

STROJNIŠKI**VESTNIK 4**

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

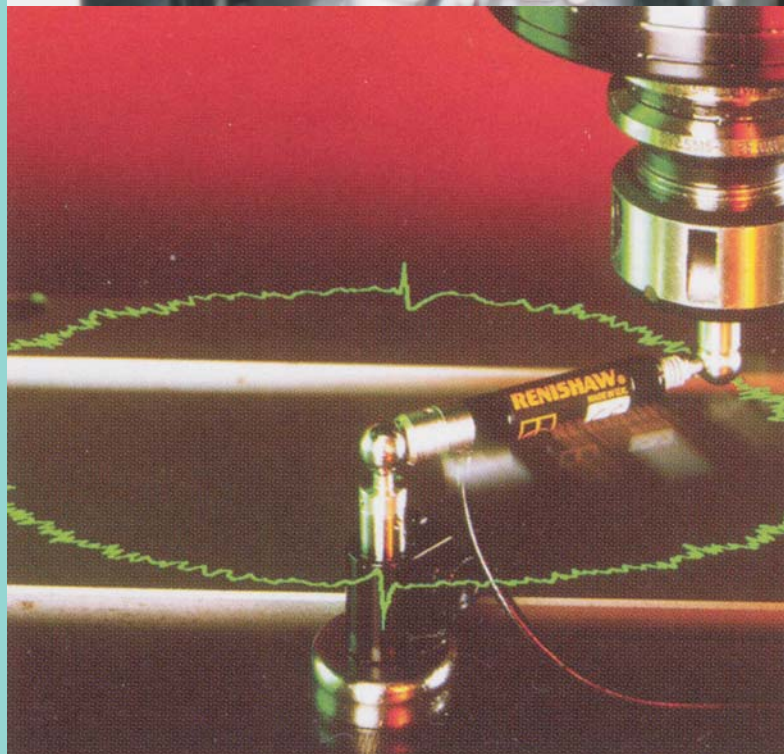
strani - pages 193 - 250

ISSN 0039-2480 . Stroj V . STJVAX

cena 800 SIT



1. Obraba orodij pri odrezovanju z velikimi hitrostmi
Cutting-Tool Wear during High-Speed Cutting
2. Pregled brušenja z velikimi hitrostmi in učinkovitih abrazivnih orodij
A Review of High-Speed Grinding and High-Performance Abrasive Tools
3. Zmanjšanje stroškov v odpremi z uporabo metodologije šest sigm
Reducing the Costs of Shipping Automotive Products by Implementing a Six Sigma Methodology
4. Raziskave postopka neposrednega laserskega sintranja
Investigation of Direct Metal Laser Sintering Process
5. Mreža inovativne odličnosti mladih - model spodbujanja inovativnosti mladih
Innovative Excellence for Youth - Creating a Network to Foster Innovative Behaviour Among Young Slovenes



Vsebina

Contents

Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering
letnik - volume 50, (2004), številka - number 4

Uvodnik

Kopač J.:

Razprave

Kopač, J.: Obraba orodij pri odrezovanju z velikimi hitrostmi

Krajnik, P., Kopač, J.: Pregled brušenja z velikimi hitrostmi in učinkovitih abrazivnih orodij

Soković, M., Jurečič, M., Kramar, A.: Zmanjšanje stroškov v odpremi z uporabo metodologije šest sigm

Dolinšek, S.: Raziskave postopka neposrednega laserskega sintranja

Likar, B.: Mreža inovativne odličnosti mladih - model spodbujanja inovativnosti mladih

Osebne vesti

Navodila avtorjem

Editorial

Kopač J.:

Papers

Kopač, J.: Cutting-Tool Wear during High-Speed Cutting

Krajnik, P., Kopač, J.: A Review of High-Speed Grinding and High-Performance Abrasive Tools

Soković, M., Jurečič, M., Kramar, A.: Reducing the Costs of Shipping Automotive Products by Implementing a Six Sigma Methodology

Dolinšek, S.: Investigation of Direct Metal Laser Sintering Process

Likar, B.: Innovative Excellence for Youth - Creating a Network to Foster Innovative Behaviour Among Young Slovenes

Personal Events

Instructions for Authors

Uvodnik

Editorial

Moderni tehnološki postopki hitre proizvodnje so vpeti v številne robne pogoje, ki zagotavljajo hitro izdelavo. Sodobna družba od načrtovalcev novih izdelkov pričakuje tudi oblikovanje novih zamisli in izboljšav. Inženirsko znanje omogoča koristno uporabo številnih računalniških programov na področju povezav za RPN - RPI (CAD - CAM).

Končni cilj računalniško podprtih tehnik je načrtovanje tehnologije obdelave, priprava ŠK(NC)-kode in izvedbo programa za dejansko uporabljeni obdelovalni stroj. Že več kot 10 let je staro odrezovanje z velikimi hitrostmi, ki se tudi v Sloveniji vse bolj intenzivno uveljavlja. V svetu pa že teče prenos raziskav v proizvodnjo pri postopkih brušenja z velikimi hitrostmi.

Ta postopek brušenja zagotavlja intenzivno in kakovostno proizvodnjo. S prehodom na večje hitrosti brušenja se značilni negativni prizvok, ki ga ima brušenje v zvezi s pregrevanjem obdelovane površine, odpravi. Slika na naslovnici (v sredini) prikazuje postopek brušenja brez konic z učinkovitimi brusi, ki so namenjeni tudi za rezalne hitrosti do 120 m/s, kar pojasnjuje tudi prispevek v tej številki Strojniškega vestnika.

