

激光电弧复合热源增材制造温度场与变形模拟

贾亚洲¹ 孙氏琪¹ 李步凯¹ 方敏²

(1.北华航天工业学院 材料工程学院, 河北 廊坊 065000;
2.闽毕威阀门有限公司, 浙江 丽水 323000)

摘要:利用Simufact Welding软件对激光电弧复合热源增材制造过程的温度场、应力场以及变形量进行数值模拟。分析不同熔覆层的横向、纵向等效应力及变形规律,工艺参数对变形的影响程度。结果表明:由横向物理场可见,冷却后基板中心与两侧变形量较大,整体呈“W”形;由纵向物理场可知靠近热源出现局部应力减小现象,变形量最大处出现在远离结束热源一侧;通过层间物理场规律分析,可以看出等效应力集中在底层,由于变形累加,变形量集中在最上层,温度部分出现三次重熔的现象。

关键词:激光电弧复合,增材制造,温度场,变形

中图分类号:TG404 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-7938(2024)04-0019-03

0 引言

激光与电弧双热源复合作用于待焊金属表面,其协同效应可同时弥补了两种焊接方法的不足,成为了当前具有极大发展空间的新型焊接热源^[1-4]。

传统丝材增材进行堆积时,整体散热逐渐变差,层间温度累加,极易变形甚至坍塌。激光电弧复合热源增材在不同工艺下的温度场变化更复杂,成形件产生复杂的热应力,故极易出现变形、翘曲等工艺缺陷^[5-6]。刘国昌结合数值模拟,分析了多道单层激光辅助电弧增材制造的应力场演变规律,激光功率在900W时成形件的变形较小。

本文建立了激光电弧复合热源增材制造数学模型,通过模拟观测温度场与应力场的变化,分析不同工艺参数对变形的影响,为获得小变形成形件的激光电弧增材制造工艺提供理论基础。

1 模型建立与热源

图1为增材制造模型,其中基板宽40mm,长

60mm,厚10mm,堆积层宽4mm,长40mm,厚2mm,堆积层数5层,堆积层与基板均选用316L不锈钢。复合焊热源模型可将电弧焊的表面热源与堆积层的上表面平行,激光焊热源与电弧焊热源的最低点平行。

