



Quelle: OR Laser

Gliederung

Einsatz innovativer Lasertechnologien im Werkzeug- und Formenbau

- Motivation
- Systematik
- Prozess
- Laserauftragschweißen
- Mikro-Implantieren
- Anwendungs- / Anlagenbeispiele
- Zusammenfassung

Motivation

Werkzeuge / Formen unterliegen hohen tribologischen Beanspruchungen

- mechanisch => Abrieb, Ausbrüche
- thermisch => erhöhte Temperaturen, Temperaturwechselbeanspr.
- chemisch => Ablagerungen, Korrosion

Herstellung von Werkzeugen / Formen ist

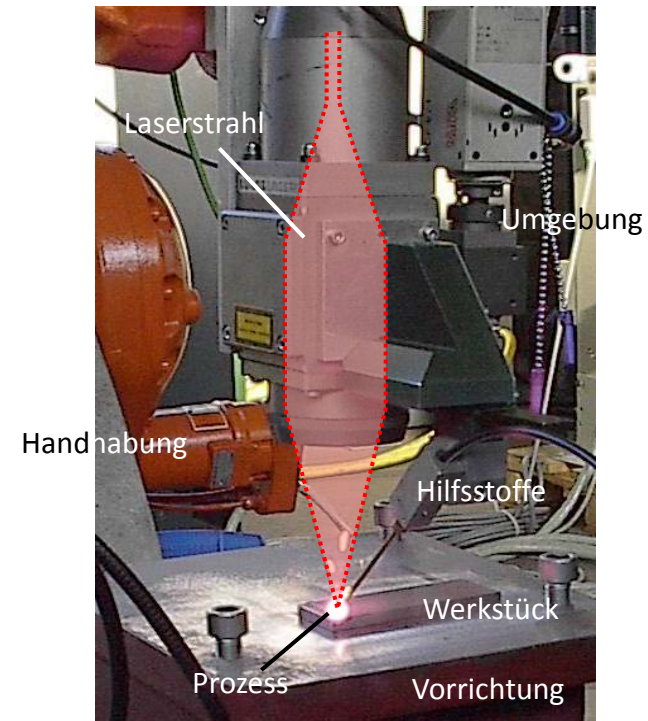
- aufwändig => Planung, Fertigung, Logistik
- kostenintensiv => Herstellungsaufwand, Lagerung
- z. T. ineffizient => Lebensdauer groß gegenüber (Rest-) stückzahl

=> Werkzeug- / Formen-Bearbeitung mit Laserstrahlung

- **flexibel (Reparatur und Modifikation)**
- **zeit- und aufwandseffizient**

Prozesskenngrößen

- Werkzeug „Laserstrahl“
 - Wellenlänge, Leistung (orts- / zeitabhängig)
 - Strahlpropagationsfaktor
 - Fokussierzahl
 - Polarisation
 - Fokus- / Fleckdurchmesser
- Prozeß / Hilfsstoffe
 - Prozessgasart, -fluß
 - Düsendesign, -durchmesser
 - Zusatzwerkstoff (Pulver, Draht), Förderrate
- Werkstück
 - Material, Gefüge
 - Oberfläche
 - Bauteilvorbereitung
 - Bearbeitungsgeometrie
- Umgebung
 - Teilegeometrie (1d, 2d, 3d)
 - Zugänglichkeit
 - Bearbeitungsposition
 - Vorrichtungen
- Handhabung
 - Bearbeitungsgeschw
 - Bearbeitungsrichtung

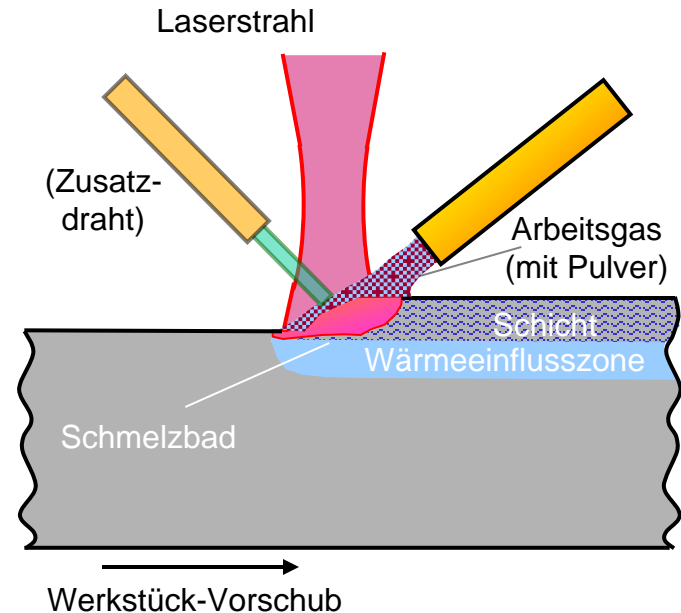


Beschichten / Legieren: Verfahrensprinzip

-> Auftragschweißen

Prozessablauf

- Absorption der Laserstrahlung an (vorbeschichteter) Oberfläche, ggf. Materialzufuhr (Pulver oder Draht)
- Erwärmung
Zusatzwerkstoff ($T > T_S$) und oberflächennahes Volumen (Legieren: $T > T_S$; Beschichten $T < T_S$)
- Verbindung Grundwerkstoff mit Zusatzwerkstoff (Legieren: mit / Beschichten: ohne Durchmischung)
- Erstarrung des aufgeschmolzenen Materials
=> geänderte Eigenschaften



