

Maßgeschneiderte Werkzeuge durch formgebendes Laserauftragschweißen

Bei nahezu allen Gießverfahren ist eine gleichmäßige und rasche Wärmeableitung aus der Kavität entscheidend für die Qualität der Gussteile und die Produktivität des Werkzeuges.

Mit Hilfe des formgebenden Laserauftragschweißens werden am Laserzentrum Leoben der JOANNEUM RESEARCH konturnahe Wärmeleitbahnen in Kombination mit verschleißfesten Oberflächen auf Werkzeuge aufgebracht, bzw. ganze Kerne und Einsätze über das Auftragschweißen generiert. Oberflächen-nahe Wärmesenken bieten wesentliche Vorteile bei der Realisierung gleichmäßiger Temperaturverläufe auf kompliziert geformten Oberflächen und unterstützen die Wärmeableitung ins Werkzeuginnere. Derartige Werkzeuge ermöglichen somit kürzere Taktzeiten, erlauben gleichzeitig verschleißfeste Oberflächen, reduzieren die thermische Belastung der Werkzeuge und erhöhen die Qualität der gefertigten Teile. Anwendung findet das Verfahren derzeit primär im Bereich Spritzguss. Das Verfahren eignet sich dabei nicht nur für kleine Einsätze, auch auf große Werkzeuge können lokale Wärmesenken aufgeschweißt werden.

Konzept der Werkstoffverbunde

Das formgebende Laserauftragschweißen mit pulverförmigen Zusatzwerkstoffen ermöglicht sowohl einen problemlosen Wechsel zwischen den eingesetzten Legierungen während des Prozesses als auch das Mischen und Variieren der eingesetzten Pulver. Damit lassen sich vollständig automatisiert gradierte Werkstoffe oder vertikale und horizontale Abfolgen unterschiedlicher Legierungen in einem Bauteil vereinen.

Das Konzept der Werkstoffverbunde sieht vor, durch den Einsatz unterschiedlicher Legierungen innerhalb eines Bauteiles unterschiedlichste Eigenschaften auf engstem Raum zu realisieren. Ein Beispiel dafür sind die hier beschriebenen Kombinationen aus hoch wärmeleitfähigen und abrasionsbeständigen Werkstoffen. Ausgangspunkt ist dabei in der Regel ein bereits vorgefrästes Bauteil aus einem kostengünstigen Werkstoff.

Wärmeleitfähige Auftragschweißungen

Für das Auftragschweißen von Wärmeleitbahnen werden Legierungen mit einer möglichst hohen Wärmeleitfähigkeit benötigt. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit scheiden dabei Werkstoffe wie Silber von vornherein aus. Als logische Konsequenz fällt somit die Wahl auf Kupfer bzw. Kupferlegierungen.

Eine weitere Forderung ist die Schweißbarkeit der Legierungen. Dabei steht die in der Regel geforderte hohe Wärmeleitfähigkeit im Widerspruch zur guten Schweißbarkeit. Zusätzlich führen Verunreinigungen, etwa in der Form einer beim Schweißen auftretenden Oxidation in der Regel zu einer drastischen Reduktion der erzielbaren Wärmeleitfähigkeit. Die erzielbaren Eigenschaften stellen somit stets einen Kompromiss aus Kosten, Schweißbarkeit und geforderten thermophysikalischen Eigenschaften dar.

Durch die Erprobung zahlreicher Konzepte ist es am Laserzentrum Leoben gelungen, Wärmeleitfähigkeiten von über 110 W/mK an realen Bauteilen, die an der Atmosphäre mit dem Laser aufgeschweißt wurden, seriensicher zu erreichen.

Präzision

Zum Einsatz kommt der Prozess überall dort, wo sehr feine, geometrisch exakt bestimmte Wärmeleitbahnen nahe der Oberfläche benötigt werden. Die typischen Abmessungen lokaler Wärmeleitbahnen betragen 1–2 mm im Querschnitt. Die Forderung nach exakt geometrisch definierten Auftragschweißungen erfordert definierte Grenzflächen und eine sehr präzise Prozessführung um das unkontrollierte Anschmelzen und in dessen Folge eine undefinierte Grenzfläche zu vermeiden.