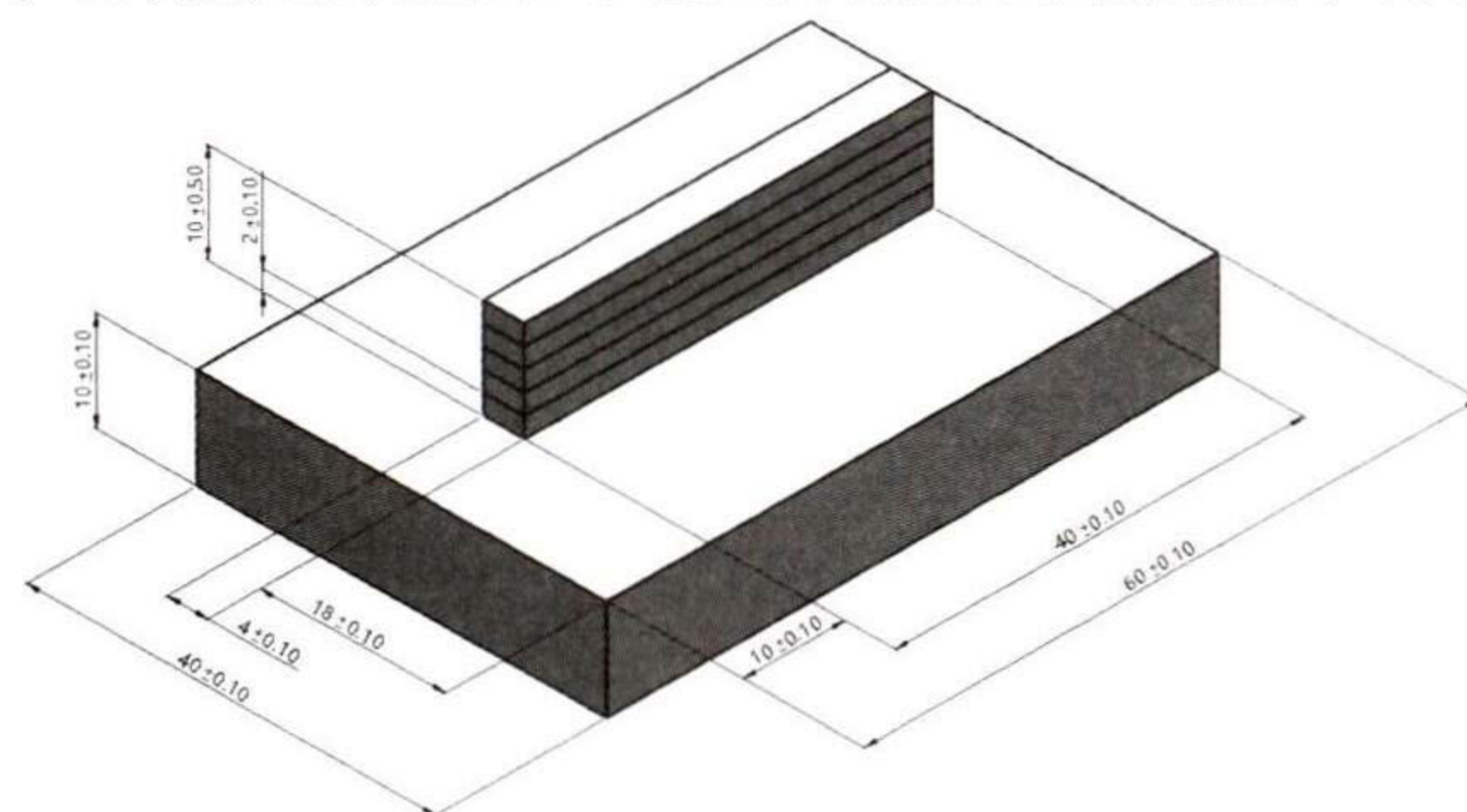


图1 增材制造模型及尺寸

2 实验结果与分析

2.1 温度场规律分析

图2为单道多层堆积成形温度场演变过程,工艺参数为激光功率1000W,效率0.8;焊接速度14mm/s,焊接电流80A,电压30V,效率0.6。为清晰观察动态变化,从四个角度对比分析。由图a1可见复合热源增材第一层与电弧焊双椭球状热源相似,前端温差大且密集,尾部温差小而疏松。由图b1可见热源有下凸状,呈现出激光热源的高斯锥形状,由图c1可见,形成了类似高脚杯状的温度场。而通过图d1可见,熔池呈前端小后端大的形状,散热情况较好。

对比图b1-b5可知,随着层数的增加,热量逐渐积累,熔池越深,由第四、五层图b4-b5可知,

基金项目:中央引导地方科技发展资金项目(236Z1001G),河北省自然科学基金(E2021409029),河北省高等学校科学技术研究青年基金(QN2022111),国防创新基金项目(GFCXJJ202401)

收稿日期:2023-02-06

第一作者简介:贾亚洲(1990-),男,讲师,博士,河北保定人,主要研究方向为激光电弧复合焊接过程控制、电弧增材制造工艺优化。

熔深也有一个极限,最多可影响到三层。对比图 c1-c5,基板上温度逐渐向更宽更深扩散,而对比图 d1-d5,随着堆积层的增加,基板上的温度场由原先的前端小后端大,逐渐演变成前后大小一致。

