

УДК 621.592.00

Hochpräzise Technologie und neuen CNC-Werkzeugmaschinen-Roboter der
Laserbearbeitung für Spiralkegelräder im Bereich der Digitalfertigung –
Industrie 4.0

B. Shdanow (Hrsg.), J. Maksimow, W. Merzlikin, A. Andreew¹, K. Wegener²
Moskauer staatliche Universität des Maschinenbaus, Moskau, Russland
(seit 09/2016 wird als – Moskauer staatliche polytechnische Universität)

¹*Moskauer ingenieur-physikalische Universität*

(National Research Nuclear University), Moskau, Russland

²*Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH), die Schweiz*

Die Hauptaufgaben des Maschinenbaus sind eine Herstellung Präzisions-Maschinenelemente, Oberflächenqualität und eine Reduzierung die Werkzeugherstellkosten zur Werkzeugmaschine zu verbessern. Weltführende Werkzeugmaschinenbau Unternehmen sind Fa. „KLINGELNBERG“ (Deutschland und die Schweiz) und Fa. „Gleason Works“ (USA) im Bereich der Kegelräderherstellung. Die gewünschte Zahngeometrie wird durch Anwendung verschiedener mechanischen Bearbeitung erreicht. Dies erfordert den Verschleiß der Bearbeitungswerkzeuge zur Herstellung von Spiralkegelräder. Dieses Werkzeug ist teuer zur Herstellung. Wir können die Kosten für Werkzeuge zur Herstellung von Zahnrädern zu verringern und das Problem der Werkzeugresistenz während Verzahnungsbearbeitung zu lösen. Die Verwendung von Laserkopf als Werkzeug für die Herstellung von Zahnrädern erhöht die Genauigkeit und verringert die Anzahl der technologischen Übergänge bei der Herstellung. Die vorgeschlagene Technologie und neue CNC-Roboter gibt uns die Realisierung der Aufgaben die Genauigkeit der Bearbeitung von Kegelräder und reduzieren die Kosten des Werkzeugs durch den Einsatz des Laserkopfes statt eines mechanischen Werkzeugs zu verbessern. Neue automatisierte Werkzeugmaschine gibt es mit einem 6-Achsen-Roboter und einem Laserkopf zur Herstellung von Kegelrädern mit unterschiedlichen Durchmesser und geben uns die Möglichkeit eine neue Laserbearbeitungstechnologie und Integration in die digitale Fertigung zu verwenden. Wissenschaftliche Forschung liegt im Bereich der digitalen Produktion bei der Verwendung von PLM-System und neue Roboterwerkzeugmaschinen und Lasertechnik.

Doktorand- Ing. Boris Shdanow

Moskau, im März 2016

Kegelräderverzahnung, Spiralkegelräder, Laserbearbeitung, CNC - Roboter,
PLM CAM, Digitalfertigung

Anwendungsbereiche von Spiralkegelräder im Maschinenbau:

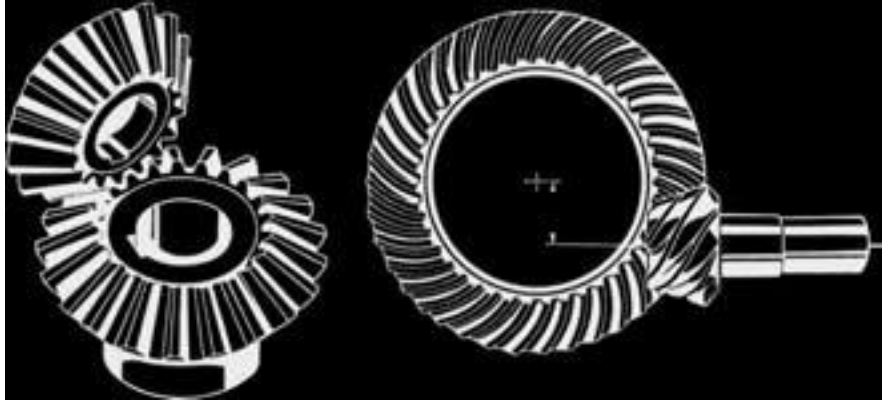


Abb. 1.1

Fahrzeugindustrie – Achsengetriebe (Kegel- und Hypoidgetriebe (Abb.1.1)); Differenzialgetriebe;
 Luft- und Raumfahrttechnik – Luftfahrtgetriebe; Flugzeugturbinen; Klappenantriebe in Flugzeugtragflächen; Raketenmotorenebenantrieben;
 Schiffbau / Marine – Schiffsgetriebe im Bugstrahlruders (Schiff / U-Boot);
 Industriegetriebe – Werkzeugmaschinen- und Roboterbau;
 Medizintechnik – Geräten und Anlagen.

