ДИОДНЫЕ ЛАЗЕРЫ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ПЛАКИРОВАНИЯ: STATUS QUO – QUO VADIS*

О.Райкис, компания Laserline,
Oleg.Raykis@laserline.de,
www.laserline.de, Германия

За последние несколько лет лазерные установки расширили границы своего применения благодаря технологическим усовершенствованиям источников излучения. Они пришли на смену традиционным методам промышленного производства, в частности: в сварке, пайке, термической обработке. Развитие технологического прогресса позволило найти еще одно приложение – лазерное плакирование.

ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ И ИЗНОСА, ВОССТАНОВЛЕНИЕ, АДДИТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

В течение последних лет высокомощные диодные лазеры зарекомендовали себя в промышленности как идеальный инструмент для задач, связанных с лазерным плакированием [1]. Их компактная и прочная конструкция, а также высокая плотность мощности излучения обеспечивают высокую гибкость в применении при низких затратах. Высокая степень преобразования электрической энергии в оптическую позволяет не только снизить затраты на производство, но и сохранить природные ресурсы.

ОСНОВЫ ЛАЗЕРНОГО ПЛАКИРОВАНИЯ

Лазерное плакирование является универсальным способом сварки, который подходит для ремонта или структурирования поверхности изделия локально или масштабно в целях создания функциональных поверхностей с заданными свойствами. В качестве примеров применения описываемой технологии можно привести: защиту от коррозии, получение износостойких слоев, получение локальных немагнитных участков на поверхности изделия.

Одним из главных достоинств метода лазерной наплавки в сравнении с такими традиционными методами, как электродуговая или плазменная

* Status quo – положение, существующее в определенный момент времени;
Quo vadis – камо грядеши (куда идет).

DIODE LASERS FOR LASER CLADDING: STATUS QUO – QUO VADIS

Oleg Raykis, Laserline GmbH,
Oleg.Raykis@laserline.de,
www.laserline.de, Germany

In the last couple of years new applications for lasers emerge from technological improvements in laser sources. They are replacing many traditional methods of industrial manufacturing, in particular welding, brazing and heat treatment. Another example for new applications enabled by the technological progress is laser cladding.

CORROSION & WEAR PROTECTION, REPAIR, ADDITIVE MANUFACTURING

Fiber coupled high power diode lasers have established themselves in the industry as the ideal tool for most cladding applications during the last years. Their compact and robust design as well as their high power density offer a high flexibility in conjunction with lowest cost. The high wall-plug efficiency of diode lasers also allows the conservation resources and therefore not only providing economical but also ecological advantages for material processing.

LASER CLADDING BASICS

Cladding is a versatile welding process, which is suitable for modifying the surface of a component locally or completely in order to be able to generate functional surfaces with tailored properties. Some examples for cladding applications are the deposition of corrosion and wear resistant layers or to generate local non-magnetic regions on components.

One of the main advantages of laser cladding versus conventional methods like TIG or PTA welding is the low heat input into the base material. This results in less distortion of the component. The high cooling rate produces a very desirable fine-grained microstructure. The overlay is fully metallurgical bonded to the base material with much lower dilution compared to conventional welding methods, so a single coating layer is in most cases sufficient to achieve full transformation between the two materials. Thickness tolerances and surface quality is very good and depending on the application requires minimal or no rework.

One way to categorize the cladding method is by the type of coating material: powder or wire. The preferable

наплавка, является низкий подвод тепла к основному материалу. Это способствует снижению деформации создаваемых изделий. Высокая скорость охлаждения способствует формированию желаемой мелкозернистой микроструктуры. Данная технология обеспечивает полное металлургическое сцепление наплавочного слоя с основой и низкое разжижение (смешение с металлом основы) по сравнению с традиционными методами. Таким образом, одного слоя покрытия бывает достаточно для полного замещения базового материала. При этом допуски по толщине и качество поверхности оказываются вполне приемлемыми и, в зависимости от задачи, требуют лишь минимальных доработок или сразу полностью соответствуют техническим требованиям.

