

Obdelava kovin z žarkovnimi izvori energije

Metal Treatment by Beam Energy Sources

G. Rihar, Institut za varilstvo, Ljubljana, Ptujška 19

Na površino varjenca iz nelegiranega jekla je bila nanešana tanka plast legirnih elementov, ki jih je impulzni Nd YAG laser pretaljeval skupaj z osnovo. Z mešanjem osnove in dodanih legirnih elementov je nastajala zlitina, ki je vsebovala do 70% legirnih elementov. Na ta način so bili izvedeni poizkusi navarjanja z nikljem, kromom, kromovim karbidom in volframovim karbidom. Ugotovili smo, da količina in oblika dodanega legirnega elementa vplivata na obliko navarjene zlitine in na količino pretaljenega osnovnega materiala.

A thin layer of alloying elements, which were remelted together with the base metal by a Nd YAG laser, was deposited on the surface of a workpiece. In mixing of the base and the alloying elements added, an alloy containing up to 70% of the alloying elements was formed. The same surfacing experiment was carried out with nickel, chromium, chromium carbide and tungsten carbide.

It was established that the quantity and the form of an alloying element added effects the form of the alloy surfaced and the quantity of the base metal remelted.

The alloy is relatively homogeneous and has got a fine microstructure.

1 Uvod

Za obdelavo kovin uporabljamo različne izvore toplotne energije. V zadnjem času se uveljavljajo žarkovni izvori, s katerimi dosežemo take učinke, ki jih s klasičnimi izvori ne moremo. Glavna značilnost teh izvorov je možnost velike koncentracije energije, zato se imenujejo tudi visoko koncentrirani izvori energije. Niso primerni za ogrevanje celotne mase obdelovanca, temveč njihove prednosti izkoriščamo pri lokalni obdelavi. Veliko število objav v strokovnem tisku kaže, da se v svetu intenzivno ukvarjajo z razvojem novih postopkov obdelovanja kovin z žarkom, ki pa se, razen varjenja in rezanja, v praksi šele uveljavljajo.

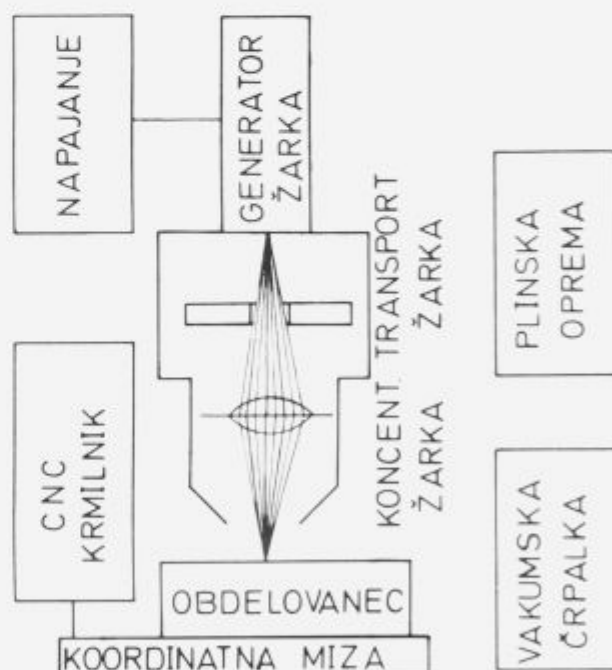
Uporabljata se dve vrsti žarkovnih izvorov energije: curek elektronov in snop fotonov. Naprave so sestavljene iz generatorja žarka, sistema za vodenje, sistema za zgoščevanje žarka in pomožnih naprav, kot so: vakuumška komora, plinska oprema, napajalni del in krmilnik (slika 1).

Žarkovni izvori so se uporabljali najprej za izdelavo sestavnih delov elektronskih naprav v letalski in raketni tehniki in v vojaški industriji. Kasneje so se uveljavili tudi v serijski proizvodnji v avtomobilski in elektro industriji ter v proizvodnji procesne opreme.

Postopki obdelave kovin z elektronskim curkom so se pojavili okoli leta 1960. Danes obratuje več tisoč naprav velikih moči (med 2 in 200 KW). Vakuumške komore merijo od nekaj litrov do več sto kubičnih metrov.

Laserske naprave velikih moči so prišle na tržišče kasneje kot naprave z elektronskim curkom. Uporaba laserske tehnike za obdelavo površin se je začela uveljavljati po letu 1970. Danes v industriji obratuje že več tisoč laserjev velike moči (od 1 do 10 KW). Za laboratorijske namene se gradijo naprave z močjo tudi do 25 KW. Razvijajo se nove vrste laserjev.