Legieren:

- Durchmischung mit Grundwerkstoff
- Eindringtiefe in Grundwerkstoff

Beschichten:

- Keine Durchmischung
- Auflage auf GW mit fester Anbindung

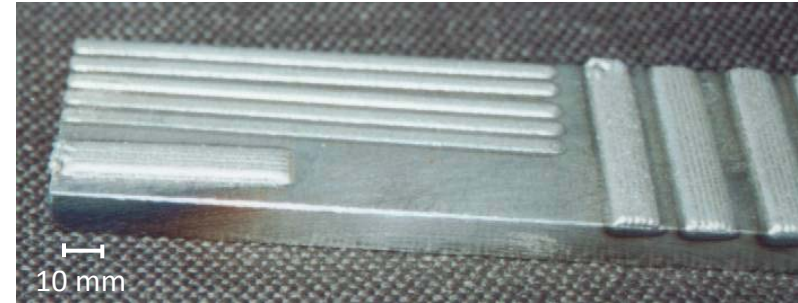
Laserauftragschweißen I

- Vorteile:

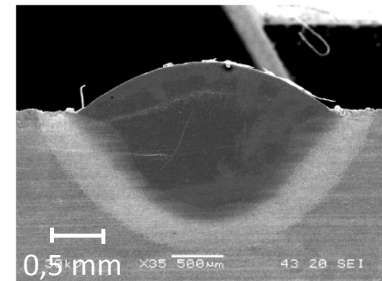
- Lokale Einstellung von Materialeigenschaften
- Geringe thermische Belastung des Bauteils
- Korrektur / Reparatur komplexer 3d-Strukturen
- Verkürzung von Ausfallzeiten
(Neuinvestition → Reparatur)

- Anwendungspotenziale:

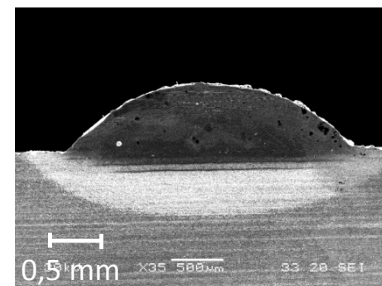
- Erzeugung von Verschleißschichten
- Korrektur von Werkzeugen und Formen
(Neuzustand)
- Reparatur von Werkzeugen und Formen
(Verschleiß)



Überlappende Spuren



Reparatur von
Volumenfehlern
/ Rissen



Oberflächen
beschichtung
/ -reparatur

Laserauftragschweißen II

• Entwicklungspotenziale:

- funktions- und werkstoffspezifische Gestaltung
 - > gradierte Beschichtungen
 - > lokal differenzierte Materialzusammensetzung
 - > belastungsangepasste Formen und Werkzeuge
- Produktivität
 - > Aufbaustrategien
 - > erhöhte Aufbauraten, Einbringungsraten
 - > neue, belastungsresistentere Werkstoffe
- Bauteilqualität
 - > Verbesserung von Konturgenauigkeit, Oberflächengüte
 - > Verringerung von Verzug
 - > Erhöhung von Reproduzierbarkeit



Reparatur
Materialausbruch
(Zahnrad)

