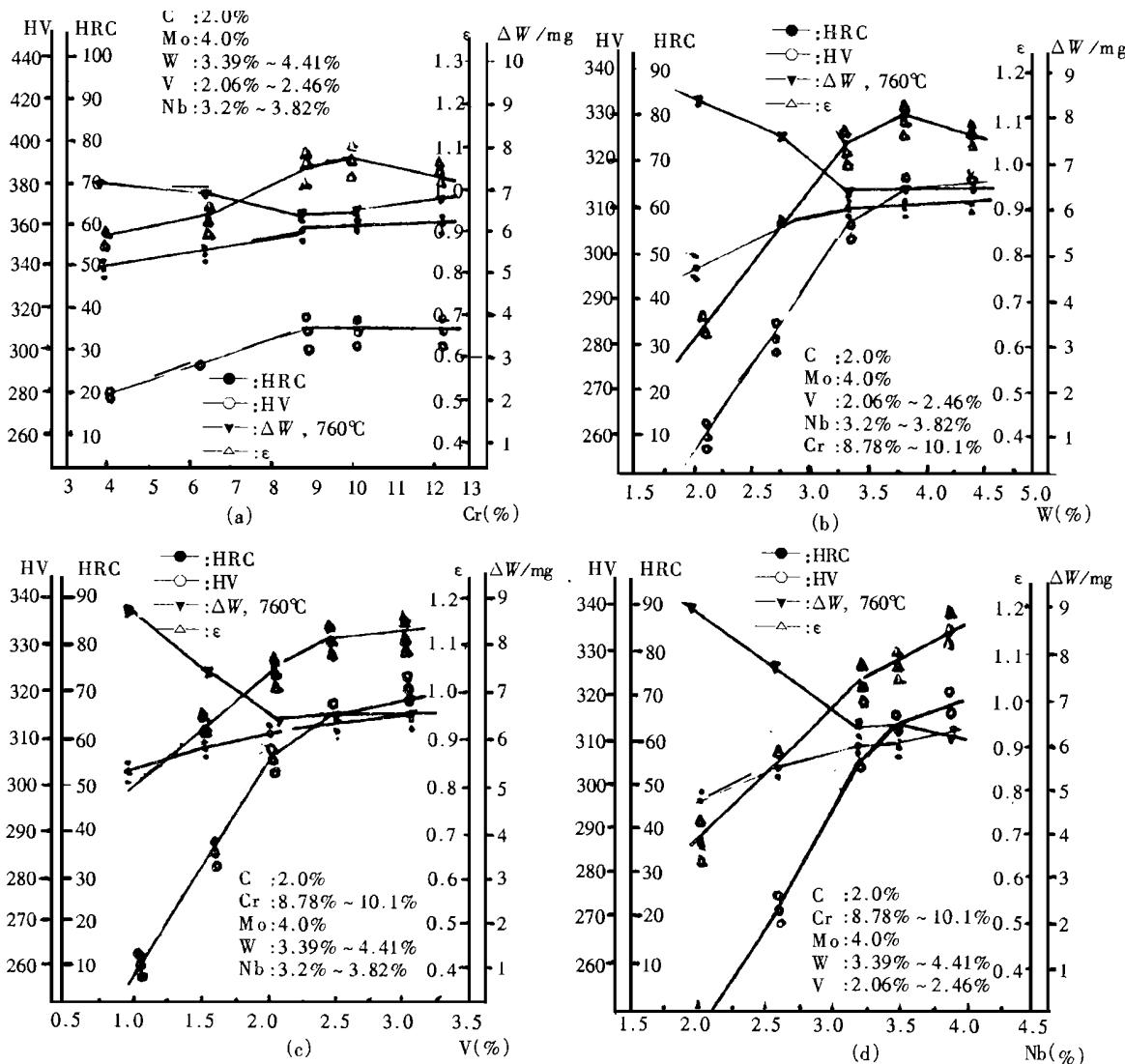


图1 合金元素对堆焊层硬度、耐磨性的影响

Fig. 1 Effects of elements on hordness and wear-resistibility of surfacing

铬是生成硬质相 Cr_7C_3 和 Cr_3C 的元素(如图1、图3)。当Cr含量小于10.1%时铬含量增加,堆焊层中Cr主要以 $(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$ 和 $(\text{C}, \text{F})_3\text{C}$ 形式存在(见图2、图3d、图4a)。但铬有缩小奥氏体相区的作用,含量过多生成脆性 σ 相,因此该合金铬含量不宜过高,应为8.87%~10.1%,方可充分形成均匀分布的 $(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$ 和 $(\text{C}, \text{F})_3\text{C}$ 。