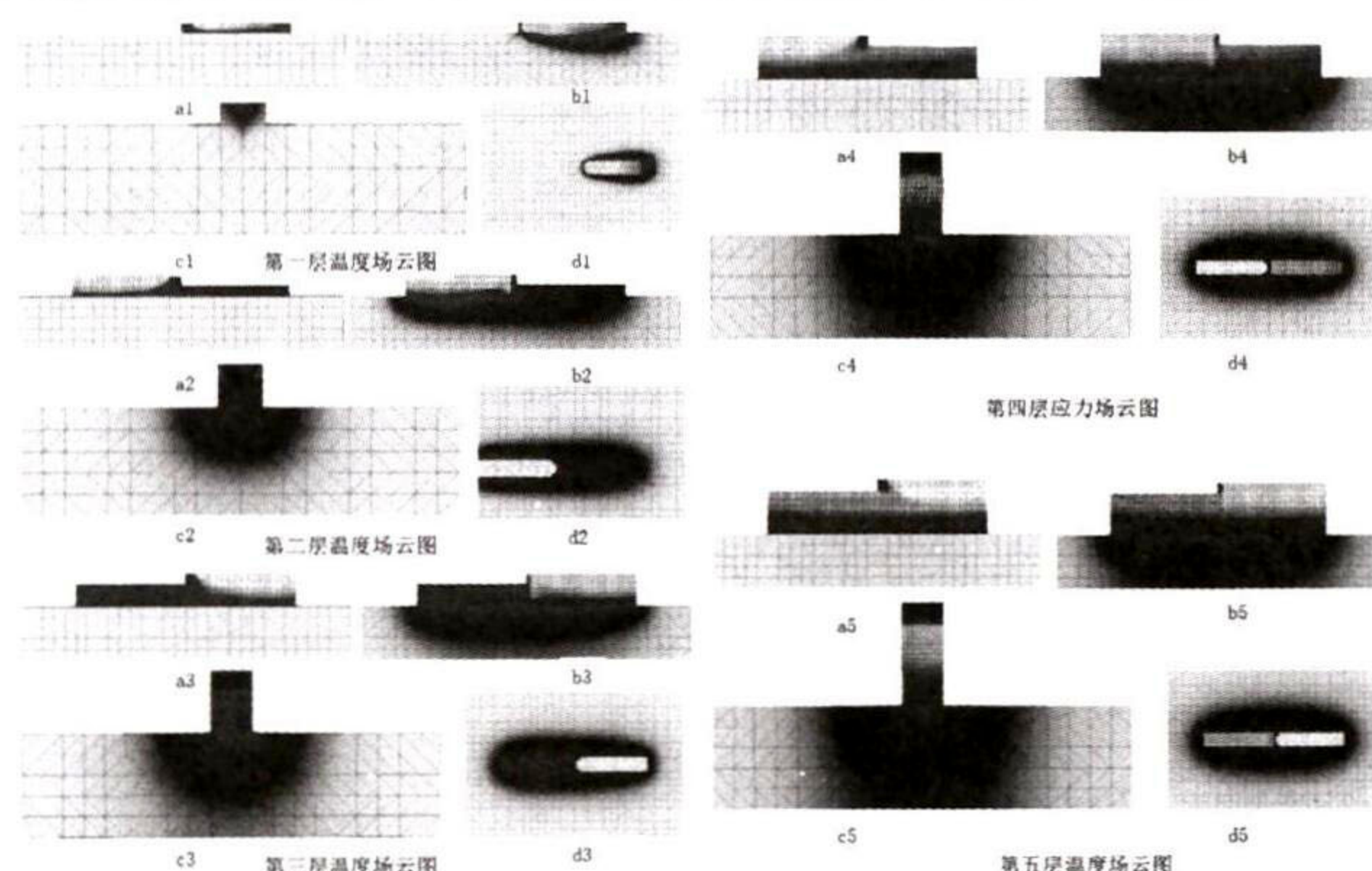


图 2 增材制造温度场演变过程

2.2 横向物理场规律分析

以堆积层与基板重合部分的中心点为参考,垂直于堆积层对称打点,在距离中心点 6mm 内,间隔 0.2mm 打点,在 6-20mm 之间,间隔 1mm 打点。图 3 为 0-200s 下横向不同增材中心距离对应的等效应力场。等效应力集中出现在增材中心与基板两侧,大小基本一致,在两侧到中心处出现等效应力凹陷,两侧应力集中,中间凹陷。

增材中心处不同时间下的等效应力如图 3,由 1-5 层可知,随着层数增加,等效应力先减小后回升。并且前三层的层与层之间都有一个下落回升,因为上层对下层的重熔,并且随着热源远离,等效应力逐渐降低,印证了之前温度场、应力场会影响到下两层的情况,而第三层与第四层之间则是直接下降,证明第四层并未出现重熔,第五层回升,进一步证明重熔结束。大约 20s 时等效应力结束快速回升,缓慢增加到 160s,达到最大等效应力值 303MPa。