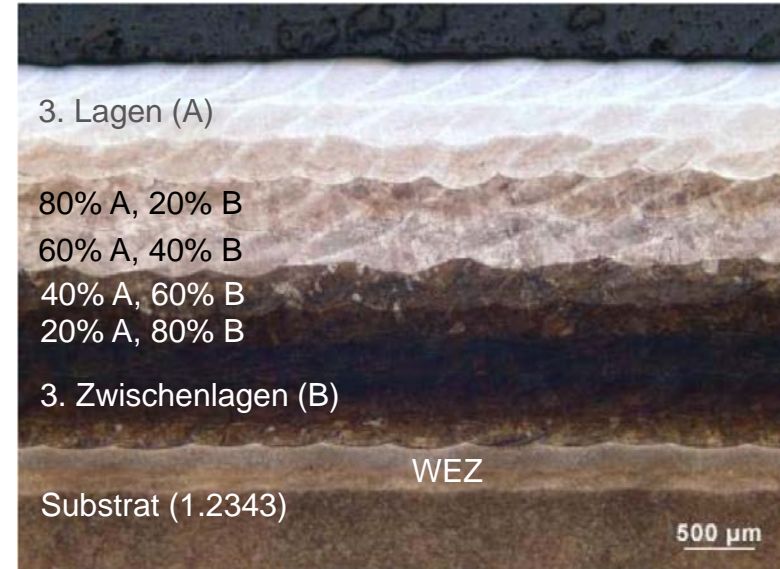
Quelle: Sigma Laser

funktions- & werkstoffspezifische Gestaltung I

Aufbau gradierter Beschichtungen

- Verbesserung metallurgischer Anbindung
-> unterschiedliche Gefügestrukturen
- Verringerung von Eigenschaftssprüngen
-> Einstellung von Gradienten
- Einstellung von Festigkeit / Zähigkeit
-> Sandwichstrukturen
- Erzeugung fehlertoleranterer Werkstoffsysteme
-> Stoppen von Risswachstum durch zähe Zwischenlagen

Beispiel: Einstellung von Eigenschaftsgradienten



P_L : 300 W
 d_f : 1,1 mm

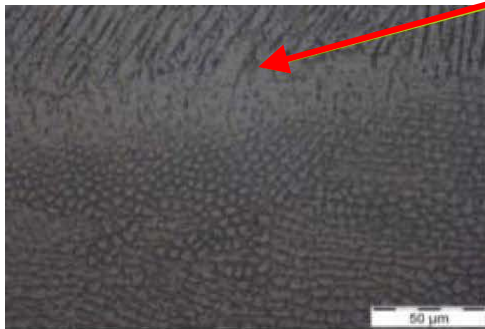
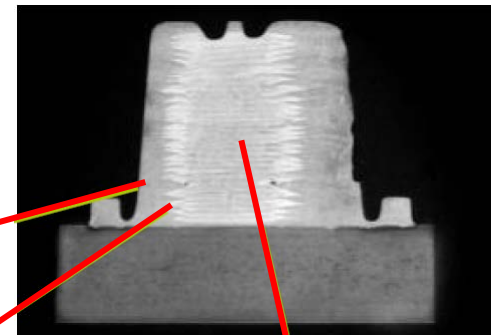
v_S : 0,4 m/min
 b_V : 0,5 mm

Quelle: Fraunhofer ILT

funktions- & werkstoffspezifische Gestaltung II

Beispiel: Druckgießwerkzeugeinsatz

- Belastung: thermisch-mechanische Wechselbeanspruchung
- Kern: 1.4404
 - > hohe Zähigkeit
- Übergangsbereich
 - > stoffschlüssige Verbindung
- Hülle: Metco 42 C
 - > hohe Festigkeit



Hülle: Metco 42 C



Übergangsbereich



Kern: 1.4404 (Austenit)

Quelle: Fraunhofer ILT

Produktivität I

Erhöhte Aufbauraten, Einbringungsraten

- Erzeugung großvolumiger Strukturen
-> Prototypenbau
- kürzere Hauptzeiten
-> geringere Ausfallzeiten für Reparaturen
- Aufbaustrategien (Schweißfolge)
-> verkürzte Fertigungs-/Reparaturdauer
- Form des Zusatzwerkstoffs (Draht, Pulver)
-> hohe Einbringungseffizienz
-> flexible Schichtzusammensetzung