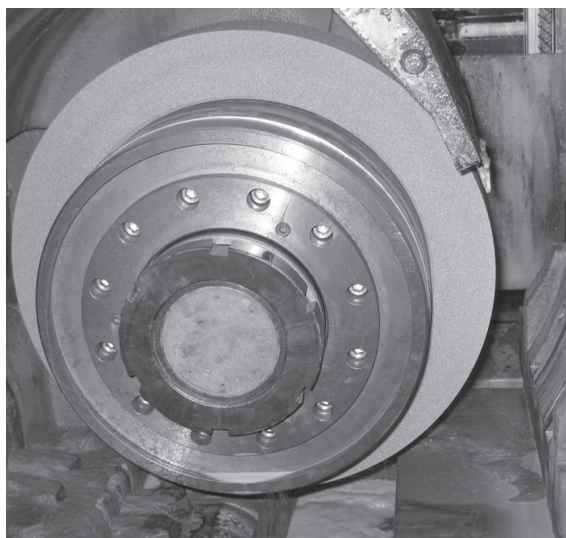
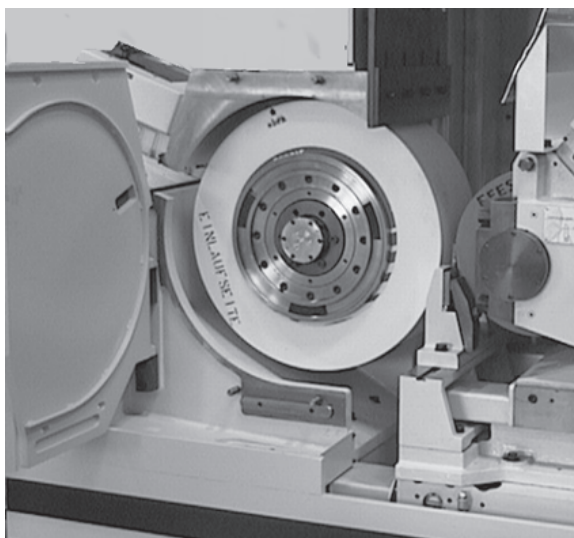
Hkrati z razvojem in izboljšavami proizvodnih tehnologij pa potekajo številne dejavnosti za skrajšanje celotnih krogov izdelave. Metoda vzratnega inženiringa omogoča skrajšanje postopka za pripravo in izvedbo obdelave spremenjenega oziroma novega proizvoda na računalniško krmiljenem

obdelovalnem stroju. Naprave za 3D-skeniranje (digitaliziranje) površine omogočajo hiter zapis oblike dela/vzorca ali prototipa. Ker se pogosto pri novih proizvodih spreminjajo manjše podrobnosti, glede na prejšnjo znano obliko, z dodanim inženirskim znanjem vnesemo spremembe in pripravimo kodo za ŠK.

Da bo določen proizvod hkrati izdelan v dogovorjenem roku in s čim manj napakami, moramo spremljati najnovejše usmeritve pri krmiljenju obdelovalnega postopka in zagotavljanju natančnosti pri proizvodnji. Zato je bil na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani, v laboratoriju za odrezovanje - *LABOD*, organiziran seminar z naslovom »Merjenje in kalibracija na RK(CNC)-obdelovalnih strojih«. Namenjen je bil prodajalcem, serviserjem in uporabnikom RK-obdelovalnih strojev. Izvajali so ga predstavniki firme Renishaw iz Velike Britanije in Avstrije ter RLS merilna tehnika d.o.o. in N4 iz Ljubljane. Sodelovali so tudi predstavniki laboratorija *LABOD* v katerem je, na ustreznih RK-obdelovalnih strojih, potekal praktični del prikaza merjenja, hitre diagnostike natančnosti delovanja ter kalibracije strojev.

Ob tem seminarju je laboratorij *LABOD* pridobil napravo "Renishaw QC10 ballbar" za hitro diagnostiko natančnosti obdelovalnega stroja (slika na naslovnici, zgoraj). Nakup naprave je omogočilo podjetje Kovinoplastika Lož d.d., za kar se ob tej priložnosti še posebej zahvaljujemo.

prof.dr. Janez Kopač



Obraba orodij pri odrezovanju z velikimi hitrostmi

Cutting-Tool Wear during High-Speed Cutting

Janez Kopač

Obdelava z odrezovanjem je močno povezana z obrabo na rezalnem robu. Vrsta izbranega rezalnega materiala, vrsta obdelovanega materiala in parametri odrezovanja neposredno vplivajo na velikost obrabe in s tem na obstojnost orodja. Odrezovanje z velikimi hitrostmi poteka pri večjih rezalnih hitrostih, zato je tudi potek obrabe spremenjen. Ne poteka več po značilni obliki S, ampak je znatno manj predvidljiv.

© 2004 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: odrezovanje z velikimi hitrostmi, orodja rezalna, obraba orodij, materiali za orodja)

Machining by cutting is strongly connected with wear on the tool's edge. The cutting-tool materials, the machined material, and the machining parameters have a direct influence on the tool's wear grade and, of course, on the tool life. High speed machining (HSM) involves high cutting speeds, so that the classical, well-known principle S of tool-wear growth does not exist as before. There are some unpredictable matters.

© 2004 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: high speed cutting, cutting tools, tool wear, cutting tool materials)

0 UVOD

Obraba rezalnih orodij še vedno pomeni izziv tako za proizvajalce kakor tudi uporabnike. Star rek navaja, da se stroške vrednoti prek konice rezalnega orodja. Kljub temu, da je razvoj rezalnih materialov dosegel neslutene razsežnosti, pa se razvijajo tudi obdelovani materiali, tako po značilnostih trdote kakor tudi žilavosti. Obdelava kaljenih jekel v orodjarstvu zahteva odrezovanje trdov (do 63 HRC), specifične pa so tudi zlitine Ni in Ti, ki niso tako trde, so pa žilave in se zato težko obdelujejo.

