

## WERKSTOFF - UND GEOMETRIEWERKSTÜCKBEEINFLUSSUNG AUF LASERSTRAHLBIEGEN

Received - Primljeno: 2002-04-13

Accepted - Prihvaćeno: 2002-07-10

Professional Paper - Strukovni rad

Seit den siebziger Jahre ist durch die Einführung des Laserstrahls in die Fertigungstechnik eine ganze Reihe neuer Verfahren entstanden. Einige dieser Verfahren sind mittlerweile in die technische Anwendung übergegangen wie zu Beispiel Schneiden, Schweißen, Drehen, Fräsen, Bohren und Umformen. Gemeinsames Merkmal der Lasergestützten Formgebungsverfahren ist die digitale Speicherung der Werkstückgeometrie in einem NC-Programm anstelle der analogen Speicherung im Werkzeug und sukzessive Abarbeitung dieses Programm, die zusätzlich Steuermöglichkeiten während des Prozessablaufs ermöglicht. Weiterhin ergibt die Vorgehensweise eine sehr hohe Flexibilität hinsichtlich der Werkstückgeometrie, die im Bereich des Rapid Prototyping genutzt werden. In dieser Arbeit wird Werkstoff - Geometriewerkstückbeeinflussung auf den Laserstrahlbiegen analysiert. Einfluss hat Blechdicke, Längen der Biegekante und Biegeschenkel.

**Schlüsselwörter:** Biegen, Laser, Werkstoff, Geometriewerkstück

**Utjecaj materijala i geometrije radnog komada kod savijanja laserom.** Od kada je sedamdesetih godina uveden laser u tehnologiju izrade nastali su mnogi novi postupci. Neki od tih postupaka našli su tehničku primjenu u tehnologiji izrade kao na primjer rezanje, zavarivanje, tokarenje, glodanje, bušenje i oblikovanje metala deformiranjem. Karakteristika je postupka izrade potpomognuta laserom digitalno spremanje geometrije radnog dijela u NC - program, provođenje analognog spremanja podataka u (stroj) alat i sukcesivna obrada ovog programa, koji osigurava dodatno mogućnost upravljanja za vrijeme odvijanja procesa. Nadalje, postiže se fleksibilnost s obzirom na geometriju radnog komada, koja se primjenjuje u području brze izrade prototipova. U ovom se radu analizira utjecaj materijala i geometrije radnog komada na savijanja laserom. Utjecaj ima: debljina lima, duljina ruba savijanja i duljina kraka savijanja

**Ključne riječi:** savijanje, laser, materijal, geometrija radnog komada

### EINLEITUNG

Die Umformtechnik hat schon seit längerer Zeit ihre große Bedeutung in der Produktionstechnik. Seit den 70er Jahren ist durch die Einführung des Laserstrahls in die Fertigungstechnik eine ganze Reihe neuer Verfahren entstanden. Einige dieser Verfahren sind mittlerweile in die technische Anwendung übergegangen wie zu Beispiel Schneiden, Schweißen, Drehen, Fräsen, Bohren und Umformen.

Es können drei Arten der lasergestützten Verfahren unterschieden werden [1]:

1. Laserstrahlverfahren,
2. Laserunterstützte Verfahren,
3. Verfahrenintegrationen.

B. Grizelj, Universität Osijek, Maschinenbauakultät Slavonski Brod, Kroatien, I. M. Kenter, Institut für Produktionstechnik und Fabrikbetrieb, Hochschule Bremen, Deutschland, M. Math, Universität Zagreb, FSB Zagreb, Kroatien

Die rasche Entwicklung dieser Verfahren ist die Folge billigere Teilsproduktion, verlangen Genauigkeiten und Qualität.

Gemeinsames Merkmal der Lasergestützten Formgebungsverfahren ist die digitale Speicherung der Werkstückgeometrie in einem NC-Programm anstelle der analogen Speicherung im Werkzeug und sukzessive Abarbeitung dieses Programm, die zusätzlich Steuermöglichkeiten während des Prozessablaufs ermöglicht. Hieraus ergeben sich unmittelbar zwei Vorteile dieser Verfahrensgruppe:

1. CAD - Daten können direkt in Werkstücke umgesetzt werden, ohne den Umweg über Modell-oder Werkzeugbau zu gehen,
2. Diese Verkürzung die Prozesskette von der Konstruktion zum Bauteil verringert die Fehlerquellen und beschleunigt den Fertigungsablauf.