Одним из способов классифицировать метод лазерного плакирования является выбор присадочного материала: порошок или проволока. Предпочтительный метод определяется в зависимости от приложения. Проволока в качестве присадочного материала используется на 100%, при этом недостаток метода на сегодняшний день заключается в сложности подачи проволоки вне зависимости от направления сварки [1]. На данный момент ведутся разработки оптических головок с коаксиальной подачей проволоки, которые будут способны преодолеть это ограничение. До тех пор этот метод обычно используется в задачах, когда процесс сварки идет всегда в одном направлении, к примеру, при сварке цилиндрических объектов.

Для ремонта более сложных по форме изделий использование порошка является предпочтительным благодаря более простой досягаемости. Следующие две схемы показывают принцип работы лазерной установки плакирования с порошковой подачей: осаждаемый материал подается в сварочную ванну коаксиально (рис.1) или сбоку (рис.2). Инертный газ, как правило, используется для переноса частиц порошка к сварочной ванне и образованию защитной атмосферы.

Характерными параметрами процесса лазерной наплавки являются: размер частиц порошка – от 20 до 200 мкм, плотность мощности лазера порядка 10^4–10^5 Вт/см^2 и время взаимодействия лазерного излучения с частицами порошка порядка 0,1 с [2].

Выбор типа лазера для лазерной наплавки зависит от конкретной задачи. Помимо диодных- CO_2-лазеров, дисковые и волоконные являются наиболее часто используемым оборудованием в промышленных условиях.

В 70-х годах CO_2-лазеры были впервые успешно использованы для порошковой наплавки. Однако

method depends on the application. With wire the material utilization of the filler material is 100% at the disadvantage that it requires complex systems to feed the wire regardless of the welding direction (Dr. Sc. Ing Torims, 2013). This method is therefore better suited to applications which don't require a change of welding direction, for example when cladding the surface of cylindrical parts.

To repair more complex three-dimensional components, powder cladding is preferred due to the easier handling. The following two figures show the principle of cladding with powder: the deposited material is fed into the melt pool either coaxially (Figure 1) or laterally (Figure 2). An inert gas is typically used to transport and inject the powder particles to the process.

Typical process parameters for laser cladding are a particle size of the powder material between 20–200 µm, a laser powder density of around 10^4–10^5 W/cm^2 and an interaction time between powder particles and the laser beam of 0.1 s. (Dr. Sc. Ing Torims, 2013).

The laser types used for cladding depend on the application. CO_2-laser, disc and fiber lasers and most commonly diode lasers are used in industrial environments.

In the 70's CO_2-lasers were first used to successfully clad with powder. But extremely high initial and running cost as well as their susceptibility to collect dust on the delivery optics, especially when using powdered metal, was a big disadvantage. The high running costs are mainly caused by their low wall-plug efficiency of about 10% and the cost for the consumed material (e.g. gases). Even at identical laser beam power, CO_2-lasers have a two times lower process efficiency compared to diode lasers. The reason is the lower absorption of their far- infrared wavelength of 10,6 mm by the metal surface. Much of the delivered energy gets reflected and is lost – only about 11% of the energy gets absorbed. CO_2-lasers and their beam delivery systems via copper mirrors also require frequent maintenance and cleaning, causing down time and production loss. Their beam cannot be delivered via fiber optic cables which also makes them less flexible.

The near-infrared wavelength of solid state lasers like Nd: YAG, fiber or disc lasers has an absorption of about 35%, which is similar to diode lasers. However lamp-pumped Nd: YAG lasers have been almost completely replaced by diode lasers in continuous wave (cw) applications due to their 10 times better wall plug efficiency and otherwise nearly identical beam properties. The high beam quality of fiber or disc lasers makes them suitable for remote welding (welding with a very long working distance) as well as for welding applications, which require an extremely narrow weld bead, but they are considered less robust for many applications. Fiber coupled diode laser on the other hand with their round focus and a "top-hat" (steep edges and