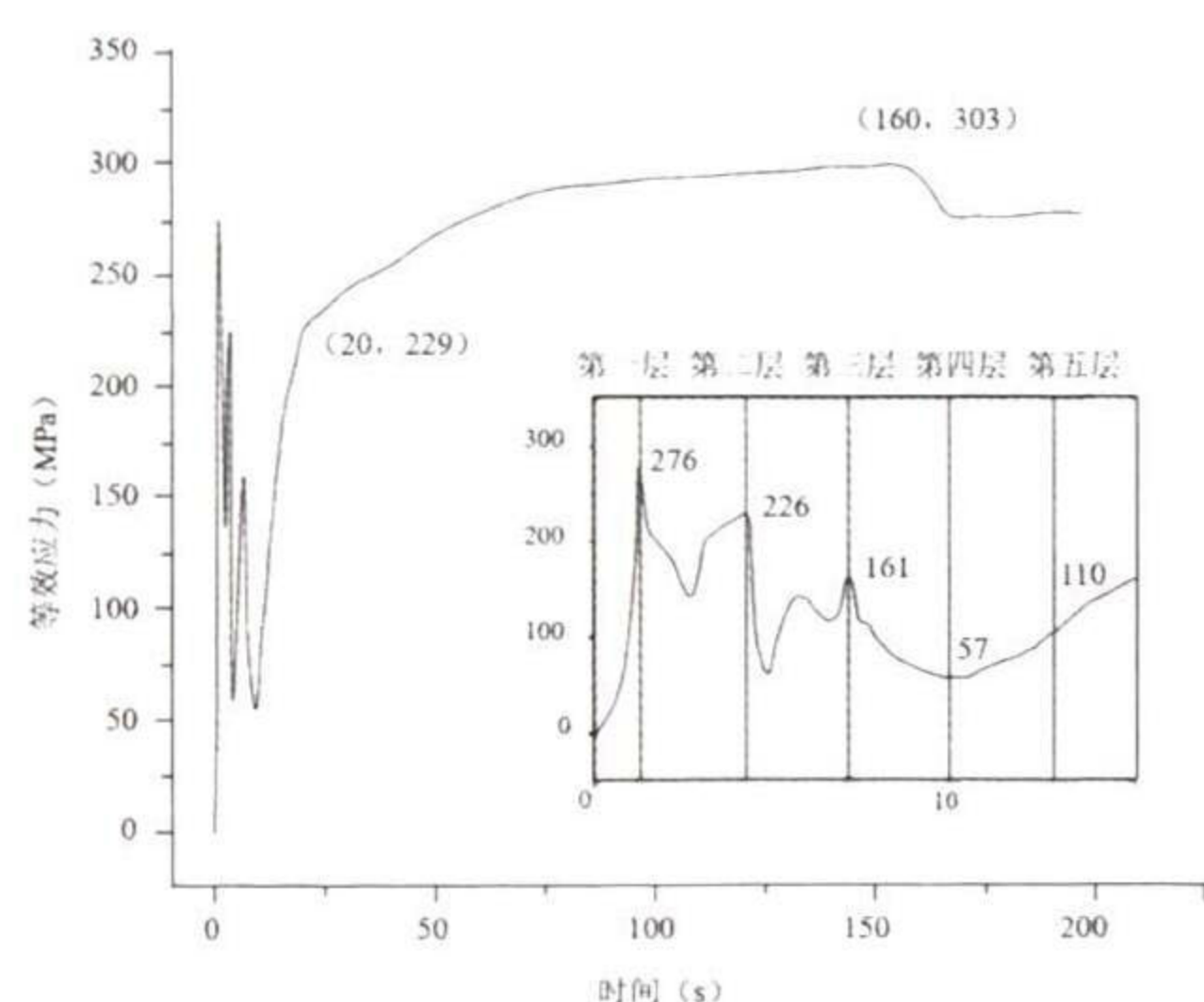


图 3 增材中心不同时间等效应力图

截取增材中心处不同时间的变形量做图 4,截取基板最边缘增材中心距离 20mm 处不同时间的变形量做图 5。前期变形出现在增材中心,基板两边变化不大,后期中间变形量减小,两边变形量增大。由图 4 中心处前期局部放大图可知,随着层数的增加,层数对变形量的影响较小,变形量基本保持在 0.129mm 左右,变形量随着冷却时间的推移以波浪状逐渐减小。由图 5 对基板局部放大图分析,随着层数的增加,变形量缓慢增加,大约共增长 0.05mm 左右,对比 0-200s 变形量可知,变形量大约在 40s 增长到最大值,达到 0.115mm,而后保持在 0.1mm 上下浮动。