1. Verfahren der mechanischen Verzahnungsbearbeitung.

Kegelräder

Im Gegensatz zum ausschließlich kontinuierlich arbeitenden Zylinderrad-Wälzfräsen können Kegelradwälzfräsmaschinen sowohl im Teilverfahren als auch kontinuierlich betrieben werden. Als Werkzeuge dienen hierbei Messerkopffräser. In Abb. 1.2 ist der Maschinenaufbau und die Werkzeug-Werkstückanordnung einer im Teilwälzverfahren arbeitenden traditionellen Kegelrad-Wälzfräsmaschine skizziert. Als Werkzeug bedient man sich eines Stirn-Messerkopfes, mit dem bedingt durch die Verfahrenskinetik kreisbogenverzahnte Kegelräder hergestellt werden. Die spiralförmigen Flankenabschnitte im gedachten Erzeugungsradssystem entsprechen dann verlängerten Epizykloiden. Im unteren Teil von Abb. 1.2 erkennt man die Schnittbahn der jeweils aus zwei Messern bestehenden Messergruppen, von denen eine die konkave Seite und die andere die konvexe Seite der Zahnücke schneidet. Der skizzierte Messerkopf ist dreigängig, so dass während einer Umdrehung des Messerkopfes drei Zahnücken gespannt werden.

Abb. 1.3 zeigt die Herstellung eines bogenverzahnten Kegelritzels auf einer Kegelrad-Wälzfräsmaschine. Der Messerkopf rotiert auf der zu Beginn stillstehenden Wälztrommel; die Vorschubschwenkung führt den Messerkopf durch das Eingriffsfeld des zu verzahnenden Rades. Seine Schneidmesser fräsen zunächst in einem Einstechvorgang die Zahnücken vom Kopf bis zum Fuß kontinuierlich aus. Zur Ausformung der Zahnflanken wird anschließend die Wälztrommel bewegt. Dieser Wälzvorschub entspricht kinematisch einer zusätzlichen Drehung des Erzeugungsplanrades.

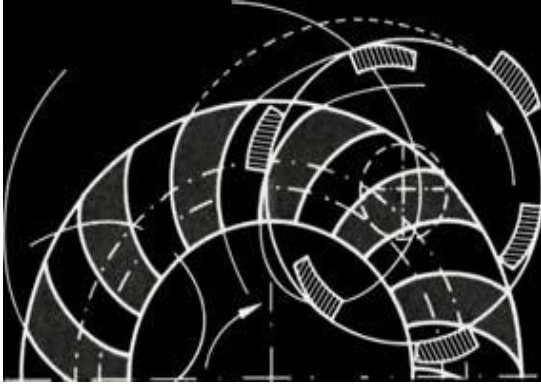


Abb. 1.2



Abb. 1.3

Durch Einsatz mehrgängiger Stirnmesserköpfe (Abb. 1.2) und einer festen Getriebeverbindung bzw. auf heutigen Maschinen einer NC-Wälzkopplung zwischen Messerkopf- und Werkradbewegung, deren Übersetzung dem Verhältnis zwischen Gangzahl (Anzahl der Messergruppen) des Fräasers und Zähnezahl des Werkrades entspricht, ist die kontinuierliche Erzeugung von Kegelrädern auf Spiralkegelrad- Wälzfräsmaschinen möglich [2].