очень высокие первоначальные и эксплуатационные затраты, а также чувствительность к оседанию пыли на оптических элементах, особенно при использовании металлического порошка, являлись большими недостатками. Эксплуатационные затраты обусловлены низким коэффициентом преобразования энергии – порядка 10%, а также стоимостью расходных материалов (в том числе углекислого газа активной среды). Даже при одинаковой мощности лазерного луча, CO_2-лазеры имеют в два раза меньший коэффициент полезного действия (КПД) использования наплавляемого материала по сравнению с диодными лазерами. Причиной низкого значения коэффициента является поглощение поверхностью металла излучения с длиной волны 10,6 мм в дальней инфракрасной ИК-области. Большая часть излучения отражается, и только 11% поглощается. CO_2-лазеры и оптическая система управления их излучением, основывающаяся на медных зеркалах, требуют периодического технического обслуживания и очистки, что ведет к производственным потерям. Так же в таких системах лазерный пучок не может быть передан через оптоволоконный кабель, что лишает производственный процесс гибкости.

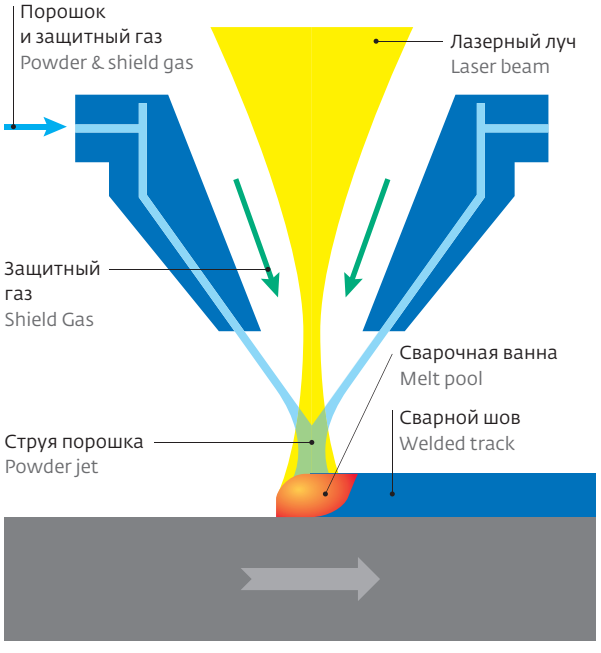

Рис.1. *Принципиальная схема коаксиальной наплавки*
Fig. 1. *Laser Cladding with coaxial powder nozzle (source: Fraunhofer CCL)*

Излучение ближнего ИК-диапазона спектра твердотельных лазеров (неодимовый лазер на алюмоиттриевом гранате, волоконный и дисковый лазеры) имеет поглощение порядка 35%, что аналогично поглощению от диодных лазеров. Однако Nd:YAG лазеры с ламповой накачкой были почти полностью заменены непрерывными диодными лазерами благодаря 10-ти кратному увеличению КПД и, при этом, – сохранению аналогичных свойств пучка. Высокое качество пучка волоконных и дисковых лазеров делает их скорее пригодными для дистанционной сварки (сварки на очень большом рабочем расстоянии), а также для таких видов сварки, где требуется чрезвычайно узкий сварной шов. Процесс лазерной наплавки не нуждается в таком хорошем излучении. С другой стороны, диодные лазеры с выводом излучения в оптоволокно и их круглым однородным пятном с четкими краями являются идеальным инструментом для лазерной наплавки. Такие устройства малочувствительны к отраженным квантам, загрязнению, вибрации. В сравнении с моноблочной конструкцией прямых диодных лазеров, лазерный источник находится за пределами рабочей области, возможно даже в другой комнате, что позволяет защитить его от загрязнений и других неблагоприятных воздействий извне. Другим достоинством диодных лазеров является то, что центральная координата после технического обслуживания

homogeneous) power distribution are the ideal tool for laser cladding (Stilles, Dr. Himmer, & Prof.Dr.Beyer, 2005). They are more tolerant to back reflections and less sensitive to dirt and vibrations compared to a monoblock design of direct diode lasers, since the laser source is located outside the work area, possibly even in a different room.