Beispiel: Durchmesservergrößerung einer Welle

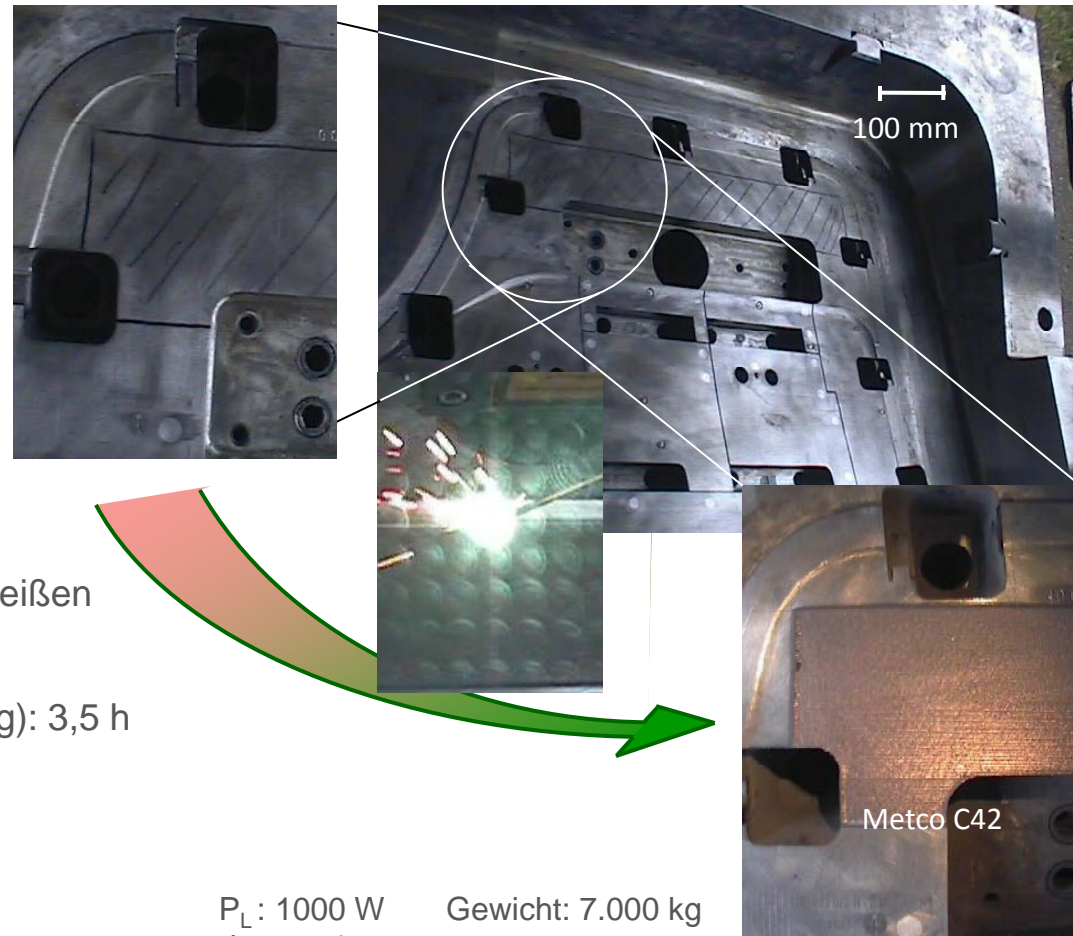


Quelle: Sigma Laser

Produktivität II

Beispiel: Form für PkW-Türverkleidung

- Abmessungen Reparaturbereich:
l x b x h: 500 mm x 100 mm x 1,2 mm
-> hohe Anforderungen an Maßhaltigkeit
- mobile Anlage mit Fk-Laser und Roboter
-> Reparatur vor Ort in Produktionsumgebung
- Prozess:
automatisiertes Laser-Pulverauftragschweißen
-> geringe Ausfallzeit in Produktion
- Bearbeitungsdauer (inkl. Programmierung): 3,5 h
-> Reparatur in Wartungsschicht



P_L : 1000 W Gewicht: 7.000 kg
 d_F : 1 mm

Quelle: Sigma Laser


Bauteilqualität I


Beschichtungsauftrag mit geringem Verzug

- „punktuelle“ Wechselwirkungszone
-> schnelle Thermalisierung in Bearbeitungsumgebung
- orts- und zeitabhängige Steuerung des Materialauftrags
-> werkstückzonenoptimiertes Beschichtungsvolumen
- niedriger Eintrag von (latenter) Wärme
-> geringe thermische Werkstückbeanspruchung
- temperatur- und positionsbezogene Prozessregelung
-> geringe Nacharbeit

Beispiel: Beschichtung von Flansch-Dichtflächen




100 mm


10 mm

Quelle: IPG Laser

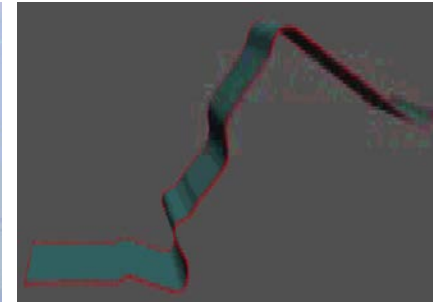
Bauteilqualität II

Beispiel: CAD/CAM-Kopplung in der Werkzeugmodifikation

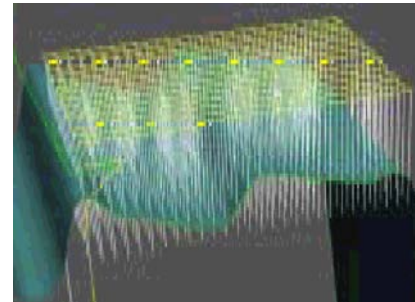
- Ist-Zustand / Änderungsbedarf
-> Werkzeuganalyse / CAD-Datensätze
- Prozessplanung
-> Optimierung Ablauf, Verzug, Taktzeit, ...
- Off-line-Programmierung / Fertigungssimulation
-> Prozessvorbereitung, Zugänglichkeit, Anlagenkapazität
- Prozessdurchführung
-> Anlagenbelegung, Fertigungslogistik
- Nachkontrolle, Finishing
-> Ergebnisprüfung, Einsatzvorbereitung