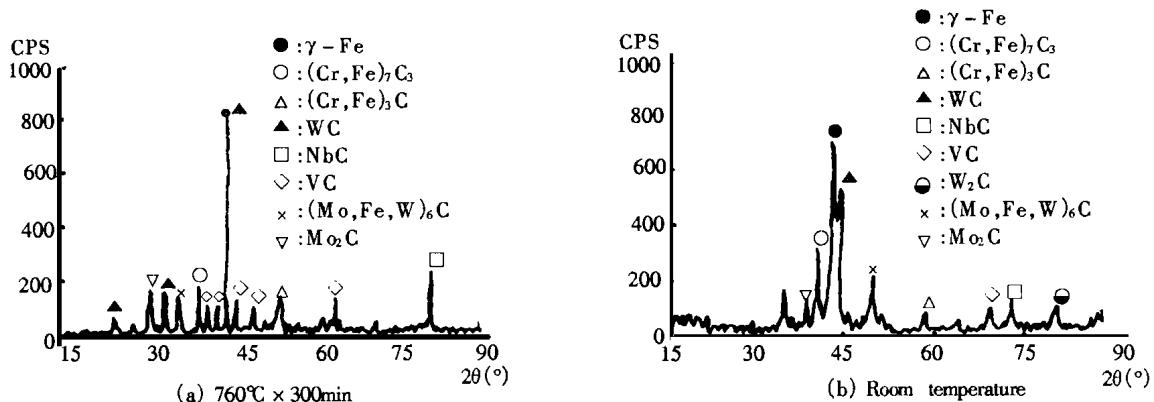


图2 堆焊层X—射线衍射图(C2.0%、Cr8.94%、W4.4%、Nb3.2%、Mo4.0%)

Fig. 2 X—ray diffraction patterns of hardfacing layer

钨对常温硬度、高温硬度和耐磨性的影响规律如图1(b)所示。随着钨含量增加,堆焊层使常温硬度、高温硬度随之增加。相对耐磨性 ϵ 及高温耐磨性亦增加,失重 ΔW 减少。钨的质量大,除固溶强化作用外,和碳亲合力较大,形成WC和W₂C(见图2)。但研究证明:钨含量过高,堆焊层的抗裂性变差,因此堆焊层钨含量应限制在3.39%~4.4%。