2. Verfahren der Lasermaterialbearbeitung.

Seit dem Bau der ersten Laserstrahlquelle in den USA im Jahre 1960 hat die rasante Entwicklung dieser Technologie zu einer breit gefächerten Anwendung in fast allen Bereichen der Technik, der Naturwissenschaft und der Medizin geführt. Das Wort LASER ist ein Kunstwort aus den Anfangsbuchstaben der Worte zur physikalischen Beschreibung der Lichterzeugung: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Es bedeutet Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung. Laserintegration in Werkzeugmaschinen. Eine weitere interessante Anwendung ist die laserunterstützte Warmzerspannung von hochfesten Werkstoffen, auch als Laser Assisted Machining (LAM) bezeichnet. Hierbei werden konventionelle Dreh- oder Fräsverfahren mit einer Materialerwärmung durch den Laser kombiniert. Der Laserstrahl erwärmt das Werkstück unmittelbar vor der Werkzeugschneide, wodurch das hochfeste Material duktil wird und die Zerspankräfte reduziert werden. Hierdurch lässt sich eine Steigerung des Zeitspanvolumens und damit eine gesteigerte Produktivität erreichen. Als Laserquelle kommen sowohl der Hochleistungsdiodenlaser, der CO₂-Laser als auch der Nd:YAG-Laser zum Einsatz. Diese Technik eignet sich zur Bearbeitung schwerzerspanbarer Werkstoffe, wie hochlegierte Stähle oder Keramiken. Typische Schnittgeschwindigkeiten für Siliziumnitrid-Keramiken liegen zwischen 50 und 75 m/min. Hierbei sind Oberflächen in Schleifqualität mit $R_a < 0,5 \mu\text{m}$ erreichbar. Bei dem laserunterstützten Fräsen von hochfesten Stählen ist gegenüber konventionellen Verfahren eine Reduktion des Werkzeugverschleißes bis zu 90 % und der Schnittkraftbeträge bis zu 70 % erreichbar. Als Schneidstoffe für die Fräswerkzeuge kommen polykristalline Diamanten (PKD) und Hartmetall (HM) in Betracht [2].

Laserabtragen.

Eine Alternative zum Senkerodieren ist das Abtragen mittels Laserstrahlung. Hierbei erwärmt der Laserstrahl die Oberfläche der zu bearbeitenden

Metalloberfläche und verursacht unter Zufuhr von Sauerstoff eine lokal eng begrenzte Oxidation. Wird der Strahl gleichmäßig über die Oberfläche geführt, so erkaltet das Oxid hinter dem Brennpunkt und hebt sich quasi in Form von Spänen von der Oberfläche ab. Schichtstärken von 0,1 mm und Spurbreiten von 0,3 mm sind üblich. Um eine Kavität freizulegen, wird mit ausreichender Überlappung Spur für Spur bearbeitet. Die Steuerinformation zur Erstellung einer Bauteilform, typischerweise ein Gesenk, kann von einem CAD-System abgeleitet werden. Das Programmiersystem der Anlage generiert aus diesen Daten die notwendigen Verfahren Wege. Durch eine Doppelspaltabbildung von Leuchterscheinungen der Oxidschicht auf einen CCD-Chip und Auswertung des Abstandes der beiden entstehenden Leuchtpunkte kann die Tiefe des Abtrags ermittelt werden. Diese wird fortlaufend erfasst. Eine Regeleinrichtung vergleicht Messwert und gewünschte Distanz und errechnet das Steuersignal für die Laserleistungssteuerung. Es lassen sich so Oberflächengüten von $R_a = 1,3 \mu\text{m}$ erzielen [2].

Je nach Anwendung und Einsatzkriterien können die Lasermaterialbearbeitungsverfahren unterschiedlichen Fertigungshauptgruppen zugeordnet werden. Nach Art der Wechselwirkung zwischen Laserstrahl und Werkstück lassen sich verschiedene Verfahrensprinzipien unterscheiden:

- abtragende und trennende Verfahren (Materialentfernung),
- schmelzende und eigenschaftsändernde Verfahren (weitgehende Erhaltung der Materialmenge und Werkstückkonturen),
- aufragende und generierende Verfahren (Erhöhung der Materialmenge) [3].

Wir nehmen für Kegelhäberrverzahnung abtragende und trennende Verfahren. In Bild 2.1 ist das Strahlungssystem direkt mit einem Gelenkarmroboter gekoppelt.