Weiterhin ergibt die Vorgehensweise eine sehr hohe Flexibilität hinsichtlich der Werkstückgeometrie, die im Bereich des Rapid Prototyping genutzt werden.

**LASERSTRAHLUMFORMEN**

Das Laserstrahlumformen beruht auf der Erzeugung thermischer Spannungen durch lokale Erwärmung. Durch die thermische Spannungen werden unmittelbar oder mittelbar plastische Dehnungen erzeugt, die zu einem Umformen des bestrahlten Bauteiles führen. Das Grundprinzip ist seit längerem aus einer ähnlichen Anwendung mit einer Brennerflamme als Flammenrichten bekannt. Während mit einer Flamme eine konstante Oberflächentemperatur vorgegeben wird, erzeugt die Laserbestrahlung einen konstanten Energiestrom in die Oberfläche. Dies hat weitreichende Konsequenzen für die mit den beiden Verfahren realisierbarer Temperaturfelder und die draus resultierende Mechanismen und Anwendungen.

Spannungszustand	ebener Druckspannungszustand	Gruppe	Verfahren mit Wirkenergie
Temperatur	Warmumformen	Werkzeugbindung	freie Umformung
Werkstueck	Blechumformung		

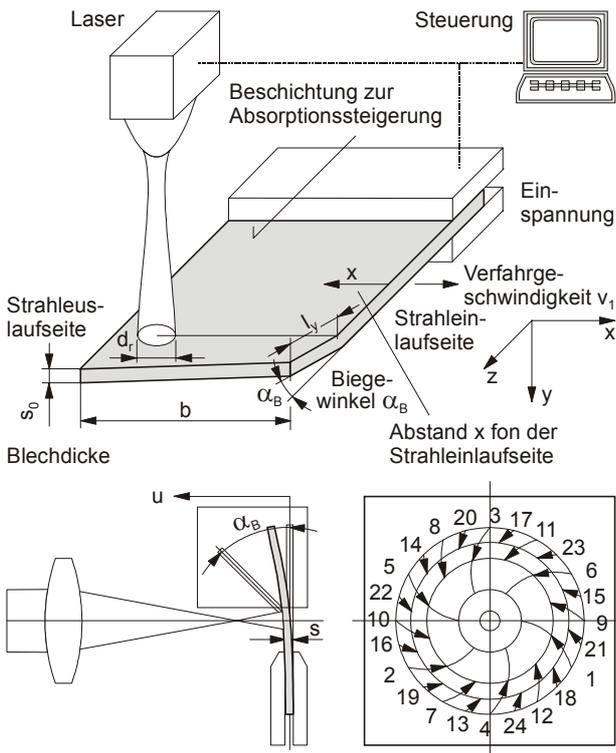


Bild 1. Grundprinzip des Laserstrahlumformen am Beispiel des Laserstrahlbiegens mit Einordnung des Verfahrens  
 Slika 1. Osnovni princip oblikovanja metala deformiranjem laserskom zrakom

Der prinzipielle Verfahrensablauf beim Laserstrahlumformen ist im Bild 1. dargestellt [2-5].

Das Werkstück wird mit einem defokussierten Strahl erwärmt. Bedingt durch die lokale Erwärmung und die Behinderung der freien Ausdehnung durch das umliegende kalte Blech kommt es zu lokalen plastischen Formänderungen. Mit der Abkühlung wird ein Biege-winkel ausgebildet, oder bei entsprechender Bestrahlung zur Ausbildung dreidimensionaler Strukturen.