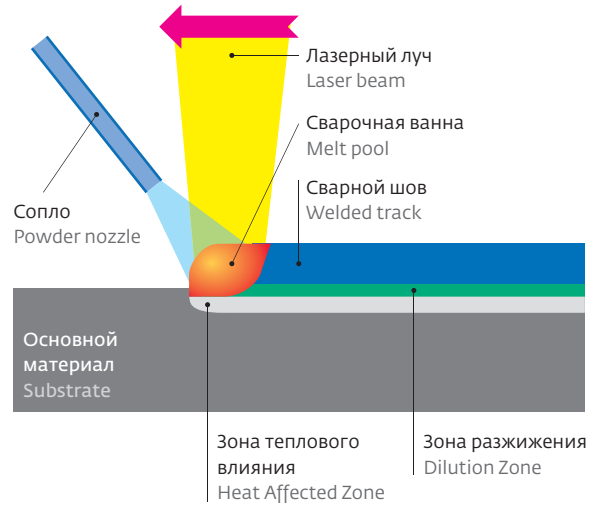

Рис.2. *Схема подачи газопорошкового состава сбоку при лазерной направке*
Fig. 2. *Laser cladding with lateral powder nozzle (source: Laserline GmbH)*

не смещается, повторная калибровка не требуется. Разнообразие геометрии пятна, к примеру, круг, прямоугольник, кольцо, линия и др., могут быть легко получены с помощью оптических головок или встроенных модулей.

РЕМОНТ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИЗДЕЛИЙ

В связи со снижением экономических издержек и увеличенным вниманием к сохранению благоприятной экологии на многих промышленных предприятиях наблюдается тенденция к росту технологий по восстановлению и ремонту изделий. Спрос на более надежные технологии производства неуклонно растет, и лазерное плакирование во многих случаях является подходящим способом для достижения этой цели.

Для реконструкции габаритных изделий лазеры с мощностью в несколько киловатт – это наиболее подходящий вариант. Современные диодные лазеры высокой мощности с коэффициентом преобразования энергии более 50% и выходной мощностью излучения до 40 кВт позволяют с высокой скоростью наплавлять широкие сварные швы на больших площадях. К примеру, в промышленных условиях реализуется процесс, где сварной шов достигает ширины в 12 мм при толщине 1,5 мм, скорости наплавки 2 м/мин, коэффициент расхода порошка 95% [3]. На данный момент успешно завершились работы по наплавке с широкой полосой, 45 мм. С помощью типичного процесса лазерного плакирования с мощностью излучения порядка 6 кВт возможно наплавить порядка 4–5 кг/ч хромоникелевой жаропрочной стали 625 на мягкую сталь.

На рис.3 показан процесс восстановления цилиндрического вала. На 1-й фотографии показан изношенный вал. После нанесения слоев порошка с коаксиальной подачей (шаг 2 и 3) концевая часть вала подвергается механической обработке до требуемого качества поверхности. Полная функциональность изделия была восстановлена с относительно небольшими затратами энергии и материалов.

Метод лазерной наплавки позволяет восстановить изношенные и дорогостоящие изделия с экономией средств и с минимальным воздействием на экологию. В сравнении с традиционными методами ремонта, сохраняется значительное количество материала, времени, энергии, снижаются затраты на обработку. В особенности, данный метод восстановления изделий является предпочтительным в горнодобывающей промышленности, в области добычи нефти и газа, нефтехимической промышленности, энергетики, транспорта (ремонт поездов и судов), а также в технологии тяжелой

Another advantage regarding direct diode lasers is that the tool center point (TCP) of fiber coupled diode lasers does not have to be re-calibrated after maintenance. A variety of focus geometries, like circles, rectangles, rings, lines and others can be easily generated via optical modules as well.

REPAIR AND REFURBISHMENT

Due to the increased cost- and environmental consciousness of today's companies the repair and refurbishment sector of production technology is experiencing a massive boom. The demand for more sustainable manufacturing methods is steadily increasing and laser cladding is in many cases a suitable way to achieve this goal.

To repair large components, multi-kilowatt lasers are most suitable. Modern high-power diode lasers with wall-plug efficiency of up to 50% and output powers reaching 25kW allow depositing wide track layers to large surface areas at high speeds. For example weld track widths of 12 mm at a thickness of 1.5 mm with 2 m/min velocity and a powder utilization of more than 95% are realized in an industrial environment (Fraunhofer IWS Dresden, 2014). A typical laser cladding process with 6 kW laser power is able to deposit about 4–5 kg/h of powder-formed Inconel 625 onto mild steel.