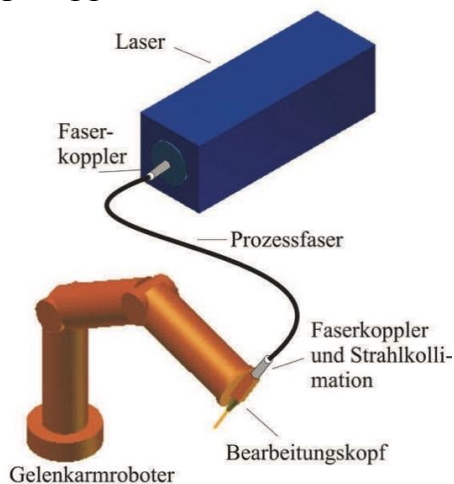


Abb. 2.1

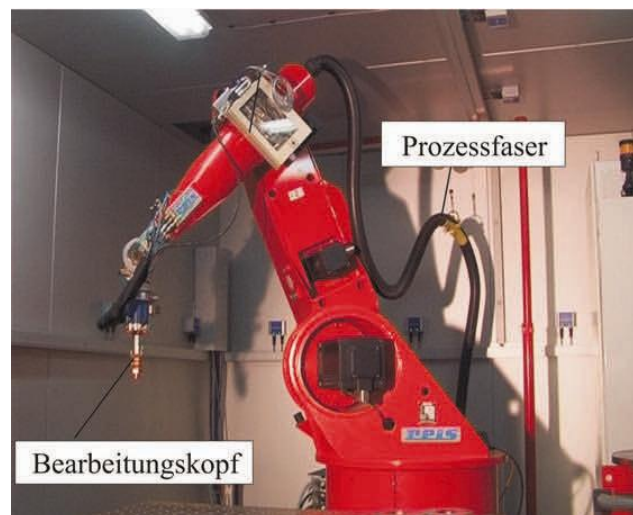


Abb. 2.2

In dieser Anlagenkonfiguration können die hohe Flexibilität und die 3D-Bearbeitungsmöglichkeit einer solchen Roboteranordnung vorteilhaft genutzt werden. Allerdings muss einschränkend erwähnt werden, dass die erreichbare

Positioniergenauigkeit wesentlich geringer ist als bspw. die eines hochgenauen Linearantriebes oder einer Portalmaschine. Dennoch sind robotergeführte LMB-Anlagen für viele Verfahrensanwendungen.

Für die Bearbeitung von Spiralkegelrädern können 6-Achs-Gelenkarmroboter mit einem Werkstückgreifer die Bauteile unter dem feststehenden Laserbearbeitungskopf positionieren und bewegen. Es sind jedoch hinsichtlich Gewicht und Volumen der zu bearbeitenden Bauteile Grenzen gesetzt.

Die abtragenden Verfahren lassen sich prinzipiell in thermische und athermische Verfahren unterscheiden. Für thermische Abtragsverfahren ist der Materialabtrag durch drei charakteristische Phasen gekennzeichnet.

Technische Daten für Laserkopf (als Werkzeug):

Laser: Ytterbium-Faser

Modell: PM-1,5 OM (IPG Photonics)

Betriebsart: kontinuierlich, quasi-kontinuierlich (Single-Mode, die BPP 2 mm * mrad)

Polarisation: random

Maximale Ausgangsleistung : 1,5 kW

Wellenlänge: 1070 nm

Faserdurchmesser : 14 mm

Optischer Kopf: der Abtastkopf (IPG Photonics)

Die Verarbeitung Field: 30 x 30 cm²

Brennweite : 520 mm

Aufklärung der Optik: bei 1070 nm

Roboterhersteller: ABB (Schweden)

Roboter-Modell: IRB 4600 M2004

Literaturverzeichnis:

1. Kegelräder, Jan Klingelnberg Hrsg.; Grundlagen, Anwendungen; 2008, Springer Verlag, Berlin.
2. Werkzeugmaschinen in 5 Bände, Manfred Weck · Christian Brecher, 2006, Springer Verlag, Berlin.
3. Lasermaterialbearbeitung, 2013 (Grundlagen-Verfahren-Anwendungen-Beispiele), J. Bliedtner, H. Müller, A. Barz; HANSER Verlag, München.
4. Technologie der Laserbearbeitung, A. Grigorjanz, I. Schiganow, A. Miesürow, 2006, Verlag Moskauer staatliche technische Universität in Namen N. Bauman, Moskau.
5. Handbuch Spanen, 2014, Günter Spur, HANSER Verlag, München.
6. Handbuch für Fertigungsplaner – Maschinenbauer in 2 Bände, Dalskij A.; Suslow A.; Kosilowa A. u. a.; 2003, Verlag für Maschinenbau, Moskau.
7. Grundlagen CAM Siemens NX, 2012, Wedmidj P., Verlag DMK Press, Moskau.
8. Automatisierung des Herstellprozesses und der Fertigung, 2012, A. Shirladse, A. Fedotow, W. Homtschenko, Verlag – Hochschule, Moskau.