Im Bild 2. ist die wichtigsten Einflussfaktoren auf den Biege-winkel und den Biegeradius sowie den Mechanismus dargestellt [2]. Als Ergebnis des Laserstrahlumformen sind vor allem folgende Größen revolveant:

- Biege-winkel,
- Biegeradius,
- Verkürzung der Biegeschenkel,
- Blechdickezunahme in der Biegekannte,

Faktor	Einfluss auf			siehe
	Biege-winkel	Biege-radius	Mecha-nismus	
Laserleistung	sehr stark	vernachlässig	gering	
Verfahrgeschwindigkeit	sehr stark	vernachlässig	vernachlässig	
Strahldurchmesser	gering	sehr stark	sehr stark	
Werkstücktemperatur	gering	vernachlässig	vernachlässig	
Werkstückkühlung	gering	vernachlässig	vernachlässig	
Abstand der Linien	gering	sehr stark	vernachlässig	
Bestrahlungszahl	sehr stark	vernachlässig	vernachlässig	
Linienform	gering	gering	sehr stark	
<b>Werkstoffkennwerte</b>				
Ausdehnungskoeffizient	sehr stark	vernachlässig	vernachlässig	
Wärmekapazität	gering	vernachlässig	vernachlässig	
Wärmeleitfähigkeit	sehr stark	sehr stark	vernachlässig	
elastische Dehnung	gering	vernachlässig	vernachlässig	
Verfestigungsverhalten	gering	vernachlässig	vernachlässig	
<b>Rohteileigenschaften</b>				
Geometrie	sehr stark	vernachlässig	vernachlässig	
Blechdicke	sehr stark	vernachlässig	sehr stark	Bild 3
Biegekanntenlänge	gering	vernachlässig	vernachlässig	Bild 5
Eigen-spannungen	gering	vernachlässig	sehr stark	

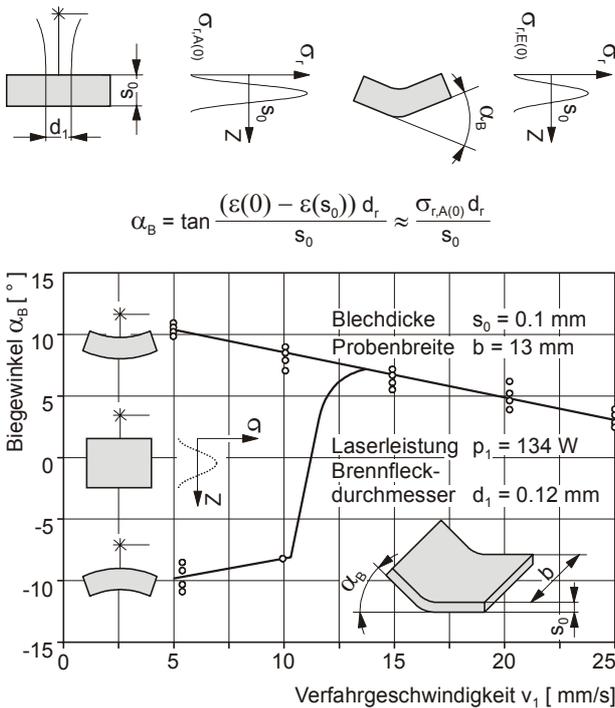


Bild 2. Einflussfaktoren beim Laserstrahlumformen  
Slika 2. Utjecajni faktori kod oblikovanja metala deformiranjem laserskom zrakom

- Oberflächenrauheit,
- Eigenspannungen,
- Verzug,
- Änderung der Mikrostruktur (Verfestigung, Rekristallisation etc.).

**WERKSTOFFBEEINFLUSSUNG**

Grundsätzlich können nach dem Laserstrahlumformen folgende Gefügeänderungen festgestellt werden: Verfestigung, Erholung, Rekristallisation, Kornvergrößerung, Entstehung eines Überhitzungsgefüges, Umwandlung in Bainit, martensitische Umwandlung und Korngrenzensegregation zweiter Phasen.

Laserstrahlumformen kann sowohl mit als ohne bleibende Verfestigung ablaufen, weil beim Laserstrahlumformen handelt es sich um einen Warmumformvorgang, der durch die plastische Formänderung in Verbindung mit einer Erwärmung des Werkstoffs Gefügeveränderungen verursacht und damit Auswirkungen auf das Bauteilverhalten hervorruft.