In Figure 3, the process of repairing a cylindrical shaft is illustrated. Step 1 show the worn shaft. After depositing powder layers with a coaxial nozzle (step 2 and 3) the end of the shaft gets machined to the desired surface quality. The full functionality of the components has been restored with a relatively small use of energy and materials.

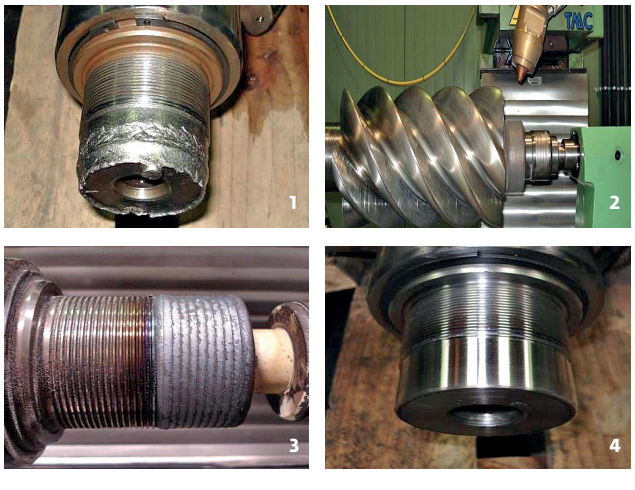

Рис.3. *Процесс ремонта концевой части поврежденного вала посредством лазерной наплавки (источник: фирма TM Comas)*

Fig. 3. *Repair process of a worn shaft end via laser cladding (source: TM Comas).*

ковки. Кроме того, существует возможность облицовки внутренней поверхности изделий цилиндрической формы с использованием специальных насадок (см. рис.4). Данные насадки в совокупности с оптической системой в большинстве случаев изготавливаются под заказ под определенную задачу. Типичным приложением для них является устранение износа, коррозии или ремонт внутренних поверхностей изделий.

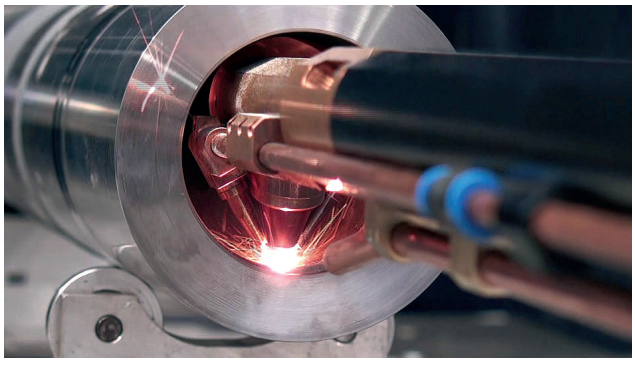

Рис.4. *Лазерная наплавка внутренней части трубы (источник: фирма Nutech GmbH)*
Fig. 4. *Laser cladding the inside of a tube (source: Nutech GmbH)*

ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ И ИЗНОСА

Для снижения износа и коррозии металлических изделий могут быть использованы несколько процессов. Защитные покрытия, наносимые методами газопламенного, газоплазменного или плазменного напыления, хорошо подходят для тонких слоев с большой площадью поверхности с низким подводом тепла. В результате получаются относительно пористые слои, только механически соединенные с основным металлом, которые имеют свойство трескаться и отслаиваться вследствие локальной ударной нагрузки. Традиционные методы наплавки, такие как дуговая сварка металлическим плавящимся или вольфрамовым электродом в среде инертного газа, позволяют делать покрытия с полным металлургическим сцеплением. Главным недостатком этих методов является высокий подвод тепла к основному материалу, что может привести к тепловой деформации изделия. В таблице приведены основные параметры для сравнения традиционных методов наплавки с методом лазерной наплавки.

Одним из преимуществ лазерной наплавки является создание отличного металлургического сцепления между слоем покрытия и основным материалом с минимальным подводом тепла и малой зоной теплового влияния. В сравнении с плазменной наплавкой (Plasma transfer Arc, PTA) данный метод позволяет добиться более эффективного расхода порошка, лучшей коррозийной стойкости, а также снизить пористость получаемого покрытия [4].