Obraba je najpomembnejši kriterij, ki torej popisuje obdelovalnost izbranega materiala. Med kriterije spadajo še velikost rezalnih sil, oblikovanje odrezkov in hrapavost obdelane površine. Prav hrapavost je neposredno povezana z obrabo orodja. Z naraščajočo obrabo izgublamo kakovostni razred, ali pa moramo uvajati dodatne natančne obdelave, kar povzroči nekonkurenčnost tako z vidika časa kakor tudi stroškov obdelave. Rezalne sile predstavljajo bolj ekološki učinek, saj v zmnožku z rezalno hitrostjo pomenijo porabo moči obdelovalnega stroja. Razlika med novim in obrabljenim rezalnim robom glede na velikost rezalnih sil je lahko tudi 100-odstotna, to pa je še dodaten vpliv na strošek obdelave.

0 INTRODUCTION

Tool wear still represents a challenge for the producers and for the end-users of cutting tools. The well-known saying is that "the cost of machining is evaluated at the cutting edge". Despite enormous improvements in cutting-tool materials, there is an ever-increasing number of new machining materials with enhanced levels of hardness and toughness. The machining of hardened steel materials in tool-manufacturing involves hard cutting up to 63 HRC. Other specific hard-to-machine materials, although not as hard, are special Ni and Ti alloys.

Tool wear is the most important criterion for determining a specific material's machinability. However, it is also important to consider cutting forces, chip shapes and machined surface roughness. Surface roughness is directly related to tool wear. Increased wear reduces quality yield and leads to additional finishing operations, which in turn cause a reduced competitiveness from the machining-time and costs points of view. Cutting forces represent an ecological factor because their product with the cutting speeds equals the process power and the energy consumption of the machine-tool. The difference between the unpaired and the worn cutting edges, according to the cutting forces, can be 100 %, which can cause additional machining costs.

In ker je Evropa dejansko vedno bolj usmerjena v ekološki smeri (ISO 14001), k temu lahko pripomoremo tudi z načinom obdelave. To je suho odrezovanje ali minimalno hlajeno. Ob tem v celoti odstranimo hladilno mazalno tekočino (HMT) ali jo v največji meri zmanjšamo. To pa omogočijo sodobna rezalna orodja s posebnimi prevlekami (mehke), ki delujejo samomazalno in s tem zmanjšajo trenje in obrabo, zmanjšajo rezalne sile in izboljšajo hrapavost obdelane površine.

1 OBRABA IN OBSTOJNOST ORODJA PRI OBIČAJNEM IN ODREZAVANJU Z VELIKIMI HITROSTMI

Obrabo na prosti ploskvi običajno zasledujemo z opazovanjem spremembe širine obrabne ploskve (VB) po času (t).

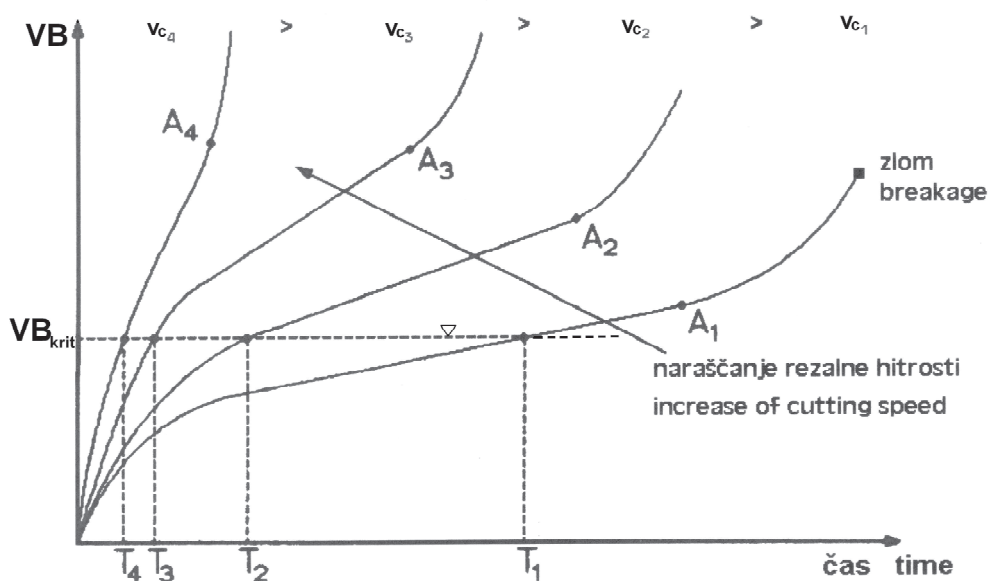
Slika 1 prikazuje skupino krivulj povečanja širine obrabe proste ploskve (VB) po času (t) za različne vrednosti rezalnih hitrosti (v_c). Te krivulje so na splošno podobne krivulji naraščanja obrabe koničnega drsnika pri drsenju po vrtečem disku. Obseg področja majhne hitrosti obrabljanja se zmanjšuje s povečanjem rezalne hitrosti. Hitrost obrabe se skokovito zveča, ko temperatura na rezalnem robu obrabne površine doseže točko toplotnega omeščanja obdelovanega materiala. Razmerje A_R/A se hitro poveča s časom in s hitrostjo obrabljanja. Obstočnost orodja $T/\text{min}/$ za dano rezalno hitrost ali čas rezanja do meje področja majhne hitrosti obrabljanja (čas, ki ustreza točkam A_i) - značilno za orodja iz hitroreznega jekla, ali pa čas do doseganja določene vrednosti obrabe na prosti ploskvi (VB_{krit}) (čas ustreza točkam pri T_i), ki je tipična za orodja iz karbidnih trdin. Običajna mejna vrednost za obrabo

Europe is oriented more and more towards ecological demands (ISO 14001), with the selection of appropriate machining procedures. These refer to dry or near-dry machining. In this way cutting fluids are eliminated or minimised. However, this is only possible with modern cutting tools that have special soft coatings, which possess a lubricating effect and thus reduce friction and wear, cutting forces and enhance the surface finish.

