QuaL-DED

Total control of laser-based additive manufacturing for zero defect metal components

Programm / Ausschreibung	Produktion der Zukunft, Produktion der Zukunft, 32. AS PdZ - Nationale Projekte 2019	**Status**	abgeschlossen
Projektstart	15.04.2020	**Projektende**	13.10.2023
Zeitraum	2020 - 2023	**Projektlaufzeit**	43 Monate
Keywords	process control; laser-based additive manufacturing; chemically graded additive manufacturing (CGAM); in-situ chemical composition control; industrial sensors; zero-defect manufacturing;		

Projektbeschreibung

Additive Fertigung (engl. AM) ist eine Technologie, die neue Möglichkeiten in der personalisierten Produktentwicklung eröffnet und die Realisierung beispielloser Designs und Funktionalitäten ermöglicht, jedoch nicht frei von Herausforderungen und Schwächen ist. Insbesondere die Herstellung großer Bauteile mit Laserauftragschweißen (engl. L-DED) erfordert den Einsatz hoher Laserleistungen und Energieeinträge, wodurch die Prozessstabilität als auch die Prozessqualität herabgesetzt wird, was letztendlich zu Fehlern in den Bauteilen führt. Das Risiko eines Fehlers bei der Bauteilherstellung mittels L-DED hat mehrere Ursachen, aber zu den wichtigsten gehört das mangelnde Gleichgewicht der Prozessparameter: Energie- und Masseneintrag. Sind diese Parameter unausgewogen, treten im gefertigten Bauteil Eigenspannungen und Verformungen auf, die letztendlich zu Verwerfungen und Rissen im Bauteil führen. Der Energieeintrag bei der Laserbearbeitung hängt von der Strahlintensitätsverteilung (Strahlform) ab, die auch die thermische Entwicklung des verarbeiteten Materials und damit die metallurgischen Eigenschaften bestimmt. Was den Masseneinsatz betrifft, so hängt er hauptsächlich von der Menge des zu schmelzenden Materials ab (Pulverzufuhr). Eine direkt messbare Folge des Gleichgewichts zwischen Energie- und Masseneintrag ist das Schmelzbad, das konstant gehalten werden muss. Mit anderen Worten, um den Ausfall von L-DED-Bauteilen zu vermeiden, ist es erforderlich in (nahezu) Echtzeit, die Strahlform und das Schmelzbad mittels Laser- und Materialzuführungsparameter zu steuern. Neben der Wärmeübertragungsdynamik ist es darüber hinaus von großer Bedeutung, den Rohstoff und die Atmosphäre zu kontrollieren, da diese zu beabsichtigten und unbeabsichtigten Schwankungen in der Zusammensetzung des verdichteten Materials führen und zur Porosität im Inneren des Materials beitragen.
Das Hauptziel von QuaL-DED ist daher die Erforschung eines Konzepts für ein vollständiges Qualitätsbewertungssystem (engl. QA) für L-DED, das die Prozessstabilität gewährleistet und den Weg für die Herstellung fehlerfreier metallischer Komponenten ebnet. Dieses allgemeine Ziel erfordert die Erreichung von drei spezifischen Hauptergebnissen: Entwurf und experimentelle Erprobung (1.) eines Strahlqualitätsüberwachungskonzepts, (2.) eines Qualitätskontroll (engl. QC)-Konzepts für den Energieeintrag (bestehend aus Schmelzbad und Pulverflussregelsystemen) und (3.) eines Inline-QA-konzepts für die Zusammensetzung und Porosität eines konsolidierten Materials.

Diese Konzepte werden zu einem integrierten, vernetzten Konzept des QA-Tools für die L-DED-Prozesskontrolle zusammengeführt und unter Laborbedingungen getestet. Die erwartete Nutzung des QuaL-DED-Systems ist wie folgt (von kurz- bis langfristig):

• Schnellerer Anlauf in der Prozessentwicklung von Laserauftragschweißen (Oberflächenbeschichtung, Bauteilreparatur und der vollständigen Laser-AM 3D-Komponenten), wodurch die Entwicklungszeit um bis zu 40% reduziert wird.

• Entwicklung von funktionell gradieren AM (FGAM) durch Überwachung der Entwicklung der chemischen Zusammensetzung in gradierten Materialien.

• Metall-AM-Komponenten-Zertifizierung durch vollständige Rückverfolgbarkeit der Materialzusammensetzung und unkritische interne Defekte, die in Richtung fehlerfreier L-DED-Komponenten fließen;

• Einsatz der Untersuchung großer Datenmengen (engl. Big Data Analytics) / maschinelles Lernen (engl. Machine Learning) über die während des Prozesses erfassten Parameter (Leistung, Geschwindigkeit, Pulverfluss, etc.) mit zwei Zielen: 1. nach Verhaltensmustern des Prozesses zu suchen und diese automatisch an die nächste Komponente anzupassen und 2. das Bauteildesign hinsichtlich seines Einflusses auf die Prozessstabilität zu analysieren.

Das Konsortium im Projekt QuaL-DED ist ein Zusammenschluss von 2 Unternehmen und 2 RTOs, die ihre Expertisen zu Software- und Prozesskontrollentwicklung (PLASMO), Laserbearbeitung (JR, LIStrat, UPNA) und Industrieanlagenbau (TRUMPF) bündeln, um ein Konzept für ein vollständig kontrolliertes L-DED-System zu entwickeln. Nach Projektende soll diese Zusammenarbeit fortgesetzt werden, um das im Projekt entwickelte Konzept auf das reale industrielle Umfeld zu übertragen, anschließend dieses QuaL-DED-Tool für die Fertigungsdienstleistungen bei JR und TRUMPH einzusetzen und es in weiterer Folge über das Vertriebsnetz von PLASMO und TRUMPH auf den Markt zu bringen.