В качестве наплавляющихся материалов для лазерного плакирования подходят все хорошо свариваемые сплавы. Обычно используют материалы на основе сплавов никеля, кобальта или железа, которые могут комбинироваться с частицами карбида для решения задач по защите от износа. Помимо защиты бурового оборудования для нефтяной и газовой промышленности от механического износа и коррозии, метод лазерной наплавки позволяет создавать немагнитные области на изделиях, предназначенных для закрепления на них определенных датчиков для измерения параметров

Laser cladding allows repairing or rebuilding worn and expensive components in an economical and ecological manner. Compared to conventional repair methods, a significant amount of material, machining, time and energy can be saved. In particular it is a preferred repair and refurbishment method in the field of mining, oil & gas, petrochemical industry, power generation, transportation (trains and ships) as well as heavy forging equipment.

Furthermore it is possible to clad the inside of hollow cylindrical components with special cladding heads (s. Figure 4). These Internal Diameter (ID) -cladding heads and optics are in most cases customized for the customer and the respective application. Typical applications are wear and corrosion protection on the inside of components as well as their repair.

CORROSION AND WEAR PROTECTION

To decrease the wear and corrosion of metal components several processes can be used. Thermal coating, like Flame, HVOF, or plasma spraying is well suited for thin layers on large surface areas with low heat input. The results are relatively porous and only mechanically bonded to the substrate surface, so they tend to crack or peel off easier during local impact load. Conventional cladding methods like MIG or TIG welding are capable of producing layers with full metallurgical bonding. The main disadvantage is the very high heat input into the base material, which may result in distortion and heat affection of the components. In Table 1 the main properties of both processes in comparison to laser cadding are listed.

Laser cladding has the advantage to form a full metallurgical bonding between the layer and base material with low heat input and a small heat affect zone (HAZ). Compared to PTA welding, laser cladding enables a better utilization of the powder material and less formation of

среды во время бурения. В противном случае, если не подавить магнитные свойства материала на этих площадках, работа датчиков будет нарушена из-за влияния магнитных полей. На рис.5 изображен процесс наплавки на внутрискважинное буровое оборудование для улучшения его абразивной износостойкости. Этот процесс также называют армированием.

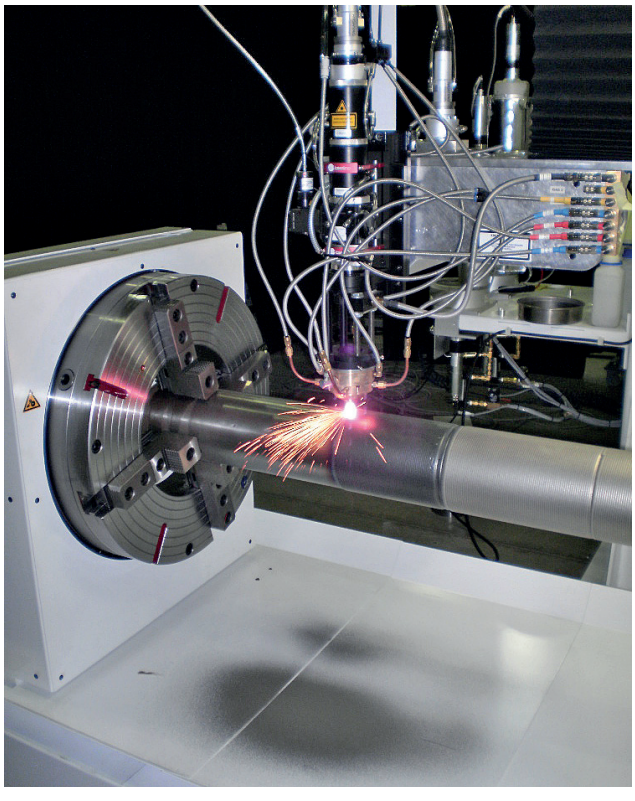

Рис.5. *Лазерная наплавка износостойкого слоя на внутрискважинное буровое оборудование (источник: фирма Technogenia)*
Fig. 5. *Laser cladding of a hard-facing overlay onto down-hole drilling equipment (source: Technogenia).*

ТЕХНОЛОГИЯ ПОСЛОЙНОГО НАРАЩИВАНИЯ (АДДИТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ)

На сегодняшний день существует множество различных технологий для аддитивного производства изделий. Метод лазерной наплавки в этом контексте называется методом прямого послойного выращивания с помощью наплавки лазером. В последнее время он становится все более актуальным. Этот метод часто позволяет создавать структуры за единый производственный цикл без излишнего расхода материала, дополнительной механической обработки и износа обрабатывающего инструмента (изготовление профиля, близкого к заданному).