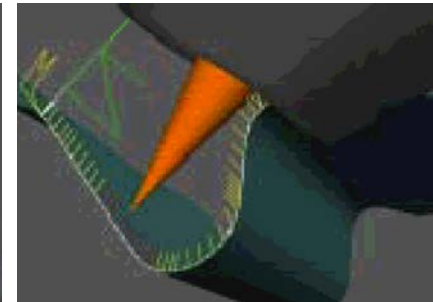
1. Werkzeug zu ändern



2. CAD - Datengenerierung



3. Schweißfolgeplanung



4. Off-line - Programmierung Simulation



5. Auftragschweißen



6. modifiziertes Werkzeug

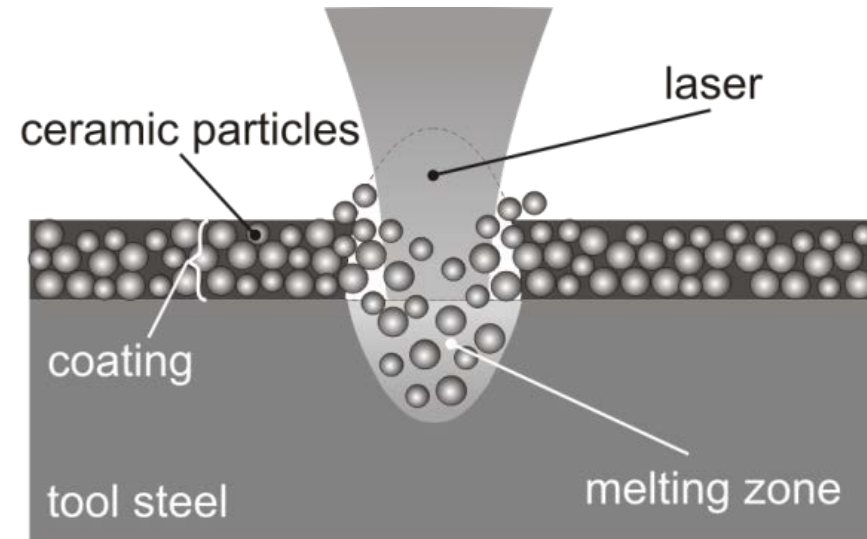
Quelle: Daimler

Micro-Implantieren: Verfahrensprinzip

Prozessablauf (zweistufig)

- Auftragen einer Schicht (0,05 mm – 0,2 mm) mit eingelagerten Hartstoffpartikeln (hochschmelzend)
- Einstrahlung eines fokussierten Laserstrahls, gepulst
- Durchmischen der Hartstoffpartikel mit flüssigem Grundwerkstoff
- Erstarrung des aufgeschmolzenen Materials mit eingelagerten Hartstoffpartikeln
- Herstellung eines beanspruchungsbezogenen Musters

=> tribologisch resistenterer Werkzeugoberfläche durch Selbstordnungsphänomene



Quelle: Uni Kassel

Micro-Implantieren I

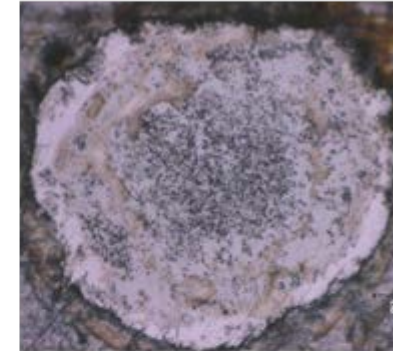
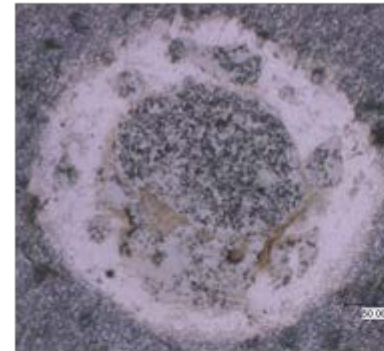
- Vorteile:

- Lokale Einstellung von Materialeigenschaften
- Geringe thermische Belastung des Bauteils
- Korrektur / Reparatur komplexer 3d-Strukturen
- Verkürzung von Ausfallzeiten
(Neuinvestition → Reparatur)

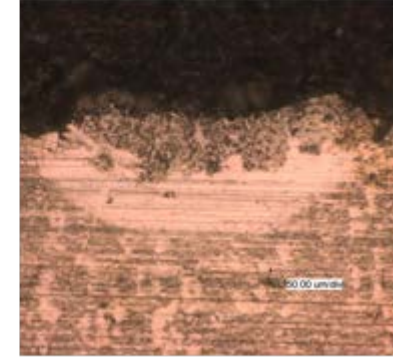
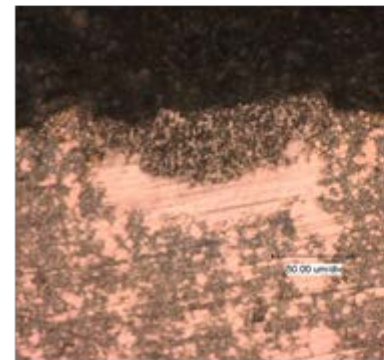
- Anwendungspotenziale:

- Erzeugung von Verschleißschichten
- Korrektur von Werkzeugen und Formen
(Neuzustand)
- Reparatur von Werkzeugen und Formen
(Verschleiß)