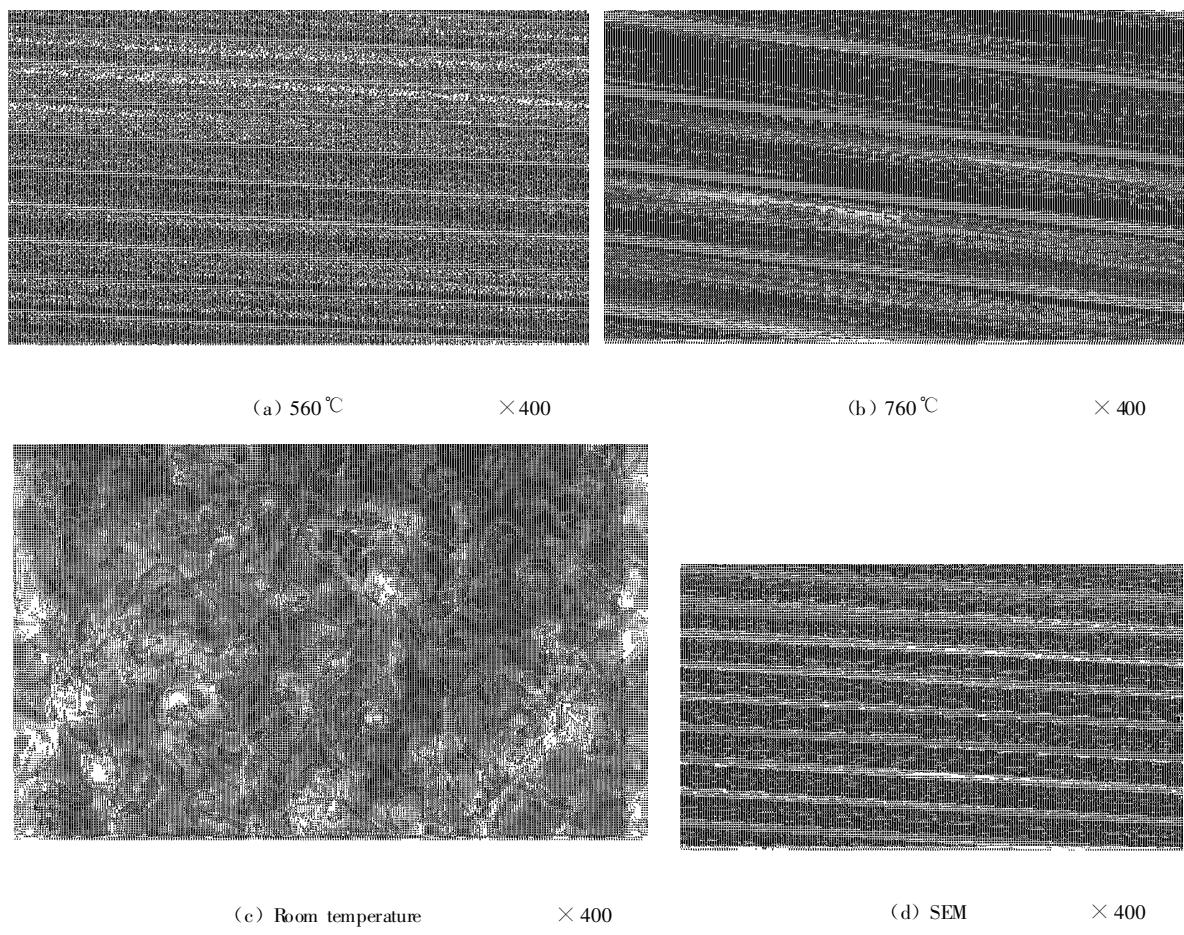


图3 堆焊层显微组织(C2.0%、Cr8.94%、W4.4%、Nb3.2%、V2.5%、Mo4.0%)

Fig. 3 Microstructure of hardfacing layer

钒对堆焊层硬度、耐磨性的影响规律如图3(c)所示, 钒同钨一样是亲碳元素, 在堆焊层中和碳形成VC硬化堆焊层。随着钒含量增加, 堆焊层的硬度、耐磨性均得到提高。当堆焊层中钒含量为2%~2.5%时, 堆焊层的常温耐磨性 $\epsilon \approx 1.13 > 1$, 高温磨损失重 ΔW 为6.4mg, 低于stellite No 12的磨损失重, 即耐磨性较高。

铌也是强碳化物形成元素, 堆焊层中铌主要以NbC硬质相存在(图2、图4c)。从图4(c)中可知: 图3(d)中组织6为NbC硬质相。堆焊层中Nb含量增加, 硬度HRC、HV、相对耐磨性随之增加, 高温耐磨性亦增加, 即失重 ΔW 减少(见图1d)。Nb含量大于3.51%时, 耐磨性稍有下降。其原因是Nb含量过多, 除和碳形成NbC硬质相外, 剩余Nb形成Nb₂O₅降低耐磨性。同时也会降低堆焊合金的抗裂性。因此铌含量应控制在3.2%~3.51%范围内。

钼属于缩小奥氏体相区的元素, 钼在堆焊层中存在于固溶体相和碳化物中, 在碳化物相中, 当钼含量较低时, 与铁及碳形成复合的渗碳体; 当含量较高时, 则形成它自己的特殊碳化物。钼的扩散速度小于碳的扩散速度。堆焊层中还有铬、钨、钒和铌碳化物形成元素, 由于含钼量大于8.8%, 因此(Mo, Fe)₆C将优先形成。在这种碳化物中Cr、W和V都能被溶解。钼是能够有效地提高堆焊层的淬透性的合金元素。淬透性是堆焊层的重要工艺性质。为了改善耐磨损能力, 堆焊层在避免产生裂纹情况下充分硬化。因此堆焊层中加入4%左右的钼。

除此之外, 加入钼还可降低形成Cr₇C₃的铬的临界值^[2], 左移共晶点, 形成或增加过共晶碳化物, 其形态为鱼骨状(见图3d)对提高耐磨性非常有利。另外Mo破碎并细化初生碳化物。在钨、钒、铌共存的条件下形成优质多元复合碳化物使硬质相强韧和坚硬, 数量和形貌均获改善, 改善堆焊层红硬性。

2.2 堆焊层的等耐磨性

图5是堆焊层的常温等耐磨性曲线。曲线综合研究了V-Nb、W-Nb、W-V对堆焊层耐磨性的共同作用规律。从图5可知 $\epsilon=1$ 虚线左侧区域合金堆焊层常温耐磨性与stellite No 12相比很低。右侧堆焊层耐磨性较高 $\epsilon \geq 1$, 故可以确定合金的成分范围。其对堆焊合金的研究具有指导意义。