Zrak ne ovira širjenja svetlobnega žarka. Laserske naprave zato ne potrebujejo vakuumške komore, kar je



Slika 1. Žarkovni izvor energije.

velika funkcionalna prednost laserja pred elektronskim curkom, zato v zadnjem času laserske naprave močno konkurirajo napravam z elektronskim curkom.

Danes se uporabljata dve vrsti laserjev. V elektroniki in finomehaniki uporabljajo impulzne in kontinuine Nd YAG laserje, pri katerih je resonator trdna snov. Gradijo se do moči okoli 800 W. Za moči nad 1 KW se gradijo plinski

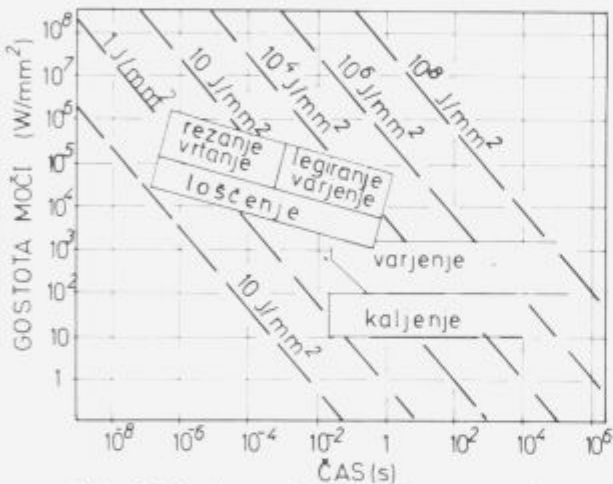
laserji, ki se uporabljajo predvsem v strojni industriji.

2 Fizikalne lastnosti žarkovnih izvorov toplotne energije in njihova uporaba

Snop fotonov ali curek elektronov je zelo čista, lahko vodljiva oblika toplotne energije. Mogoče jo je zgostiti in usmeriti na relativno majhen del površine obdelovanca, kjer dobimo veliko gostoto, ki doseže 10^6 W/mm^2 . To je 1000-krat večja gostota moči, kot jo dobimo pri konvencionalnih izvorih energije. V nekaj mikrosekundah površina doseže temperaturo tališča jekla. Lokalno segreto območje se zaradi ogromnega temperaturnega gradienta ohlaja z veliko hitrostjo, ki doseže do 10^5 K/s .

Pri obdelavi kovin z žarkovnimi izvori energije izbiramo dva osnovna parametra: gostoto moči, ki jo uravnavamo s fokusiranjem, in čas delovanja, ki ga uravnavamo s hitrostjo potovanja žarka. Dovedena energija na enoto površine se pri žarkovnih izvorih giblje med 10^{-2} J/mm^2 in 10^6 J/mm^2 .

Na sliki 2 so prikazana področja uporabe žarkovnih izvorov^{1,2,3}.



Slika 2. Področje uporabe žarkovnih izvorov energije.

Žarkovni izvori imajo nekatere posebne lastnosti, ki jih s pridom izkoriščamo pri obdelavi kovinskih površin. Pomembne so sledeče tri prednosti:

- površina, ki predstavlja črno telo, lahko 100% absorbira energijo v obliki žarka, žal pa kovinska površina nima takih lastnosti. Na primer, pri električnem obloku preide na obdelovanec le okoli 30% dovedene energije
- žarkovno energijo je mogoče natančno krmiliti
- žarek svetlobe ali curek elektronov je v kemičnem smislu najčistejši vir energije

Čprav cene naprav padajo, je žarkovna energija zelo draga oblika, kar ovira hitrejše uvajanje laserjev in naprav z elektronskim curkom v prakso.