Oberfläche



Querschliff

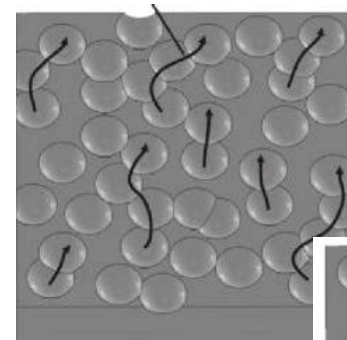


P_L : 70 W
 t_p : 3 ms – 5 ms

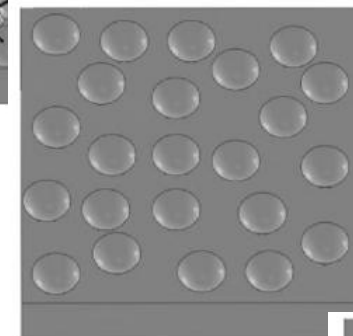
Micro-Implantieren II

• Entwicklungspotenziale

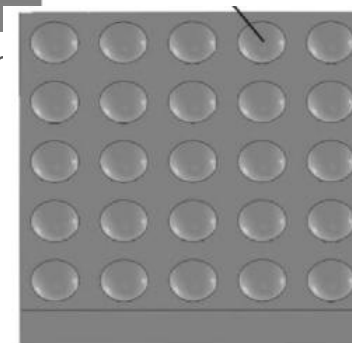
- funktional ausgelegte Werkzeugoberflächen
 - > Werkstoffkombinationen
 - > Implantationsmuster
 - > Geometrie der Implantatzonen
 - tribologische Optimierung durch Selbstordnung
 - > Einstellung konstanter Höhendifferenz
Hartstoffimplantat – Substrat
 - > Bildung von Schmierungs- / Abriebzonen
 - > mechanische Eigenschaftstrennung
Oberfläche (Festigkeit) – Substrat (Zähigkeit)
- ⇒ Standzeitverlängerung von Werkzeugen
- ⇒ neue Werkzeugkonzepte



stochastisch,
verbunden



halb deterministisch
unverbunden



deterministisch,
unverbunden

Implantationsmuster

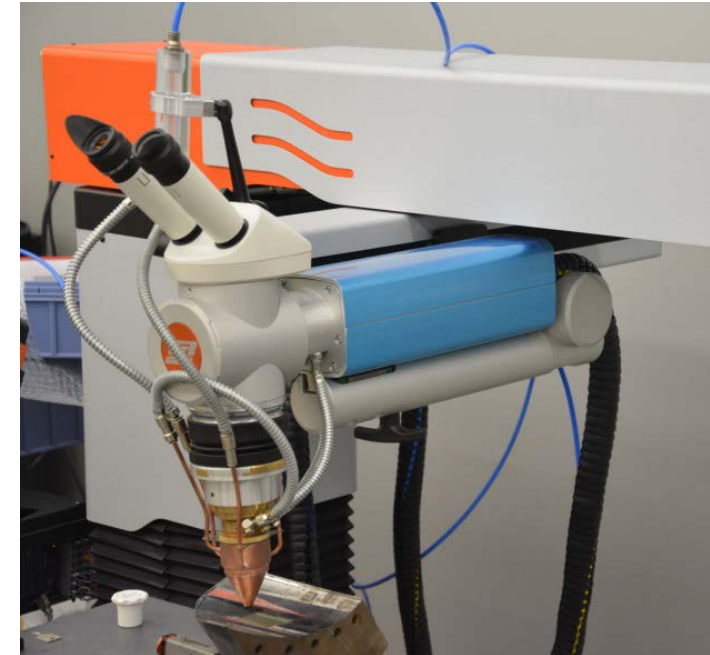
Anlagenbeispiele I

Laseranlage für manuellen Betrieb (Pulsbetrieb)



ZW: Draht
 $V_{ZW} \leq 1 \text{ cm}^3/\text{h}$

Quelle: OR Laser



ZW: Pulver / Draht
 $V_{ZW} \leq 5,6 \text{ cm}^3/\text{h}$

Arbeitskopf für Pulverauftrag (cw-Betrieb)