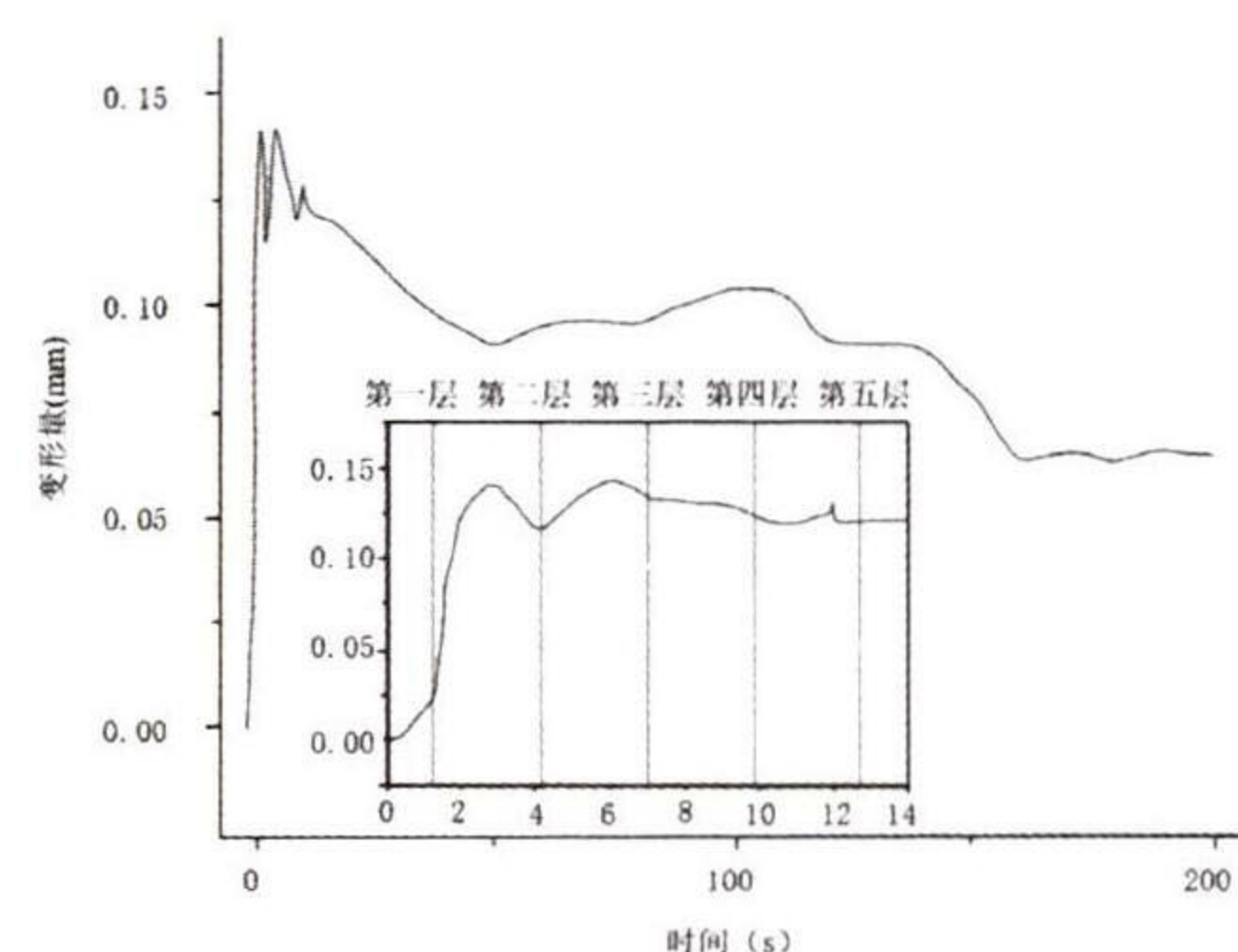


图 4 增材中心处不同时间变形量

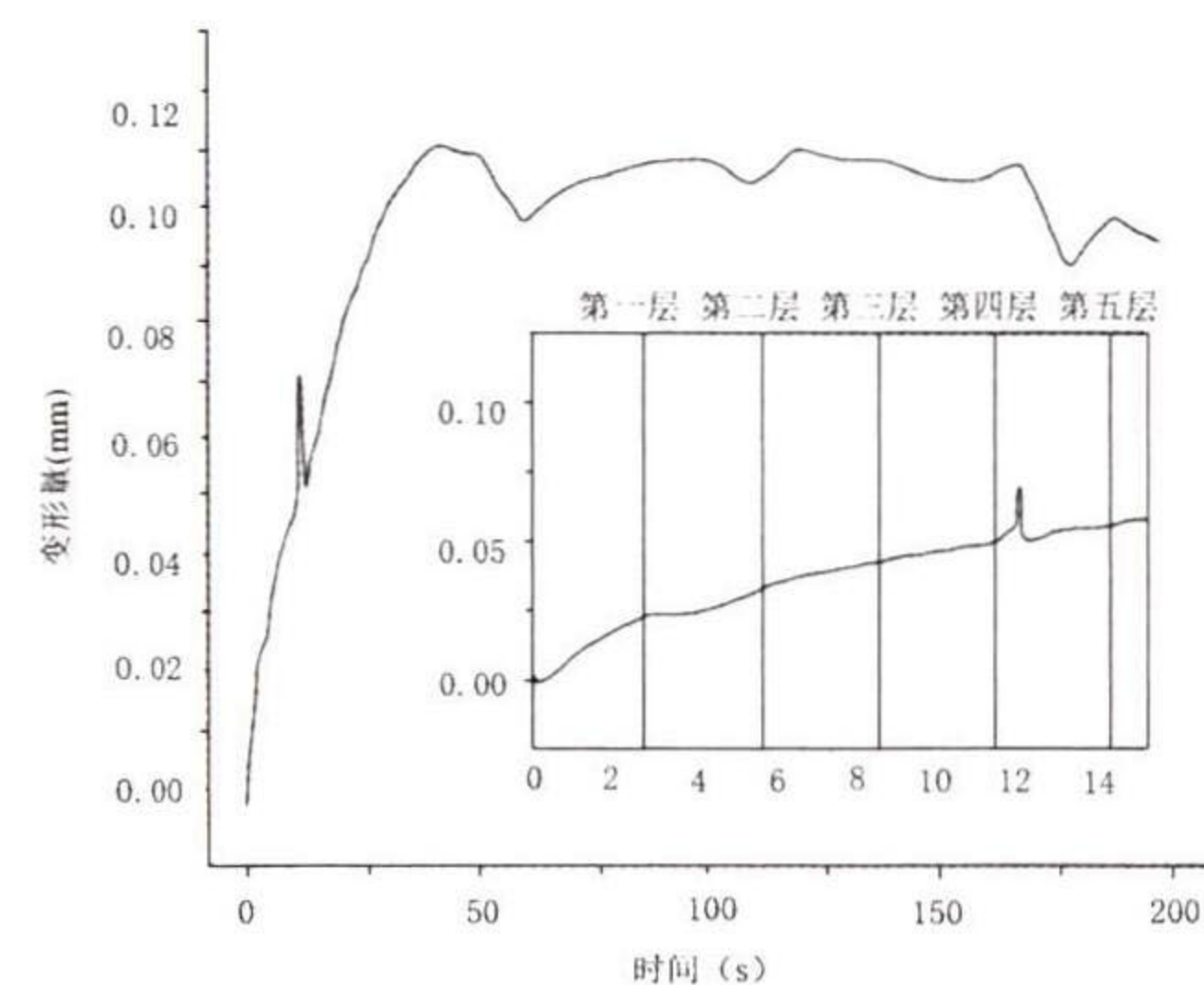


图 5 基板边缘处不同时间变形量

2.3 纵向物理场规律分析

以堆积层与基板重合部分的中心点为参考,沿堆积层方向对称打点,间隔 1mm,总长 60mm。根据 0 到 200s 不同增材中心距离对应的等效应力,可以看出前期应力场波动较大,后期相对形成中部高宽、两侧低窄的形貌。