**GEOMETRIEEINFLUSS DES WERKSTÜCKES AUF DEM LASERSTRAHLBIEGEN**

Auf den Laserstrahlbiegen hat den Einfluss:

1. Blechdicke  $s_0$ ,
2. Längen der Biegekante  $b$ ,
3. Biegeschenkel  $l_y$ .

**Blechdicke**

Die Blechdicke wirkt sich auf folgende Größen aus:

1. Die Blechdicke bestimmt die Größe des zu erwärmenden Volumens bei der Biege winkelausbildung in der Abkühlphase.
2. Der Anteil der Schicht mit thermisch beeinflussten Gefüge ändert sich deutlich mit der Blechdicke, da sich die Größe der Wärmeeinflusszone wesentlich schwächer mit der Blechdicke ändert als die Blechdicke selbst.
3. Das Temperaturfeld in Blechdickenrichtung kann als unabhängig von der Blechdicke betrachtet werden.

Im Bild 3. ist der Einfluss der Blechdicke auf den Biege winkel in Fall des Knickmechanismus dargestellt.

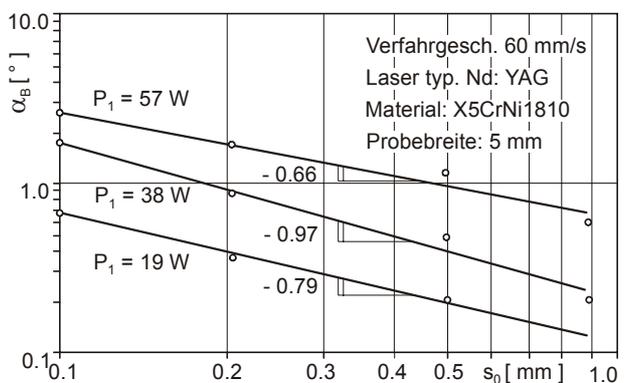


Bild 3. Einfluss der Blechdicke auf dem Biege winkel im Fall des Knickmechanismus  
Slika 3. Utjecaj debljine lima na kut savijanja u slučaju mehanizma izvijanja

**Länge der Biegekante**

Bei einer Variation der Länge der Biegekante treten folgende Änderungen ein:

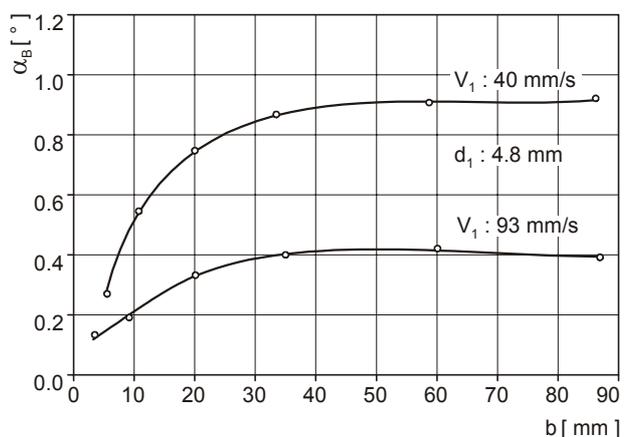


Bild 4. Einfluss der Länge der Biegekante auf den Biege winkel (Temperaturgradient - Mechanismus)  
Slika 4. Utjecaj duljine ruba savijanja na kut savijanja ( toplinski gradijent)

1. Änderung des Formänderungszustands: Während bei kurzen Biegekanten ein dreiachsiger Formänderungszustand vorliegt, ergibt sich bei langen Biegekanten vor allem ein ebener Formänderungszustand.
2. Änderung des Temperaturfelds: Bei sehr langen Biegekanten ergibt sich eine Temperaturerhöhung an der Oberfläche. Diese Temperaturerhöhung hat eine Veränderung der Form des Temperaturfelds zur.
3. Änderung des Flächenträgheitsmoments. Da die Länge  $b$  in das Flächenträgheitsmoment eingeht, verändert sich dies mit einer Änderung der Geometrie des Bauteils.