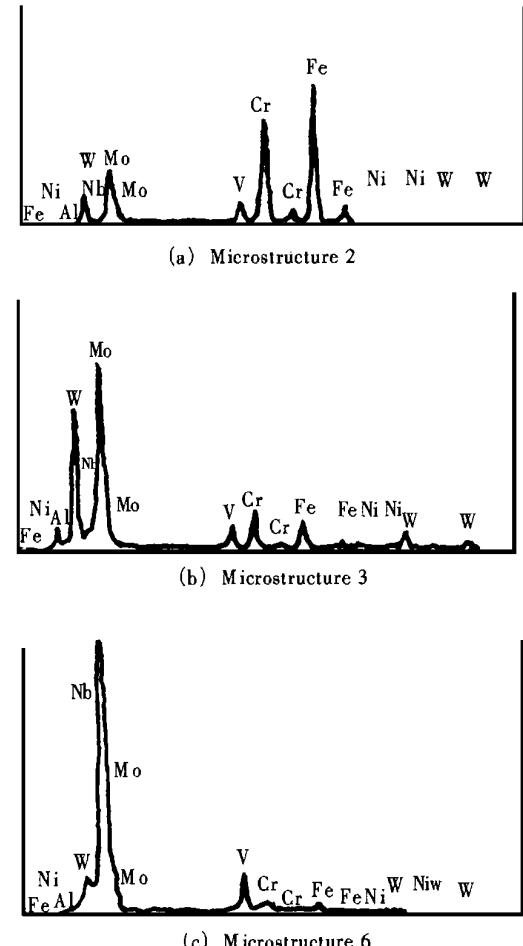


图4 图3(d)中各组织化学成分能谱分析

Fig. 4 Energy spectrum analyses of chemical compositions in Fig. 3(d)

2.3 超硬质相在高温磨损中的行为

从图2(b)、(c)、图3(a)、(b)可知,随着温度增加,堆焊层中硬质相WC、NbC、VC、Cr₇C₃[(Cr, Fe)₇C₃]、Cr₃C[(Cr, Fe)₃C]均没有任何变化。在高温760℃情况下,堆焊层有较多的多元复合硬质相,增加堆焊层的硬度和耐磨性。防止堆焊层在磨料磨损的情况下犁沟及显微切削作用,提高抗磨性。

堆焊层中有较高的 Cr, 又增加其高温抗氧化能力。

3 结 论

(1) 堆焊层中当 $Cr < 10.1\%$ 时, 随着铬含量增加堆焊层的常温硬度、高温硬度、相对耐磨性、高温耐磨性随之增加, 堆焊层具有一定的抗氧化能力。

(2) 随着堆焊层中 W、Nb 和 V 含量增加, 其常温硬度, 高温硬度和高温耐磨性均随之增加。但钨、铌和钒含量应分别限定 $3.39\% \sim 4.4\%$ 、 $3.2\% \sim 3.51\%$ 和 $2\% \sim 2.5\%$ 。

(3) 通过高温金相、电子显微镜、X 射线衍射分析得知：堆焊层中加入 C、W、Nb 和 Vr 形成相应的硬质相 Cr_7C_3 [(Cr, Fe) γ C_3]、 Cr_3C [(Cr, Fe) γ C]、WC、W₂C、NbC、VC，从而增加堆焊层的红硬性。

(4) 铁基 Cr—Mo—W—V—Nb 系堆焊合金中, 当堆焊层 C: 2.0%、Mo: 4.0%、Cr: 3.37% ~ 10.1%、W: 3.39% ~ 4.4%、Nb: 3.2% ~ 3.51%、V: 2% ~ 2.5% 时, 该堆焊合金高温(760 °C)抗磨料磨损性接近或超过 Stellite № 12, 可替代钴基堆焊合金和镍基堆焊合金。