1 TOOL WEAR AND WEAR RESISTANCE DURING CLASSICAL AND HIGH-SPEED CUTTING

Flank wear is usually monitored by observing the wear width (VB) variation as a function of time (t).

Figure 1 shows a cluster of curve lines that corresponds to an increase in the flank-wear width (VB) with time (t) at various cutting speeds (v_c). These curves are generally similar to curves of increasing wear of a conical guide during sliding on a rotating disc. The range of small wear propagation decreases with an increase in the cutting speed. However, wear propagation drastically increases when the temperature on the cutting edge corresponds to the workpiece material's softening temperature. The A_R/A ratio rapidly increases with time and with the rate of wear propagation. The tool life $T/\text{min}/$ for a specific cutting speed is defined as the cutting time to a small wear propagation threshold (a time that corresponds to A_i) – characteristic for high-speed steels or as the time until specific flank-wear values (VB_{krit}) (a time that corresponds to T_i), which is characteristic for carbide tools. The usual flank-wear threshold for carbide tools for



Sl. 1. Potek obrabe orodij pri običajnem odrezovanju
Fig. 1. Tool-wear increase during a classical cutting process

na prosti ploskvi za orodja iz karbidnih trdin pri obdelavi mehkih jekel je 0,4 mm. Bolj ko je material obdelovanca težaven za obdelavo, bolj temperaturno obstojne orodne materiale uporabljamo (so bolj krhki), ali pa zmanjšamo debelino odrezka. Poleg tega je priporočljivo uporabljati manjše dopustne vrednosti za obrabo na prosti ploskvi orodja.

Kadar obstojnost orodja T , ki sloni ali na popolnem uničenju (točka A) ali na omejeni vrednosti obrabe površine (točka T), narišemo v logaritemskem diagramu, dobimo rezultat, ki ga prikazuje slika 2.

Za praktično uporabno območje rezalnih hitrosti je ta krivulja premočrtna in ustreza enačbi:

$$v_c T^n = C \quad (1)$$

kjer sta n in C konstanti za preizkušani obdelovani in rezalni material ter za obdelovalne razmere, razen za rezalno hitrost. Ta enačba se imenuje tudi Taylorjeva enačba obstojnosti orodja. Ker je običajno določena v minutah, pomeni C rezalno hitrost, pri kateri je obstojnost orodja ena minuta. Vrednost eksponenta n se veča z večanjem temperaturne obstojnosti rezalnega materiala, in sicer za:

- hitrorezna jekla (HSS) - $n = 0,1$
- karbidne trdine (WC) - $n = 0,2$
- keramiko (Al_2O_3) - $n = 0,3$.

Taylorjevo enačbo lahko preuredimo in razširimo v obliko, ki upošteva tudi druge parametre rezanja. Tako imenovana razširjena Taylorjeva enačba se glasi:

$$T v_c^{1/n} f^{1/m} a_p^{1/l} = C \quad (2)$$

kjer sta: f - podajanje in a_p globina rezanja.

S preizkusi so ugotovili, da je obstojnost orodja močno odvisna od spremembe rezalne hitrosti in manj občutljiva na spremembe globine rezanja. Tako velja:

$$n < m < l$$

Prostornina zaradi obrabe odnesenega rezalnega materiala na prosti ploskvi (B_r) je za določeno obrabno površino (VB), globino rezanja (a_p) in prosti kot α (pri $\gamma = 0^\circ$):

$$B_r = \frac{a_p VB^2 \tan \alpha}{2} \quad (3)$$

Za določeno obrabo površine (obstojnost orodja) vidimo, da se obrabna prostornina povečuje, če se večja kot α . Potemtakem je z vidika obrabne prostornine primernejši velik prosti kot α v modelu procesa rezanja.

Trdota rezalnega robu, zmožnost absorpiranja toplotne energije in zmožnost ohranjanja dimenzijske natančnosti se pa z večanjem prostega kota manjša, zato je optimalen prosti kot nekako v območju od 5 do 10° (α) [1].

the machining of soft steels is 0.4 mm. As workpiece materials become hard-to-machine, demands for temperature-resistant tool materials increase (they become more brittle) or the chip thickness is decreased. In addition, it is recommended that lower flank-wear thresholds be employed.

When tool life T , which corresponds to either the tool breakage (point A) or to the limited wear threshold (point T), is plotted on a logarithmic scale the results can be seen in Figure 2.