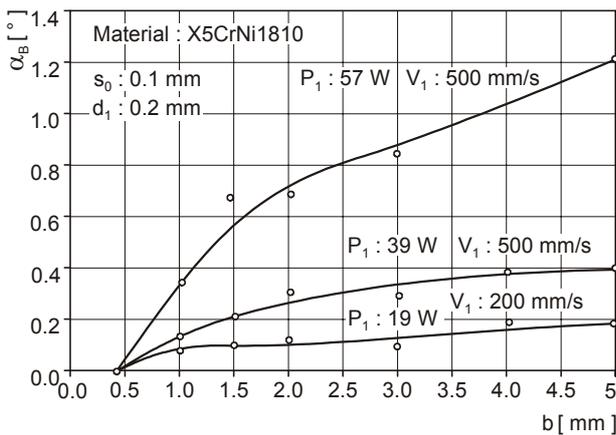


Bild 5. Einfluss der Länge der Biegekante beim Knickmechanismus  
Slika 5. Utjecaj duljine ruba savijanja na kut savijanja (mehanizam izvijanja)

Einfluss der Länge der Biegekante auf den Biegewinkel im Fall des Temperaturgradienten - Mechanismus ist im Bild 4. dargestellt. Mit zunehmender Blechbreite nimmt der Biegewinkel zu. Bei der entsprechenden Versuchsreihe, wurden zwei Verfahrensgeschwindigkeiten gewählt.

Einfluss der Länge der Biegekante auf den Biegewinkel im Fall des Knickmechanismus ist im Bild 5. dargestellt.

Einfluss des Abstands  $x$  auf den Biegewinkel ist im Bild 6. dargestellt.

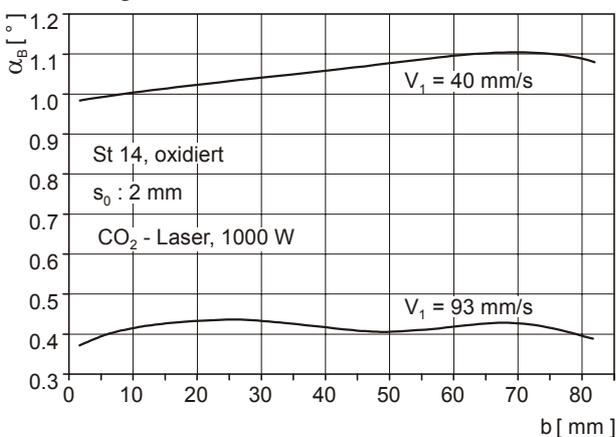


Bild 6. Biegewinkelverlauf entlang der Biegekante  
Slika 6. Krivulje kuta savijanja uzduž duljine ruba savijanja

### Einfluss die Länge des freien Biegeschenkels

Die Länge des freien Biegeschenkels kann sich in zwei sehr unterschiedlichen Weisen auswirken:

1. Sehr kurze Biegeschenkel führen zu einer Beeinflussung des Temperaturfeldes.
2. Sehr lange Biegeschenkel beeinflussen den Prozess durch ihre Eigengewicht.

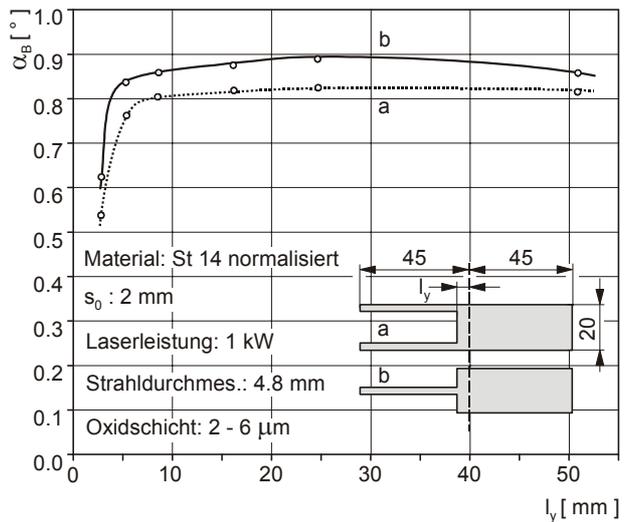


Bild 7. Einfluss des Biegeschenkels auf den Biegewinkel  
Slika 7. Utjecaj duljine kraka savijanja na kut savijanja

Einfluss des Biegeschenkels auf den Biegewinkel ist im Bild 7. dargestellt.

Wird die Länge des freien Schenkels deutlich vergrößert, dann ergibt sich eine signifikanter Einfluss des Eigengewichts des Schenkels auf den Biegewinkel Bild 8..