3 Pregled postopkov

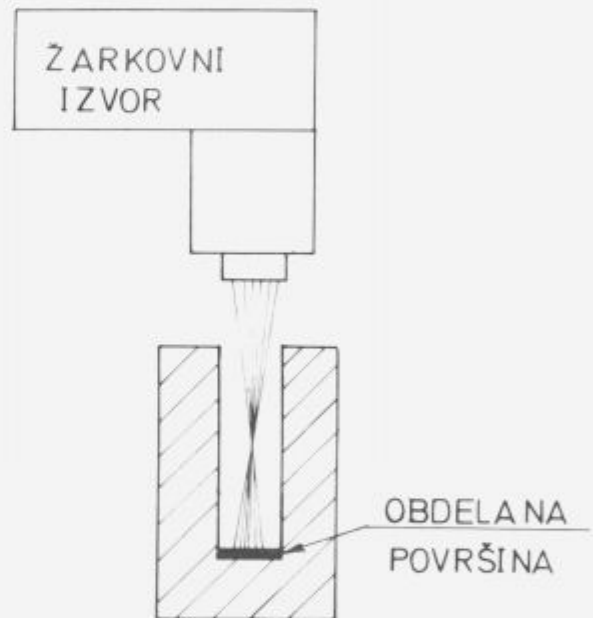
Z ozirom na procese, ki potekajo pri obdelavi, lahko postopke razdelimo v naslednje značilne skupine:

- ogrevanje površine pod temperaturo tališča, to je površinsko kaljenje in lokalno žarjenje;

- taljenje z namenom, da se spremeni struktura, npr. nastanejo metastabilne faze, zmanjša se kristalno zrno, površina postane bolj homogena;
- taljenje in dodajanje legirnih elementov z namenom, da se izboljšajo lastnosti površine;
- cementacija in nitriranje;
- oblikovanje površine (tvorba teksture);
- nanašanje kovin in nekovin.

3.1 Površinsko kaljenje

Obdelujemo lahko težko dostopne, strogo omejene dele površine (slika 3). Žarek se giblje po obdelovancu in lokalno ogreva površino. Zaradi odvajanja toplote v hladno osnovo sledi hitro ohlajanje. Toplotni cikel traja od 0.1 do 10 s. Širina poti znaša od 2 do 20 mm, globina kaljenja pa od 0.5 do 1 mm. Za obdelavo miniaturnih delov se uporabljajo impulzni Nd YAG laserji, za večje strojne dele pa CO_2 laserji z močjo nad 1 KW.



Slika 3. Površinsko kaljenje z laserjem.

V literaturi je opisanih več primerov uporabe laserja, npr. kaljenje notranjosti cilindrov, vodil in sedežev ventilov, vilic menjalnika in drugih delov, ki se izdelujejo v velikih serijah^{3,4}.

3.2 Pretaljevanje površine

Prehod žarka preko kovinske površine povzroči hitro lokalno taljenje in zelo hitro strjevanje. Pri velikih ohlajevalnih hitrostih, ki dosegajo 10^5 K/s , dobimo prisiljene trdne raztopine in zelo drobna kristalna zrna, pri nekaterih zlitinah lahko tudi amorfno strnjene faze. Tako obdelana površina se odlikuje z boljšo obrabno in korozijsko obstojnostjo⁵.

3.3 Legiranje površinskega sloja

V literaturi je opisana cela vrsta postopkov, pri katerih z laserskim snopom ali elektronskim curkom nataljujemo površino. V kovinsko kopel dovajamo prašnate legirne elemente. Največ člankov obravnava oplemenitenje jeklene površine s plastjo zlitin sistema Fe – Cr – C ali Fe – W – C^{7,8}.

Poseben primer dodajanja je nametavanje trdih delcev, ki se v kopeli ne raztalijo. Delci z visokim tališčem, npr. delci kromovega, volframovega in titanovega karbida, padajo v kopel, ki jo ustvarja žarkovni izvor energije. Zaradi hitrega strjevanja ostanejo delci kot vključki v kovinski osnovi. Nastaja neke vrste kompozit, ki se odlikuje z dobro obrabno obstojnostjo^{9,10}.

3.4 Nitiranje in nabrizgavanje

Postopek temelji na reakciji med raztaljenim titanom in dušikovo atmosfero. Na ta način nitiramo titan in zlitine¹² ter jekla, aluminij in baker, če prej nanje nanesemo titan.

Z laserjem lahko naprevamo in nabrizgavamo kovinske in nekovinske snovi, npr. okside (ZrO, Al₂O₃, TiO₂ in Y₂O₃ · Zr₂O₃).

Z namenom, da se izboljšajo tribološke lastnosti, na površine nanašamo molibdenov sulfid.