For practical cutting-speed applications the curve can be linearized and corresponds to the following equation:

The parameters n and C are constant for the investigated workpiece, the tool material and the machining parameters, except for the cutting speed. This equation is known as the Taylor tool-life equation. Tool life is usually expressed in minutes, hence the constant C refers to the cutting speed at which the tool life is reduced to one minute. The value of the exponent n increases with the temperature resistance of the cutting materials:

- high-speed steels (HSS) - $n = 0.1$
- cemented carbide tools (WC) - $n = 0.2$
- ceramic tools (Al_2O_3) - $n = 0.3$

The Taylor equation can be configured and expanded to a form that also considers other cutting parameters. The so-called expanded Taylor equation is expressed as:

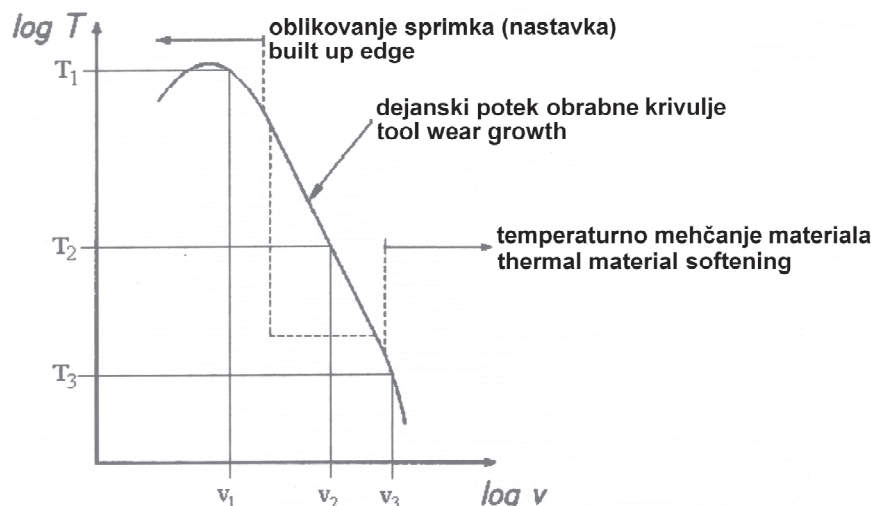
The factor f corresponds to the feed-rate, and a_p to the depth of the cut.

Experiments proved that tool life is significantly dependent on the cutting-speed alteration and less dependent on variations in the depth of the cut. Hence:

The flank-surface tool-wear volume (B_r) for specific wear (VB), depth of cut (a_p) and clearance angle α (pri $\gamma = 0^\circ$) can be calculated:

For a specific surface wear (tool life) the wear volume increases with flank angle. Therefore, from the wear-volume point of view, a large clearance angle α is more appropriate for cutting-process modelling.

The cutting-edge hardness, the capability to absorb thermal energy and the stability of the dimensional accuracy decrease with increasing clearance angle, thus the optimal clearance angle α lies in the range from 5 to 10° (α) [1].



Sl. 2. Potek obstojnosti orodja pri običajnem odrezovanju
Fig. 2. Tool-life as a function of cutting speed

Za merjenje obrabe rezalnega robu orodja je priporočljivo, da jo merimo z orodjarskim mikroskopom pri 15 do 20-kratni povečavi in možnostjo odčitavanja natančnosti 0,01 mm. Pri meritvi upoštevamo srednjo polovico obrabne ploskve $b/2$, kakor je razvidno s slike 3a). Obrabo na prosti ploskvi merimo vedno glede na nepoškodovani rezalni rob orodja.

Pogosto velja za obrabni kriterij tudi največja obraba na prosti ploskvi VB_{max} . Pri tem velja omeniti, da je največja obraba v glavnem vzporedni kriterij za ocenjevanje obrabe.

Pri frezanju širina obrabe proste ploskve ni vedno enaka po celotni dolžini rezalnega robu, ampak se znatno spreminja v območju zaokrožitve rezila in na koncu obrabnega pasu (sl. 3b). Obrabo proste ploskve merimo glede na začetni neobrabljeni rezalni rob (del rezalnega robu, ki ni v dotiku z obdelovancem), in sicer na glavnem rezalnem robu, na posnetem ali zaokroženem oglu orodja ali na stranskem rezalnem robu. Posamezne vrste obrabe na glavnem rezalnem robu so [2]:

- dolžina zareze na glavni prosti ploskvi pri največji globini rezanja je VB_{max} ,
- širina obrabnega pasu na prosti ploskvi pri največji globini rezalnega robu je VB , največja širina obrabe proste ploskve v tem področju pa VB_{max} .

Dodatne vrste obrabe orodja so:

- povprečna širina obrabe na posnetem ali zaokroženem rezalnem robu je označena z VC (največja vrednost z VC)
- širina poprečne obrabe na stranskem rezalnem robu je označena z VS.

Pri vrtnanju se obraba proste ploskve svedra zvečuje s povečano rezalno hitrostjo od prečnega rezalnega robu do zunanjšega dela glavnega rezalnega robu. V odvisnosti povečanja obrabe proste ploskve in zaokrožitve rezalnega robu se pojavi odmik rezalnih robov v smeri proti vodilnemu robu svedra (sl. 3c). Izhodiščna črta za merjenje obrabe proste ploskve

It is recommended that the wear of the tool's cutting edge is measured with a workshop microscope at 15 to 20 magnification and an accuracy of 0.01 mm. The measurement takes into consideration the mean half of the surface wear $b/2$, which is evident in Figure 3a. Flank wear is always measured with respect to the unimpaired tool cutting edge.

Often, maximum flank wear VB_{max} is also employed as a wear criterion. In this way it should be stressed that the maximum flank-wear is generally used as a simultaneous wear-estimation criterion.