Abstract

Additive Manufacturing (AM) is a technology that opens new frontiers in personalized product development, enabling the realization of unprecedented designs and functionalities, but it is not exempt of challenges and shortcomings. In particular, manufacturing of big components using Laser Direct Energy Deposition (L-DED) requires working with high laser powers and energy inputs, making it struggle with process stability and quality, ultimately leading to the build failure. The risk of build failure in L-DED has multiple origins, but among the most important is the lack of equilibrium in the process parameters: energy and mass inputs. When unbalanced, the manufactured component has residual stresses and deformations, ultimately suffering warpage and cracks. The energy input in laser processing depends on the beam intensity distribution (beam shape), which also determines the thermal evolution in the processed material, hence the metallurgical properties. In what refers to the mass input, it mainly depends on the quantity of material to be molten (powder feed). A directly measurable consequence of the equilibrium between the energy and mass input is the melt pool which must be kept constant. In other words, avoiding the failure in L-DED components requires to control the beam shape and melt pool by controlling the laser and material feed parameters. However, apart from heat transfer dynamics, it is of high importance to control the raw material and the atmosphere, which result in intended and unintended fluctuations in the composition of the consolidated material and contribute to porosity inside of it. Given that the L-DED is a production process that takes substantial amount of hours (up to few weeks), the key issue is that the above-mentioned controlling actions take place in (near) real time, avoiding the propagation of defect in posterior stages of the process chain.

The main objective of the QuaL-DED project therefore is to explore a concept of full Quality Assessment (QA) system for L-DED which would ensure process stability and pave the way towards the manufacturing of zero-defect metallic components. This general objective requires the accomplishment of three specific concepts: design and experimental testing of a beam quality monitoring concept, an energy input QC concept (composed of the melt pool and the powder flux closed loop control

systems) and an inline quality monitoring concept for composition and porosity of the consolidated material.
These concepts will be joined into an integral interconnected concept of QA tool for L-DED process control and tested in laboratory conditions. The expected use of QuaL-DED system is as follows (from short to long-term):
 Faster ramp up in process development of L-DED (surface coating, components repair and full 3D components), reducing the process development time up to 40%.
 Functionally Graded Additive Manufacturing (FGAM) development, by monitoring of chemical composition development in graded materials.
 Metal-AM components certification by having a full traceability of the material composition and non-critical internal defects, streaming towards zero-defect L-DED components;
 Deployment of Big Data analytics / Machine Learning over the process parameters (power, speed, powder flow, etc.) registered during the build with a twofold aim: to search for behaviour patterns of the process and automatically adapt them the next component and to analyse the component design in the key of its influence to the process stability.
The consortium in QuaL-DED is an endeavour of 2 companies and 2 RTOs, experts in software and process control development (PLASMO), laser processing (JR, LIStrat, UPNA) and the endorsement of a laser equipment manufacturing (TRUMPF), which gather their knowledge to develop a concept of a fully controlled L-DED system. After the project end, they aim to continue this collaboration to develop and scale this concept to the real industrial environment, through an early adoption of the QuaL-DED tool for manufacturing service at JR and its exploitation through PLASMO´s commercial network.

Endberichtkurzfassung

The QuaL-DED project was intended to establish the total quality control in the Laser Directed Energy Deposition (L-DED) process , also known as Laser Metal Deposition (LMD). The Quality Assessment (QA) is segmented into four main parameters : monitoring of the melt pool , monitoring of the powder feed , monitoring of the beam shape and monitoring of the chemical composition of the deposited material . We explain the results shortly through each one of the concepts.

1. Melt pool monitoring was aimed to be done using plasma sensors, however, the bankrupcy of the main project partner for this segment of the project, plasmo industrietechnik GmbH has changed the plans and oriented the project to other solutions. The selected one was the NIR camera from the practical reasons: 1) it was proven in this field and 2) the consortium already had the equipment, which was crucial in the delicate economical situation of the project. The concept was very successfully implemented and - on the top of it - a nice ML-driven solution was developed to assess the process quality via melt pool characteristics in depth.

2. Beam monitoring was not so successfull, although using the same NIR camera to this end. The footprint of the beam was indeed successfully collected, and worked properly in steady regime. However, at the modifications of the beam in Real Time, the register of the NIR camera was not according. More details can be found in the WP2 results descriptions, but the suggested reason is the protective window on the NIR sensor - it blocks all signal below 1000nm, while the laser beam used in L-DED has 1064nm. The future action will be to substitute the protective window with a more propulsive one. In QuaL-DED, this was not possible due to financial constraints.

3. Powder flow monitoring resulted in a comprehensive study, which resulted in two publications - one about the piezoelectric monitoring concpet, the other about the optical one. The operative concept in the project is the latter one, based on a conjunction of the laser diode and photo diode to register the change in the light scattering caused by the

variation of the powder quantity in the Aergon flow. The consortium prepares a publication in Open Research Platform, where all the details and components of this low-cost concept will be stored and freely accessible for research use.

4. LIBS concept was implemented in conjunction with the L-DED and has successfully measured in Real-Time the chemical composition of the deposited layer. As the demonstration results show, the error in chemical composition in major constituents was lower that 1%, which is really a good result.

The concepts have been tested in process , with representative geometries (cylinders, walls, etc.) and the concepts have shown little - if any - interference with the successfull cladding process , which means that the industrial viability is high. Of course, being a TRL4 project - to achieve the industrial implementation, further improvements must be made and will be done in the close future.

Projektkoordinator

- JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH

Projektpartner

- Universidad Pública de Navarra - INAMAT Institute for Advanced Materials
- LIStrat GmbH