4 Navarjanje z laserjem

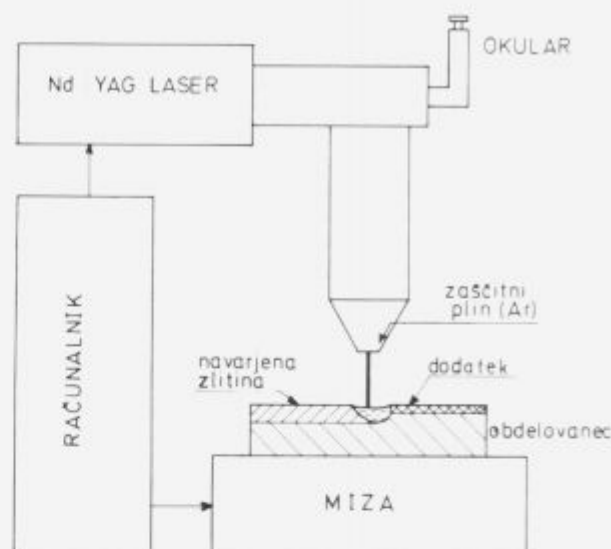
4.1 Cilji raziskav

V okviru širšega raziskovalnega projekta, katerega cilj je bil proučevati pretaljevanje dodanih legirnih elementov, so bili opravljeni tudi poizkusi navarjanja z laserjem¹². Pri tem smo iskali korelacijo med maso pretaljene osnove in maso dodanega legirnega elementa. Ugotavljali smo vpliv relativne mase dodanega legirnega elementa na geometrijsko obliko navarjene zlitine. Raziskave so bile opravljene na izbranem modelu navarjanja, pri čemer so bili uporabljeni različni izvori toplotne energije, od električnega obloka velike moči do svetlobnega žarka.

4.2 Princip navarjanja

Princip navarjanja z laserjem je prikazan na sliki 4. Uporabili smo impulzni Nd YAG laser, ki je bil namenjen mikro varjenju v elektronski industriji. Svetlobni žarek relativno majhne moči je bilo mogoče s pomočjo računalnika zelo natančno krmiliti in voditi. Povprečna moč naprave je bila okoli 40 W. Največja moč konice impulza je dosegala 1 KW. Poskusi so bili izvedeni z energijo, katere gostota je dosegala 110 J/mm². Svetlobni žarek koherentne svetlobe valovne dolžine 1064 nm je bil oblikovan tako, da se je žarišče nahajalo 8 mm nad površino obdelovanca. Širina svetlobnega žarka na površini varjenca je znašala 0.4 mm.

Na osnovo iz nelegiranega jekla smo nanesli plast legirnega dodatka. Uporabili smo prašnate legirne elemente, ki so bili z dodatkom fenolne smole zlepljeni v trdno plast. Poizkusi so bili opravljeni s štirimi vrstami dodatka: z nikljem, kromom, kromovim karbidom in z volframovim karbidom. Laserski žarek se je gibal s hitrostjo 0.83 m/s in pretaljeval osnovo in dodane legirne elemente.



Slika 4. Model navarjanja z laserjem.

4.3 Preiskava navarjene zlitine

Poleg geometrijske oblike navarjene zlitine smo pregledali mikrostrukturo navarov in mikro analizo značilnih področij. Ugotovili smo, da je laser pretaljeval osnovo do globine 0.25 mm (slika 5b). Širina pretaljene osnove je znašala okoli 0.4 mm (slika 5a). Na sliki 5c je prikazan navarjen kvadrat dimenzije 10 mm × 10 mm. Tipično obliko navara prikazuje slika 5d.

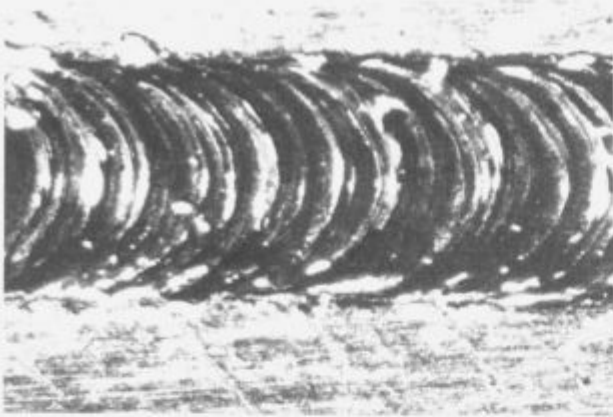
Ugotovili smo, da se osnova in dodani legirni element mešata v razmerju 30 : 70. Prehod med osnovo in navarjeno zlitino je skokovit. Mikroanaliza je tudi pokazala, da se kljub zelo kratkemu reaktivnemu času osnova in legirni dodatek dobro premešata.