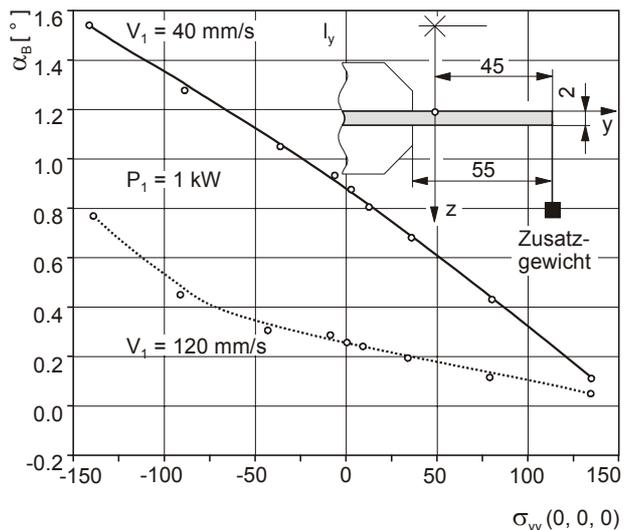


Bild 8. Einfluss der durch das Eigengewicht des Biegeschenkels verursachte Spannung auf den Biegewinkel  
Slika 8. Utjecaj naprezanja prouzrokovan svojom težinom (kraka) na kut savijanja

Wird die Länge des freien Schenkels deutlich vergrößert, dann ergibt sich ein signifikanter Einfluss des Eigengewichts des Schenkels auf den Biegewinkel. Für Zugspannungen, d.h. wenn es eines langen Biegeschenkels gibt, ergibt sich eine Abnahme des Biegewinkels. Für die Druckspannungen, also eine Bestrahlung aus der - z Richtung, ergibt sich eine Vergrößerung des Biegewinkeln.

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Frage der Arbeitsgenauigkeit und Verfahrensgrenzen Nd: YAG können derzeit noch nicht als vollständig geklärt betrachtet werden. Durch Ersatz des Verfahrens in einem geschlossenen Regelkreis ist Biegung mit Winkel Fehlern  $0.2^\circ$ , ähnlich wie beim geregelten freien Biegen, realisierbar. Aussagen zu den Verfahrensgrenzen sind derzeit nur insofern möglich, bei der Biegen ebener Bleche und das Tiefziehen. Im Gegensatz dazu erscheint es aus derzeitiger Sicht unwahrscheinlich, Verfahren, die vor allem eine lokale Verlängerung des Werkstücks erfordern, zu realisieren.

Fest steht, dass der Gesamtwirkungsgrad des Verfahrens, der unter Einbeziehung des Wirkungsgrad des Lasers errechnet wird, wegen der indirekten Umsetzung der in das Werkstück eingebrachten Energie über dem Umweg

der thermischen Ausdehnung sehr klein ist. Es ist bei der Umformung bis  $s_0 = 2$  mm anwendbar. Die Umformung  $s_0 > 2$  mm (dickerer Werkstücke) ist zwar prinzipiell möglich, der Energieaufwand steigt jedoch mit dem Quadrat der Wanddicke an.

Einige Aspekte wurden hier untersucht. Hierbei zeigt, dass insbesondere die Blechdicke, die Blechbreite und die Vorfahrgeschwindigkeit den Prozess stark beeinflussen. Die Blechdicke hat hinsichtlich der Geometrieparameter den größten Einfluss auf den Biegewinkel.

### LITERATUR

1. F.Vollersten: Laserstrahlumformen, Lasergestützte Formgebung: Verfahren, Mechanismen, Modellierung, Meisenbach Bamberg (1996)
2. L. Galantucci, L. Tricarico: Transient Numerical Analysis of Laser Heat Treatment Using FEM. Laser Assisted Net shape Engineering, Proceedings, Eds.: M. Geiger, F. Vollersten, Meisenbach Bamberg (1994) 295-316
3. M. Geiger: Synergy of Laser Material Processing and Metal Forming. Annals of the CIRP 43 (1994) 2, 1-8
4. M. Geiger, F. Vollersten, S. Amon: Flexible Blechumformung mit Laserstrahlung - Laserstrahlbiegen. Blech Rohre Profile 38 (1991) 856-861
5. B. Grizelj, I. M. Kenter, D. Grizelj: Geometrie-einflusse des Werkstücks im verfahren Laser-strahlbiegen. Tehnički vjesnik 3, 4 (2001)