Очень интересным и перспективным подходом в этой области является интеграция лазерного источника в обычный механический станок. Такое сочетание инструментов позволяет достичь нового уровня производства. Одним из примеров является сочетание лазера с 5-ти осевым фрезерным станком. Интегрированный диодный лазер позволяет

Сравнение методов наплавки
Comparison of overlay properties for different processes (source: Fraunhofer IPT)

Параметр	Термическое напыление Thermal Spray	Конвекционная сварка Convectional Welding	Лазерная наплавка Laser Cladding
Толщина одного слоя, мм Single Layer Thickness [mm]	0,05–0,15	1–3	0,1–2
Ширина единичного шва, мм Single rack width [mm]	Большие площади Large areas	4–6	1–15
Зона теплового влияния, мм Heat Affected Zone [mm]	0,2–0,5	2–4	0,4–2
Качество наружного слоя Overlay Quality	Пористый Porous	Плотный Dense	Плотный Dense
Микроструктура Microstructure	Правильная Fine	Шероховатая Coarse	Правильная Fine
Тип сцепления Bonding	Механическое Mechanical	Металлургическое Metallurgical	Металлургическое Metallurgical
Степень искажения формы изделия Distortion	Минимальная Minimal	Значительная Large	Средняя Medium

наносить порошковый материал слой за слоем, создавая прочную, плотную металлическую часть. С помощью последующих операций фрезерования поверхности дополнительно дорабатываются до требуемой формы. Данный гибкий переход между лазером и фрезером позволяет обрабатывать участки, которые нельзя получить с использованием одного инструмента. Получение конструкций с углублениями, внутренней геометрией и с выступами без опорных структур принципиально возможными с данной технологией. Так же становится возможным производство совершенно новых изделий и конструкций. Могут быть использованы все свариваемые металлы, которые доступны в виде порошка. К примеру: сталь, сплавы из никеля или кобальта, а также титана, бронзы и латуни [5]. По сравнению с другими методами послойного производства, к примеру, технологией порошкового спекания (SLM/SLS) или оплавления порошка (порошок предварительно наносится в виде пасты на поверхность изделия), данный процесс осуществляется в 10 раз быстрее. Корпус турбины, изображенный на рис.6, является одним из примеров комбинации аддитивного и субтрактивного производства.

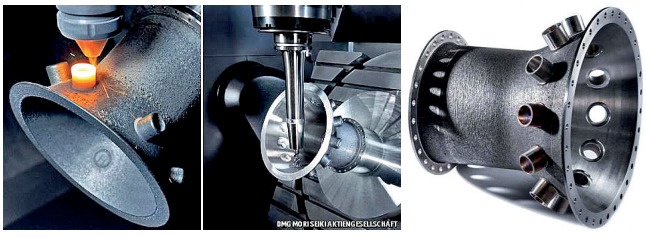

Рис.6. *Комбинация аддитивного и субтрактивного производства (источник: фирма DMG Mori Seiki)*
Fig. 6. *Combined additive & subtractive manufacturing (source: DMG Mori Seiki).*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лазерная наплавка является универсальной технологией, подходящей для производства, продления срока службы, а также ремонта изделий. Данный технологический процесс может быть легко автоматизирован, что ведет к повышению производительности этого и без того экономичного процесса [6]. Ведущим фактором является увеличение мощности источников лазерного излучения – мощность диодного лазера на сегодняшний день достигает 40 кВт на обрабатываемом изделии.