5 Zaključek

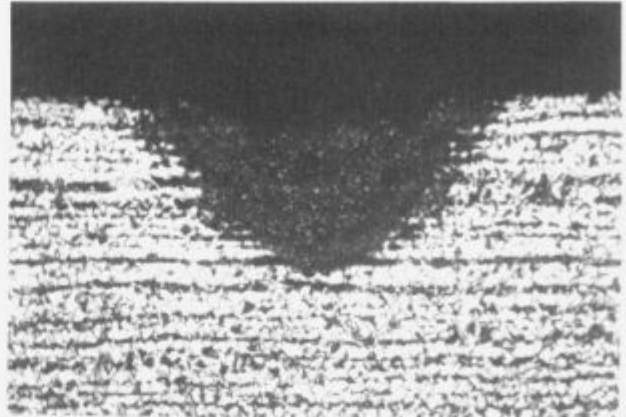
- Impulzni Nd YAG laser je mogoče uporabiti za navarjanje tankih plasti finih geometrijskih oblik.
- Legirne elemente je mogoče dodajati z nanašanjem na površino varjenca.
- Količina dodanega legirnega elementa vpliva na geometrijsko obliko navarjene zlitine.

6 Literatura

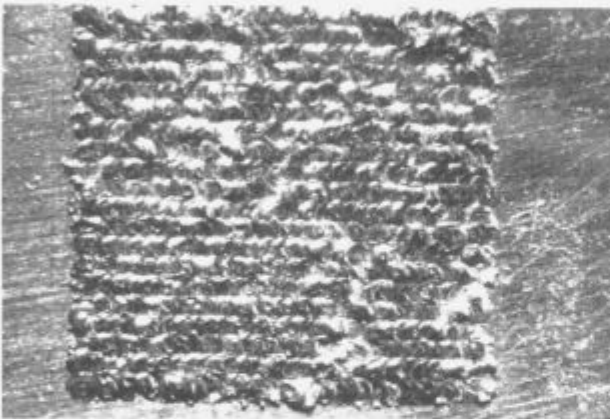
- 1 J.K. Kirstensen, L.H. Hansson, F.L. Smidth: Key-hole Formation, Temperature Distribution and Thermal Cycle in Electron Beam Welding. Electron and Laser Beam Welding, IIW, Pergamon Press, Oxford 1986, str. 119–129
- 2 J.H.P.C. Megaw: Laser Surface Treatments. Laser Welding, Cutting and Surface Treatment. The Welding Institute, Abington, 1984, str. 23–27
- 3 P.J. Oakley: Laser Surfacing Review: Processes and Industrial Applications. The First Int. Conference on Surface Engineering, vol. III, Brighton 1985; The Welding Institute, Abington, 1986, str. 67–80
- 4 H.W. Bergmann, E. Geissler: On-Line Computer Controlled Laser Hardening. DVS, Berichte Bd. 133, Dusseldorf 1988, str. 109–113
- 5 Y. Arata: Revolution of Material Processing by High Energy Density Beam. Electron and Laser Beam Welding, IIW, Pergamon Press, Oxford 1986, str. 67–87



a)



b)



c)



d)

Slika 5. Izgled navarov: a) prehod laserskega žarka, povečava 50 \times , b) prečni presek prehoda žarka, povečava 100 \times , c) navarjen kvadrat dimenzije 10 mm \times 10 mm, d) prečni presek navara, povečava 100 \times .

⁶ W. Kurz, R. Trivedi: Microstructure Selection in Laser Treatment of Materials. DVS, Berichte Bd. 133, Düsseldorf 1988, str. 92-94

⁷ E.F. Semiletova, T.H. Dumbadze: Laser Surface Alloying; The First Int. Conf. on Surface Engineering, Brighton 1985, The Welding Institute, Abington 1986

⁸ W. Amende: Wärmebehandeln, Aufschmelzen, Einschmelzen und Plattieren mit Laserstrahlen. Materialbearbeitung mit Laserstrahlen; Informationstagung, Graz 1987

⁹ Ayers J.D., Tucker T.R., Schaeferl R.J.: Wear Resisting Surfaces by Carbide Particle Injection. Applications of the Laser in Metalworking, Metals Park, American Society for Metals, 1981

¹⁰ A.R.E. Singer, A.D. Roche: Wear Resistant Surfaces Produced by SSP. The First International Conf. on Surface Engineering, vol. III, Brighton 1985; The Welding Institute, Abington, 1986, str. 239-252

¹¹ S.Katayama, A. Matsunawa, Y. Arata: Laser Nitriding and Hardening of Titanium and Other Materials. Electron and Laser Beam Welding, IIW; Pergamon Press, Oxford 1986, str. 323-324