In milling, flank wear width is not always uniform over the entire length of the cutting edge; it varies significantly, especially in the range of the corner radius and at the ends of the wear zone (Figure 3b). Flank wear is therefore measured with regard to the unimpaired cutting edge (a part of the cutting edge that is not in contact with the workpiece), namely on the major cutting edge, the chamfered or rounded corner radii or on the minor cutting edge. Particular major cutting-edge wear types refer to [2]:

- the length of the incision on the major flank surface at the maximum depth of cut is VB_{max} ,
- the width of the flank-wear zone at maximum depth of cut is VB , the maximum width of the flank wear in this area is VB_{max}

Other types of tool wear refer to:

- the mean wear width on the chamfered or rounded cutting edge is denoted by VC (maximum value)
- the width of the mean wear on the minor cutting edge is denoted by VS

During drilling the flank wear of the drill increases with the cutting speed from the transverse to the external major cutting edge. Depending on the flank-wear increase and the cutting-edge rounding, a shifting of the cutting edges towards the major drill cutting edge appears (Figure 3c). The starting line for the drill flank-wear measurement refers

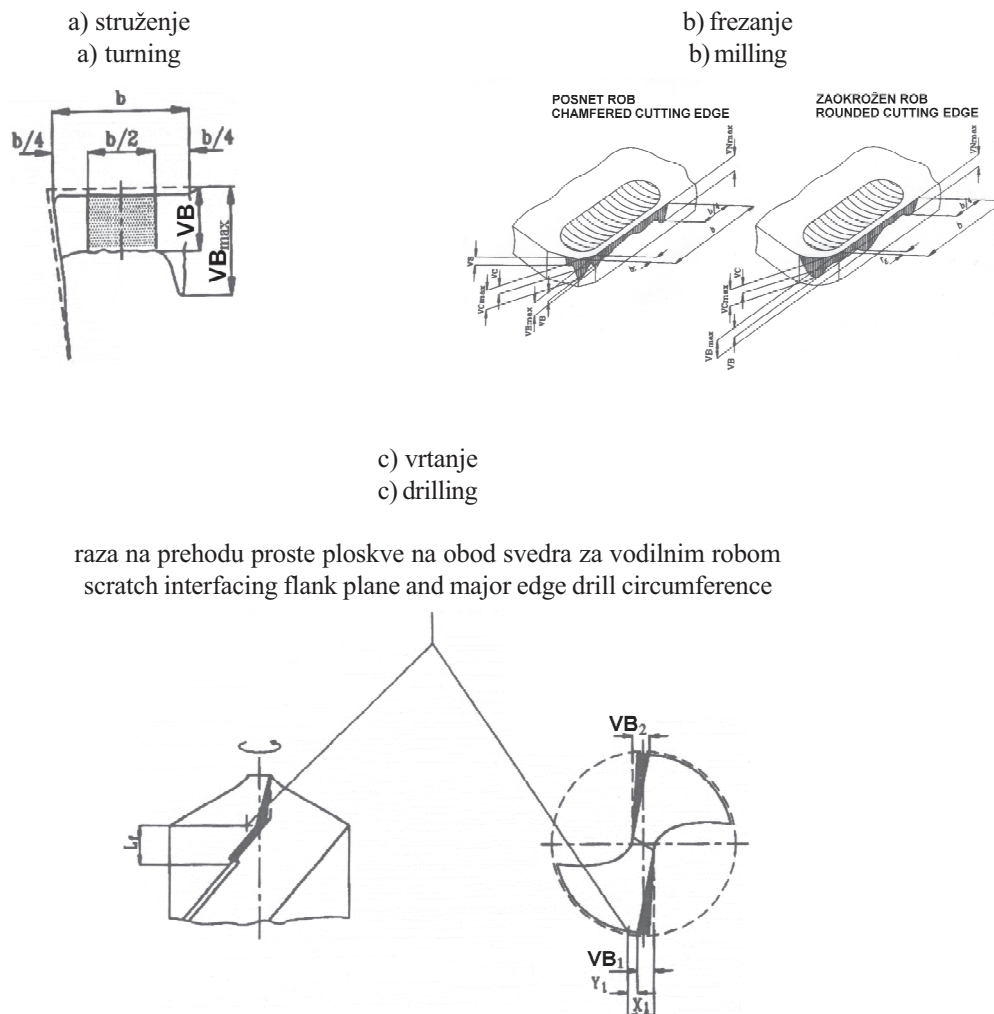
svedra je nepoškodovan glavni rezalni rob, ki ga na obrabljenem rezilu ni moč uporabljati za merjenje. Zato naredimo v območju prehoda proste ploskve v stransko prosto ploskev za vodilnim robom razo z diamantno iglo. Pri ostrem orodju nato izmerimo razdaljo od raze do črte glavnega rezalnega robu. Pri obrabljanju orodja lahko z zaporednimi meritvami od raze do črte obrabe v območju premera $(3/4)d$ do $(4/4)d$ in povratnim računanjem določimo posamezne obrabe proste ploskve svedra. Obrabo moramo meriti na obeh rezilih in določiti srednjo obrabno vrednost:

$$VB = \frac{VB_1 + VB_2}{2} \quad (4.)$$

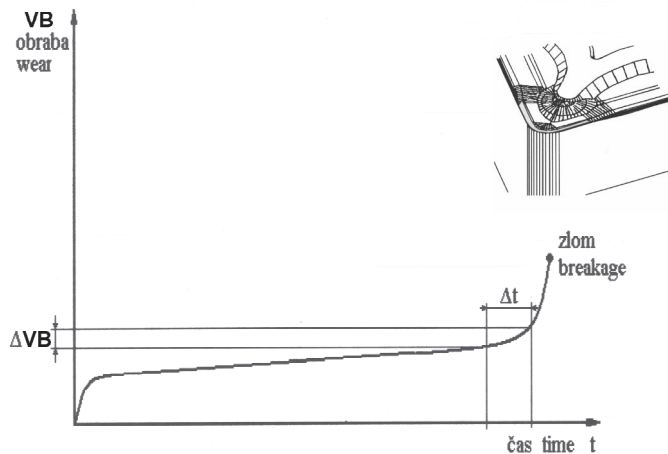
Podatke o obrabnih preizkusih je treba zbirati zelo pozorno in sistematično. Pri obrabnih preizkusih ne zadošča samo zapis o globini rezanja, podajanju, rezalni hitrosti in času rezanja. Brez podatkov o vseh obrabnih pojavih je izkoriščanje rezultatov premajhno, njihova nadaljnja uporaba pri podobnih obdelovalnih primerih pa nemogoča. Popolni podatki so ustrezna osnova za graditev dobre banke tehnoloških podatkov.