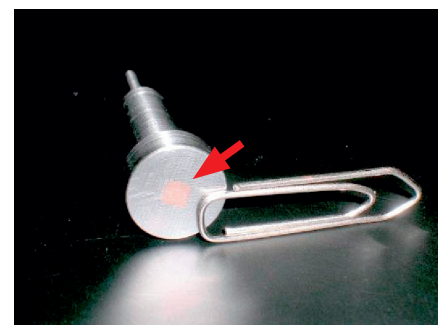
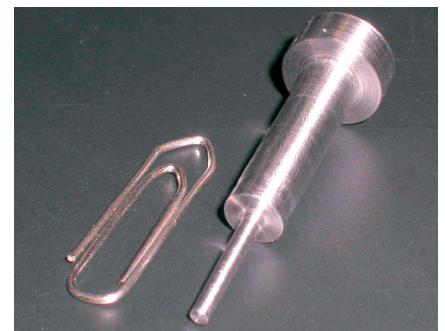


Abb. 1: Kern mit durchgehender Kupferseule (Pfeil)

Am Laserzentrum Leoben wurde hierfür ein Hybridprozess, bestehend aus Auftragschweißen und Fräsen entwickelt. Dieser Prozess schafft in einem Zwischenschritt definierte Geometrien mittels Fräsen. Vor und nach dem Fräsen werden so die unterschiedlichen Werkstoffe auf jeweils exakt definierte Geometrien aufgeschweißt. In Verbindung mit exakt abgestimmten Prozessparametern und der Möglichkeit des Lasers, Auftragschweißungen mit minimaler Aufmischung seriensicher umzusetzen, können so genau definierte Wärmeleitungsbahnen gefertigt werden. Die Genauigkeit der Grenzflächen liegt unter 0,1 mm.

Umsetzung

Als Beispiel einer derartigen Anwendung wurde in einen Kern mit einem Außendurchmesser von nur 2 mm eine ca. 1 mm starke Wärmesenke integriert (vgl. Abb. 1). Der Kern wurde zur Gänze aufgeschweißt, die Außenseite besteht aus einem korrosionsbeständigen Stahl mit einer Härte von ca. 42 HRC und liefert die geforderte Festigkeit. In Labortests zeigte ein derartiger Kern in der Abkühlphase Temperaturunterschiede von 15 °C im Vergleich zu dem bisher eingesetzten Stahlkern.

In der Praxis konnte sich der Kern ebenfalls bewähren. Aufgrund des eingesetzten Stahls weist der Kern die für den Einsatz erforderliche Festigkeit auf und überstand im Testeinsatz problemlos 1.000 Schuss.

Da der gesamte Produktionsablauf vollständig automatisiert in einer Hybridanlage abläuft, in der das Schweißen und Fräsen alternierend erfolgen, können mehrere Kerne parallel gefertigt werden. Dies ermöglicht eine wirtschaftliche Herstellung der Bauteile.

Das Verfahren eignet sich ebenso für den Aufbau ganzer Einsätze. Dabei wird auf einem vorgefrästen Rohling die eigentliche Kontur der Kavität unter Einsatz unterschiedlicher Werkstoffe aufgeschweißt. Ein Vorteil des Schweißprozesses im Vergleich zum Lasersintern besteht darin, dass weitaus weniger Pulver eingesetzt wird und die vorgefrästen Rohlinge nicht eben sein müssen. Ein Aufbau auf bestehenden Freiformflächen ist problemlos möglich.

Abbildung 2 zeigt beispielhaft einen Einsatz der aus Einzellagen formgebend aufgeschweißt und zur Hälfte überfräst wurde. Für die Verarbeitung abrasiver Medien wie zum Beispiel glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK), kommen zusätzlich zu den Wärmeleitungsbahnen für die Decklagen entsprechende Verschleißschutzlegierungen zum Einsatz. Die Kombination der unterschiedlichen Werkstoffe erfolgt dabei immer abgestimmt auf das jeweilige Werkzeug. Das formgebende Auftragschweißen ermöglicht dabei nahezu beliebige Kombinationen und räumliche Abfolgen.