Улучшение технологии лазерной наплавки обусловлено не только увеличением мощности лазера и повышением производительности процесса, но и благодаря более высокой степени интеграции с другими методами производства и соответствующими системами обработки. Такие комплексные автоматизированные станки позволяют производить изделия с кардинально новым дизайном и функциональностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Bratt Craig and Hillig Holger.** International Symposium Fiber, Disc & Diode [Conference]. – Possibilities for High Deposition Rate Cladding: High Power Lasers and Hybrid Techniques. – Dresden: [s.n.], 2014.
2. **Dr. Sc. Ing Torims Toms.** THE APPLICATION OF

pores while achieving better corrosion resistance (Fu, Shi, & Shi, 2006).

Suitable additive materials for laser cladding are all weldable alloys. Commonly used materials are Nickel, Cobalt or Iron based alloys which can be combined with carbide particles for wear protection applications.

Besides from the protection of drilling equipment for the oil & gas industry from mechanical wear or corrosion, laser cladding also allows to generate nonmagnetic areas on components to enable the use of certain sensors to measure environmental conditions while drilling which otherwise would be disturbed by magnetic materials. Image 5 shows the cladding process of down-hole drilling equipment to improve its abrasive wear-resistance. This process is also referred to as "hard facing".

ADDITIVE MANUFACTURING

Today there are a number of different technologies for generative production of components. Laser cladding – in this context also called laser metal deposition (LMD) – is recently gaining on importance. It allows generating shapes and structures in a single production step with almost no material loss, post machining and tool wear (near-net-shape manufacturing).

A very interesting and promising approach in this area is to integrate the laser source into conventional machine tools. This combination of additive and subtractive tools achieves a new level of manufacturing. One example is the combination of a laser with a 5-axis milling machine. The integrated diode laser is depositing the powdered material layer by layer, generating a solid, fully dense metal part. The following milling operations produce surfaces in end-part quality in areas necessary without changing the setup. This flexible switch between laser and mill also allows to machine areas which would be impossible to reach on the final component. Designs with undercuts, internal geometry and overhanging without support structure are feasible with this technique. The production of completely new parts and new designs

LASER CLADDING TO MECHANICAL COMPONENT REPAIR, RENOVATION AND REGENERATION [Book Section]. – DAAAM INTERNATIONAL SCIENTIFIC BOOK. – Vienna, Austria: DAAAM International, 2013.
3. Fraunhofer IWS Dresden [Telephone Interview]. – 2014.
4. **Fu Geyan, Shi Jianjun and Shi Tuo.** Analyze and Research of Corrosion Resistance of Laser Cladding Layer on the Anti-Acid Stainless Steel Surface. – Knowledge Enterprise: Intelligent Strategies in Product Design, Manufacturing, and Management. – Boston: Springer, 2006, v. 207.
5. **Kroh Rüdiger.** http://www.maschinenmarkt.vogel.de [Online]. – 1127, 2013–0916, 2014. http://www.maschinenmarkt.vogel.de/themenkanaele/produktion/zerspanungstechnik/articles/426356.
6. **Stilles Eric, Dr. Himmer Thomas and Prof. Dr.Beyer Eckhard.** Laser Cladding for Application of Wear Resistant Coatings [Conference]. – Surface Modification Technologies: Proceedings of the 19th International Conference onf Surface Modification Technologies. – St. Paul, Minnesota, USA: T.S.Sudarshan, J.J.Stiglich, 2005, p. 36–40.

are possible. All weldable metals which are available in powder form can be utilized, for example steel, nickel and cobalt alloys as well as titanium, bronze or brass (Kroh, 2013). Compared to other additive manufacturing methods, for example powder bed, this process is up to 10 times faster. The turbine housing, shown in figure 6 is one example of this combination of additive & subtractive manufacturing.

CONCLUSIONS AND OUTLOOK

Laser cladding is a versatile process, suitable for manufacturing as well as repair. It can easily be automated, improving the productivity of this already economical process even further. A driving factor is the increasing power of the laser beam sources – fiber coupled diode lasers today deliver up to 25 kW optical power on the work piece.

Improvements in the laser cladding process are not only driven by higher laser power and better efficiency but also by a higher degree of integration with other manufacturing methods and their handling systems. Such integrated and intelligent machine tools enable the manufacturing of components with radically new designs and functionality.