to the unimpaired major cutting edge, which cannot be used as a measuring reference in the case of a worn drill. Therefore, the scratch interfacing flank and the side plane are made with a diamond pin. The distance between the scratch and the line of the major cutting edge is then measured on the sharp tool. During tool-wear progress, the distance between the scratch and the wear line in the diameter range of $(3/4)$ to $(4/4)d$ is successively measured, and individual drill flank wear is appointed. Wear is measured on both cutting edges and the mean wear value is determined as:

Wear-test data must be gathered exactly and very systematically. Wear-test recordings do not only contain parameters related to depth of cut, feed-rate, cutting speed and cutting time. Without all the wear phenomenon data the exploitation of results is irrelevant and their further use by similar machining procedures impossible. Complete data form a suitable base for adequate data-bank elaboration.



Sl. 3. Značilne oblike obrab pri tazličnih postopkih odrezovanja
Fig.3. Characteristic type of wear by different cutting processes



Sl.4. Potek obrabe pri obdelavi z velikimi hitrostmi [3]
 Fig. 4. Tool wear during HSC [3]

Te zakonitosti niso več zanesljivo definirane pri odrezavanju z velikimi hitrostmi. Ker želimo rezalne materiale izboljšati, še posebej na površini, jih prevlečemo. Zato je potek obrabe do preboja plasti prevleke zelo počasen, ko pa pride do preboja (plast je debela 2 do 8 μm) se prične obraba intenzivno večati [3].

The described relationships are not reliably defined for high-speed cutting HSC. Improvements to cutting-tool materials are achieved by surface layer coating. Therefore, wear propagation until coating breakthrough is very slow. At the point of coating (thickness of 2 to 8 μm) breakthrough the wear increases significantly [3].

2 MODERNI MATERIALI ZA REZALNA ORODJA IN PREVLEKE

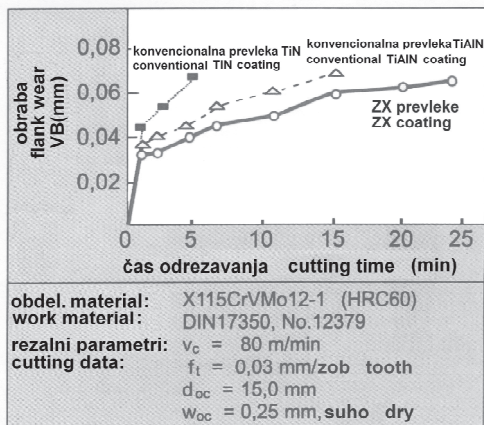
2 CONTEMPORARY CUTTING-TOOL MATERIALS AND COATINGS

Kot osnovno orodje za obdelavo z velikimi hitrostmi komaj še najdemo hitrorežno jeklo, razen, če je namenjeno serijski obdelavi mehkih materialov v avtomobilski industriji. Vsekakor pa je HSS (hitrorežno jeklo) v takem primeru prevlečeno z več sloji oziroma plastmi. Znatno boljša osnova je karbidna trdina, ki s svojo trdoto že zagotavlja, da ne pride do popuščanja osnove pri večjih obremenitvah, še posebej temperaturnih. Za obdelavo z velikimi hitrostmi so tudi ta orodja prevlečena, in sicer s TiN, AlN, TiAlN, TiCN. Način oziroma postopek nanosa mnogoplastne prevleke TiN/AlN je ionsko platiniranje (Zx prevlečeno) [4].

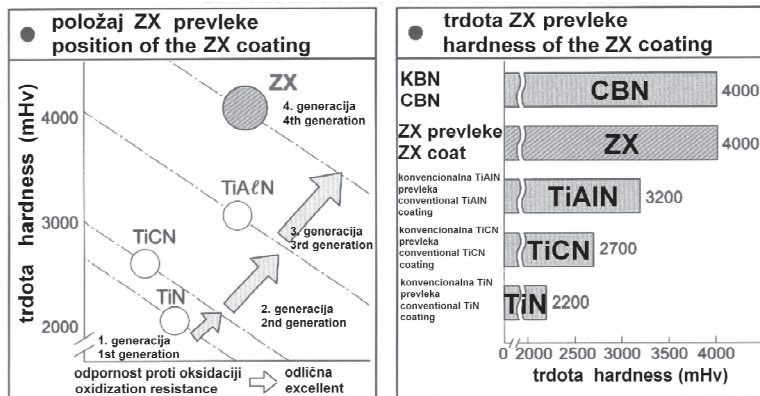
HSS is rarely used in HSC, except in the large-volume machining of soft materials in the automotive industry. In any case HSS (high-speed steel) is in this way coated with a multi-layer coating. Cemented carbide is a considerably better base, and its hardness ensures against the base yielding under increased loads, especially thermal loads. HSC cemented carbide tools are also coated with TiN, AlN, TiAlN, TiCN. Multi-layer TiN/AlN (Zx) coating is achieved with the transmission arc-ion plating method [4].