Aufgrund der erforderlichen Schweißzeiten ist bei größeren Volumina eine exakte Kostenrechnung im Vorfeld unabdingbar. Im Vergleich zur reinen Zerspaltung sind die mit dem Laser erzielbaren Auftragsraten für Werkzeugstähle gering. Bereits die oberflächliche Aufbringung

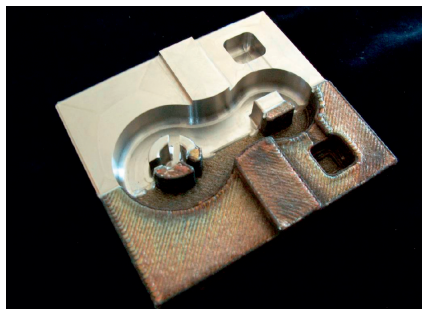


Abb. 2: Formgebend aufgeschweißter Einsatz (90 x 100 mm)

von Verschleißschutzlegierungen ändert die Fertigungskosten bei Betrachtung der Gesamtfertigungskosten nachhaltig. Bei Werkzeugen mit integrierten Wärmeleitungsbahnen liegt ein wesentlicher Anteil des wirtschaftlichen Vorteils in der Anwendung.

Ein einfaches Beispiel zur Optimierung der Wärmeabfuhr in Verbindung mit verschleißfesten Oberflächen stellt das in Abbildung 3 dargestellte Versuchsteil dar. Auf den vorgefrästen Innenkern wurde eine Kupferlage, gefolgt von einer verschleißfesten Decklage aufgebracht. Abbildung 3 zeigt das fertige Bauteil im Schnitt. Zusätzlich benötigte Kühlkanäle können dabei im Vorfeld in den Rohling eingebracht, verschlossen und dann überschweißt werden.

Acknowledgement

Die hier präsentierten Arbeiten entstanden teilweise in Kooperation mit der Profactor Produktionsforschungsges. mbH und unter Einsatz von Fördermitteln des FFG unter der Projektnummer Nr. 810067.



Abb. 3: Versuchsbauteil mit Kupfer Zwischenlage

Tailor made tools by near-net-shape laser deposition welding

Almost all casting processes rely on an even and fast heat transfer from the melt into the tool to ensure quality of the castings and productivity of tools.

With the help of a near-net-shape laser deposition welding process the Laser Center Leoben deposits highly heat conductive alloys close to the tools surface followed by a layer of abrasions or corrosion resistant alloys to form the tool surface. Additionally small inserts and cores may be generated as a whole using the welding process. Realizing highly heat conductive layers close to the surface of the tool offers significant advantages in realizing an even temperature distribution along the surface of complexly shaped tools and aiding heat transfer into the tool. As a consequence cycle times can be reduced, abrasion resistant surfaces realized, overall thermal load reduced and cast quality increased. Currently applications concentrate on injection moulds. Here the process is not limited to small inserts. Features comprising multiple materials may also be welded onto large moulds.

Concept of multi material composites

Near-net-shape deposition welding using metal powders allows changing of alloys during the process as well as mixing of materials. Using a fully automated process graded materials as well as almost arbitrary vertical and horizontal sequences of different materials can be combined within a volume.

The concept of multi material composites aims to concentrate different material properties within a small volume of part. One example is the combination

of highly heat conductive alloys and wear resistant surfaces within very small parts as described in this article, however applications such as graded materials or combinations of materials with different mechanical properties are also possible. Starting point for most applications is a pre-machined part made from an inexpensive material.

Heat conductive deposition welds

Deposition welding of heat guides calls for alloys exhibiting a high heat conductivity. For economic reasons alloys such as silver have to be disregarded right away. As a logical consequence copper and copper alloys remain the material of choice.

Another material requirement is weldability. Usually weldability and conductivity are contradicting requirements. Oxidation and contamination of the copper alloys encountered during welding will additionally reduce heat conductivity substantially. The obtainable results will therefore always be a compromise between costs, weldability and thermo mechanical properties.

As a result of testing numerous different concepts the Laser Center Leoben has come up with alloys that allow heat conductivities starting at 110 W/mK for real parts welded in a job-shop environment on atmosphere using only a shroud gas nozzle.

The alloys chosen are also suitable for depositing three dimensional structures entirely from the copper alloy (ref. Figure 1).

Precision

The laser deposition process is employed whenever small, geometrically well defined heat conduction paths are needed close to the surface. Typical dimensions consist of cross sections of 1–2 mm. The need for well defined deposition welds necessitates well defined interfaces prior to welding and a precise process control to avoid melting of the already deposited material and subsequently undefined interfaces between welds.