在增材过程中,前期变形量呈倒 U 状,并不因往返堆积有较大变化,基本与等效应力形成一致。继续对冷却后的变形量进行分析,选取时间分别是 16s、20s、30s、40s、50s、160s、200s,通过图 7

可知在冷却前期还保留着倒U状(16–30s),而增材中心负值部分(–30–0mm)变形量较大,正值(0–30mm)部分较低,这是因为负值部分是增材结束的部分,因此保留了堆积过程中的变形量。正值部分远离收弧点,其变形量随着温度的降低而下降,30s以后,变形量呈现出倒U状中部变形量减小,而正值部分出现最大变形。

3 结 语

建立了激光电弧复合热源增材模型,通过仿真分析整体过程的温度场、应力场并截取横向、纵向与层间部分分析其变形规律。

(1)通过温度场云图可以看出激光电弧复合热源呈高脚杯状,对其整体温度场分析可知热源集中会出现重熔,不利于散热。对其应力场分析,可以由于激光焊的帮助下,提供了较深的熔深,使得下两道堆积层可以进行重熔,减少之间的温差,使得应力差较小,从而增材过程中,较少出现应力集中的问题。

(2)由横向物理场可以看出基板中心与两侧变形量较大。通过纵向物理场,可知在靠近热源,而不在热源的后方有局部应力减小现象出现,冷却后,变形量最大的地方出现在远离结束热源一侧。

参考文献:

- [1] 肖荣诗,吴世凯.激光–电弧复合焊接的研究进展[J].中国激光,2008(11):1680–1685.
- [2] 张林.7A52铝合金厚板激光–MIG复合焊接工艺研究[D].南京理工大学,2018.
- [3] 王丹.激光–MAG复合焊焊接Q345D/304数值模拟[D].西南石油大学,2018.
- [4] Moriaki Ono, Yukio Shinbo. Development of Laser–arc Hybrid Welding [J]. NKK Technical Review No.86, 2002
- T.Graf, H.Staufer. Laser–hybrid welding[J]. Welding Journal, 2003(1):42–48.
- [5] 卢秉恒,李涤尘.增材制造(3D打印)技术发展[J].机械制造与自化,2013,42(04):1–4.
- [6] 程俊廷,常天瑞.金属增材制造技术研究与应用现状及趋势[J].中国设备工程,2018:181–183.

Simulation of Temperature Field and Deformation in Laser Arc Hybrid Heat Source Additive Manufacturing

Jia Yazhou¹ Sun Shiqi¹ Li Bukai¹ Fang Min²

1. School of Materials Science & Engineering, North China Institute of Aerospace Engineering, Langfang 065000, China; 2. FBV INC. Lishui 310000, China)

Abstract: Using the Simufact Welding software, the temperature field, stress field and deformation of the laser arc hybrid heat source additive manufacturing process were simulated, and the transverse, longitudinal and interlayer equivalent stress and deformation laws of different cladding layers along with the influence of process parameters on deformation were analyzed through experiments. The results show that from the lateral physical field, the deformation of the center and both sides of the substrate after cooling is large, and the overall shape is "W". From the longitudinal physical field, it can be seen that the local stress reduction phenomenon occurs near the heat source, and the maximum deformation occurs on the side far from the end heat source. According to the analysis of the laws of interlayer physical field, the equivalent stress is concentrated in the bottom layer, and due to the accumulation of deformation, the deformation is concentrated in the top layer, and the temperature part is remelted three times.

Keywords: laser arc hybrid, additive manufacturing, temperature field, deformation