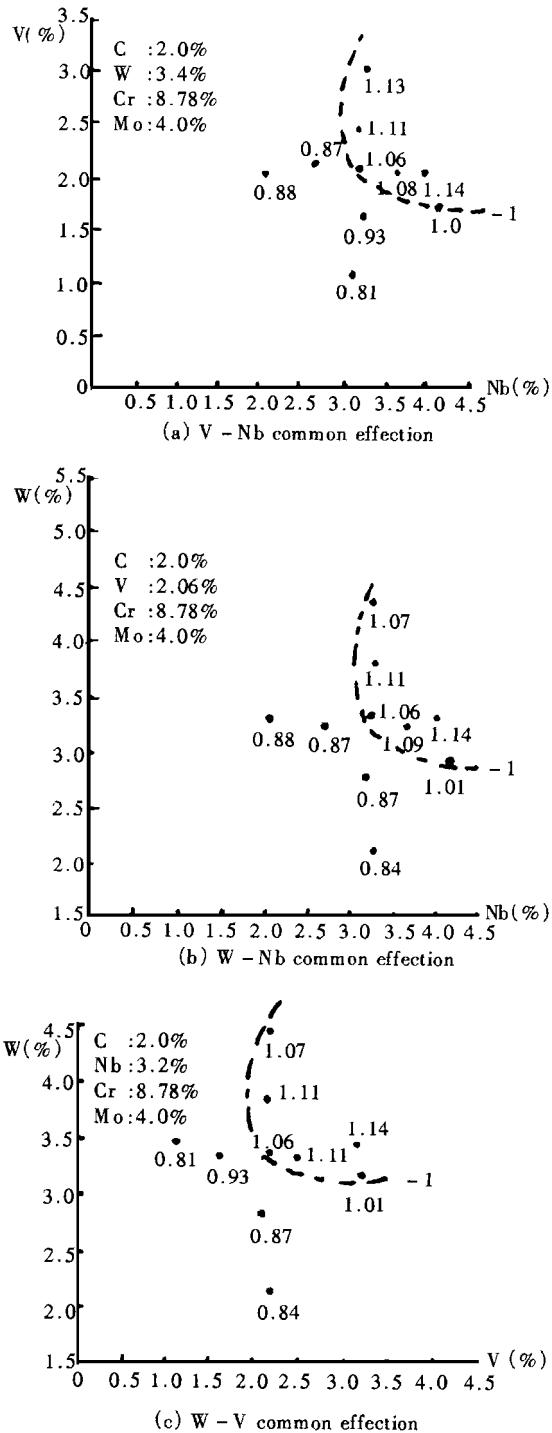


图 5 堆焊层等耐磨损性曲线
Fig. 5 Curves of equal wear—resistibility of hardfacing layer

参 考 文 献

- 1 顾玉熹.超硬质相对堆焊层耐磨性的影响.沈阳工业大学学报,1987(6): 65~69.
- 2 赵文章.硬质耐磨堆焊材料及硬质相.焊接,1989, (1): 1~5.
- 3 刘家浚,李诗卓等.材料磨损原理及其耐磨性.北京:清华大学出版社,1990.
- 4 Clark WP T. Development of thermal spray hard surfacing. Welding Journal, 1981, (2): 125~129.
- 5 合金钢手册编委会编.合金钢手册.北京:冶金工业出版社,1981, 349.

Wear Resistance and Behavior of Hard Phases in High Temperature

Liu Zhengjun, Ji Jie, Dong Xiaoqiang

(Shenyang Polytechnic University)

Wu Yingjie

(Fushun Power Station)

Wu Kuifen

(Northeast General Pharmaceutical Factory, Shenyang)

Abstract Through the tests of high temperature hardness and wear resistance, the properties of iron-base Cr—Mo—W—V—Nb system plasma arc surfacing alloy high temperature abrasive wear resistance are investigated. This alloy can replace the expensive Nickel—base and Cobalt—base plasma arc surfacing alloys. The wear—resistance of surfacing alloys and behavior of hard phase in high temperature are investigated systematically, i. e. the effect of hard phases, such as Cr₇C₃ [(Cr, Fe)₇C₃], Cr₃C [(Cr, Fe)₃C], WC, W₂C, NbC and VC, on microstructure, hardness and wearability of the surfacing layer has been studied. The results prove that the different shape, amount and size of the hard phase have different effect on the wear—resisting of the surfacing layer.

Key words wear resistance alloy, hardfacing alloy, surfacing, wear resistibility

作者简介 刘政军,男,1962年11月出生,党员,1980年由黑龙江省讷河市考入沈阳工业大学。1995年8月天津大学博士毕业并获得博士学位,1994年被评为副教授。

从1987年5月参加工作以来,一直在沈阳工业大学从事教学和科研工作,先后独立完成辽宁省科委自然科学基金项目《多元复合强化等离子弧堆焊合金优化设计及耐磨机理》等9项课题,共发表30余篇学术论文,现已参编《焊接工程综合试验技术》一书,并独立编写了《锅炉、压力容器焊接及缺陷防止》一书共40万字。