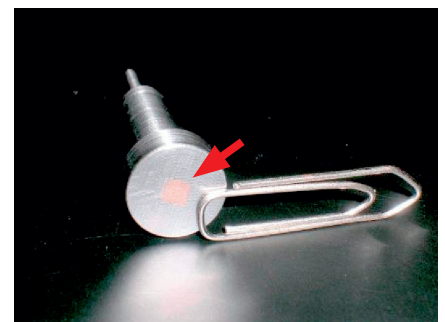
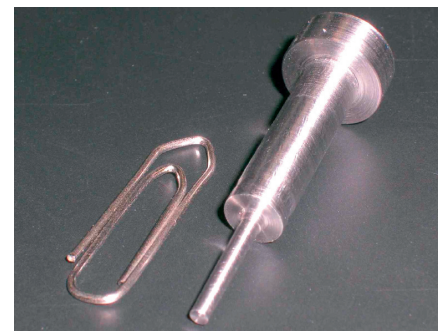


Fig. 1: Core with copper interior

A hybrid process was developed at the Laser Center Leoben that combines the deposition welding process with a milling operation. Milling is used as an intermediate step to produce well defined surfaces. Before and after the milling step the deposition welding process is used to deposit different materials on a then well defined surface. Due to the unique ability of the laser welding process that allows deposition welds with minimum dilution of the base material and by assuring suitable welding parameters it is possible to fabricate parts consisting of different materials with well defined interfaces between sections made from different materials. The typical accuracy is better than 0.1 mm.

Applications

As an example for such an application a small core with a diameter of only 2 mm was built, into which a copper core with a diameter of 1mm was integrated (re. Fig. 1). The core was built as a whole using the laser deposition welding process; its outer skin is made of corrosion resistant steel with a hardness of 42 HRC that ensures the necessary strength of the core. Laboratory tests showed temperature differences in excess of 15°C during cooling in comparison to the solid steel core used prior.

The core was also successfully tested in an injection moulding application. Here it survived the required 1.000 parts without signs of deterioration.

Because the whole fabrication process runs fully automated in a hybrid machine tool that alternates between welding and milling, multiple cores may be manufactured in one setup at the same time. This reduces costs and allows for an economic fabrication.

The process may also be used to build whole inserts. Here a pre-machined part that already defines the overall shape of the insert to be built is used as base. Onto this part the final cavity is built combining different materials. In comparison to laser sintering processes the welding process uses much less powder and allows built up on non flat surfaces, i.e. pre machined parts.

Figure 2 shows an example of an insert that was built from multiple layers and partially finished. To allow casting of abrasive materials like glass-fiber filled plastics (GRP) in addition to highly heat conductive materials abrasion resistant materials may be used for the cavities surface. Materials are usually matched to the requirement of each tool.

The near net shape process allows for a vast array of materials to be combined in user-defined geometries.

Because of the welding times needed to deposit larger volumes an exact cost analysis is recommended in the run-up to choosing the welding process. Compared to the material removal rates achieved with milling, deposition rates of the laser welding process are modest for typical tool steels. When abrasion resistant alloys are used things may change completely when the total fabrication costs are compared. When building tools

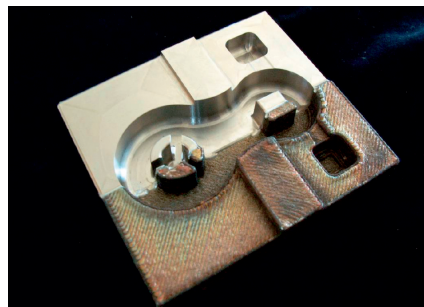


Fig. 2: Insert fabricated by near-net-shaped welding (90 x 100 mm)

that combine many different materials i.e. as heat conduction paths increase in tool performance has to be taken into account when comparing costs.

A simple example of a part that combines an abrasion resistant surface and increased heat conductivity is shown in figure 3. The insert was built onto a pre machined core, by adding a layer of copper topped by a surface made from an abrasion resistant alloy. Figure 3 shows the finished part cut apart to reveal the different materials used. Additional cooling channels maybe drilled into the initial pre machined part prior to welding.

Acknowledgement

The results presented here were in part realized in cooperation with Profactor Produktionsforschungsges. mbH and partially financed by the FFG under the project grant Nr. 810067



Fig. 3: Part made from three different materials