$P_L \leq 300 \text{ W}$
 $P_P \leq 3 \text{ kW}$

Anlagenbeispiele II



Anwendungen: kompakte Werkzeuge /

Anwendungen: Großwerkzeuge /
Zugänglichkeitseingeschränkt

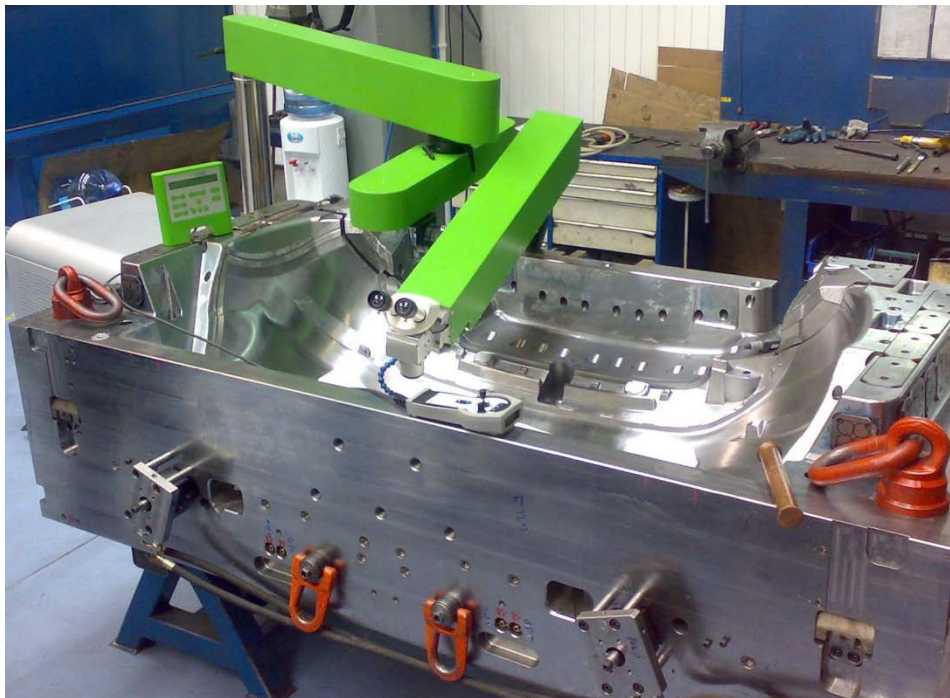
ZW: Draht

$P_L \leq 500 \text{ W}$
 $P_P \leq 13 \text{ kW}$

Quelle: Sigma Laser

Anwendungsbeispiele I

Handbearbeitung an Großwerkzeugen



Tiefziehwerkzeug

M: 7.000 kg

Quelle: Sigma Laser



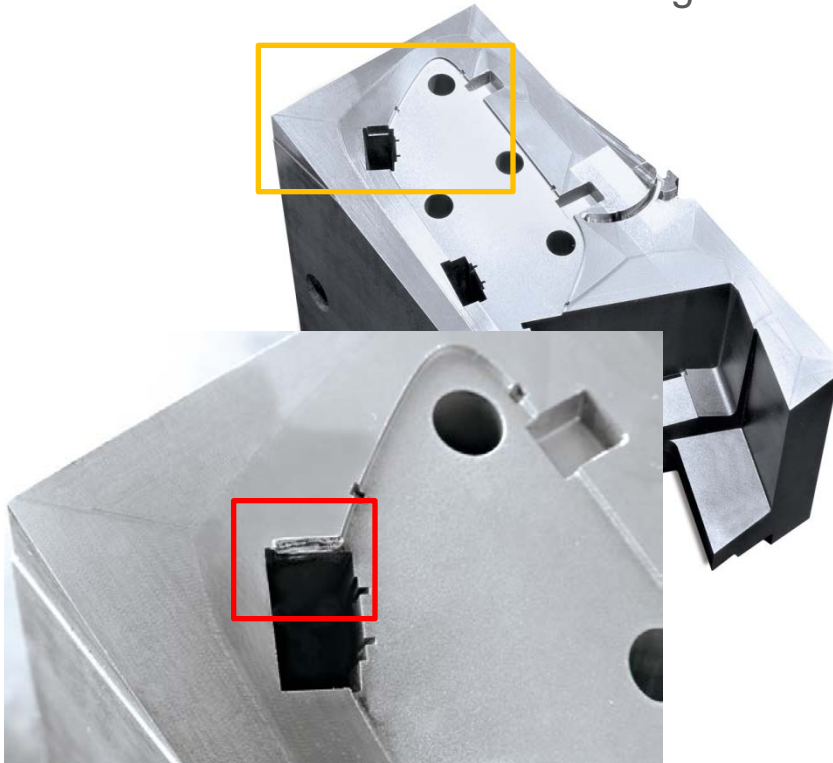
Formwerkzeug

M: 20.000 kg

Quelle: OR Laser

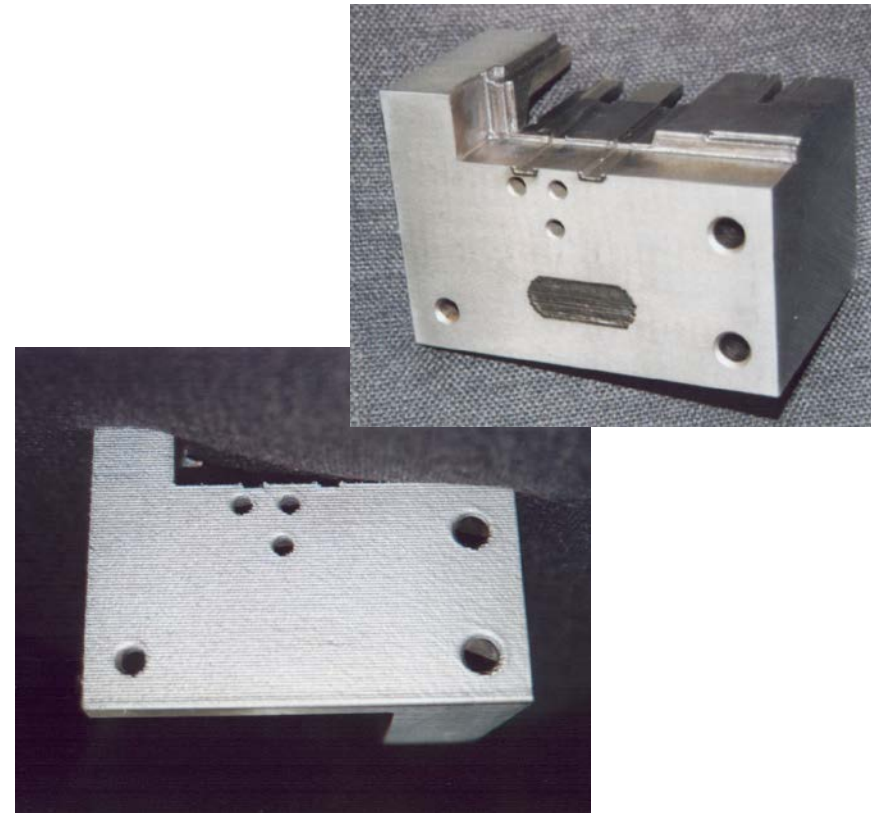
Anwendungsbeispiele II

Modifikation von Präzisionswerkzeugen



Werkzeug mit Schließ- und Gleitmechanismen
-> Änderung Kantengeometrie

Quelle: OR Laser



Werkzeug mit Zentrierbuchsen
-> Änderung Formhöhe (flächig)

Quelle: Sigma Laser

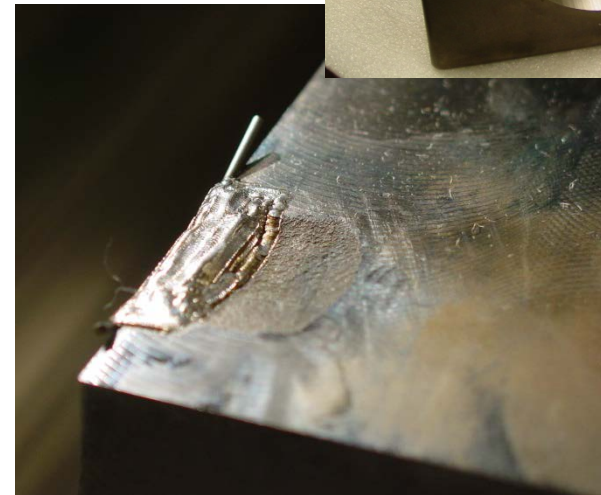
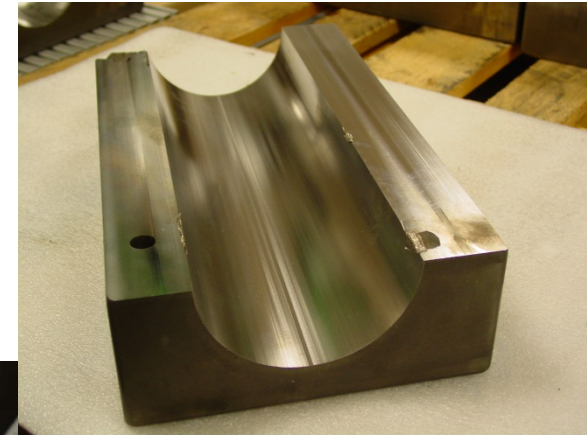
Anwendungsbeispiele II

Verschleißreparatur von Werkzeugen



lokaler Verschleiß an Werkzeugeinsatz für CD-Produktion
-> lokale Reparatur

Quelle: OR Laser



Lokale Ausbrüche an Laufbuchsenkante
-> Reparatur mit geringem Wärmeeintrag

Quelle: Sigma Laser

Zusammenfassung

Vielfältige Einsatzmöglichkeiten für Hochleistungslaser im Werkzeug- und Formenbau:

- Prototypen- und Kleinserienfertigung
- Reparatur und Modifikation
- Einsatzangepasste Werkzeugkonzepte

=> Vielzahl möglicher Laserstrahlverfahren

=> Verfahren und Prozess werden über Laser- und Parameterauswahl eingestellt

=> Möglichkeiten zu manuellem und automatisiertem Betrieb

Vorteile und Potenziale

- lokale Energieeinwirkung
=> geringe Einflüsse auf Werkzeugvolumen
- hohe Leistungsdichte
=> kurze Prozesszykluszeiten
- Verfahrensentwicklung
=> neue Verfahren mit erweiterten Möglichkeiten
=> Verbesserung der Verfahrenswirksamkeit (Präzision, Reproduzierbarkeit, Qualität, ...)