Prevleka se uvršča v najvišji razred trdote, to je 4000 HV, kar je primerljivo s kubičnim borovim

These coatings first-class hardness of 4000 HV is comparable with CBN (cubic boron nitride). Figure 5 shows the very low flank wear



Sl. 5. Primerjalni diagram obrabe za različne prevleke
 Fig. 5. Wear comparison for different coatings



Sl. 6. Značilnosti prevlek
Fig. 6. Coatings characteristics

nitridom (KBN). Na sliki 5 je razvidna izredno majhna obraba proste ploskve orodja. Ob tem je tehnološki čas rezanja primerjalno največji.

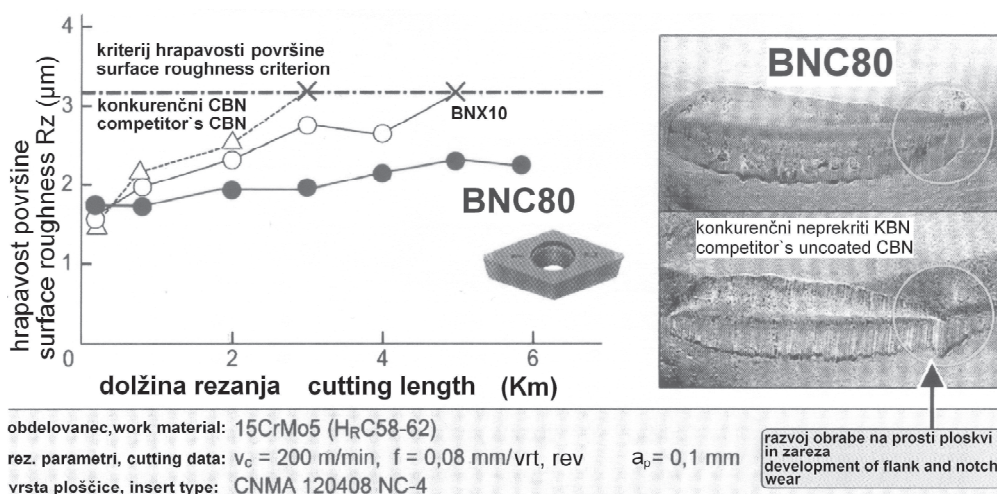
Nanos plasti poteka izmenično: AlN; TiN debeline 2,5 nm; takih plasti je okoli 2000. Zato dosežemo karakteristike, kakor jih kaže slika 6, torej izredno trdoto plasti tako imenovane 4. generacije prevlek ob odpornosti proti oksidaciji. To pomeni možno uporabo orodja tudi tam, kjer pričakujemo visoke temperature na cepilni ploskvi orodja.

Med trenutno najboljše rezalne materiale uvrščamo KBN, ki pa mu še dodatno izboljšamo značilnosti s prevleko iz TiN. S tem dobimo obstojnost orodij, ki se meri v poti obdelave, dolgi več kilometrov. Zato za kriterij uporabimo hrapavost obdelane površine. To pa zato, ker se pretežno uporabljajo taka orodja za fino obdelavo kaljenih jekel – slika 7 [5]. Torej lahko tudi obrabno izredno odporen KBN s prevleko TiN izboljšamo, in sicer tako, da preprečimo zarezno obrabo na prosti ploskvi zunanjega oprijema rezalne ploščice z obdelovancem. Ta je sicer povezana z oksidacijskim odgorevanjem rezalne ploščice ob pristopu zraka na vroč rezalni rob.

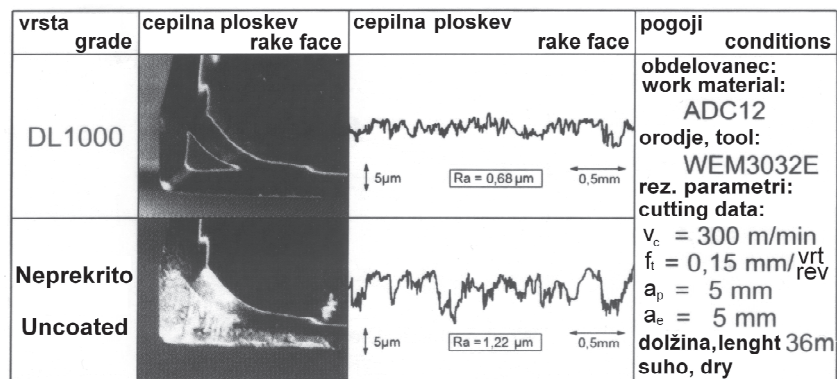
of a tool during the longest technological cutting time.

The layer deposition alternates: AlN; TiN with 2000 layers of micro-thickness 2.5 nm. Therefore, the following characteristics are achieved (Figure 6), i.e., the extraordinary layer hardness of the so-called 4th generation coatings, which are resistant to oxidation. This means that such a tool is appropriate for machining, where high tool-rake surface temperatures are expected.

TiN coatings improve the CBN cutting material's characteristics, which are currently the best available. In this way we achieve a tool life that can be measured in terms of a machining path length of several kilometres. The evaluation criterion, therefore, rather refers to the machined surface roughness, because these types of tools are mainly used for the finish machining of hardened steels (Figure 7). In this way the inherent CBN wear resistance can be further improved by TiN coating, which prevents scratch flank wear between the outer cutting insert contact and the workpiece. The latter is otherwise related to cutting insert oxidation burnout when the hot cutting edge comes in contact with an atmosphere.



Sl. 7. Primerjava orodja iz KBN in KBN+TiN
Fig.7. Comparison between CBN tool and CBN coated with TiN



Sl. 8. Učinkovitost prevlek iz DO
Fig. 8. Efficiency of DLC coating

Nadaljnja izboljšanja rezalnega materiala na osnovi KBN so bila dosežena s tako imenovano strukturo PcBN (trdno) s posebno vezivno fazo. S tem dosežemo veliko zlomno žilavost in toplotno prevodnost. PcBN se uporablja za zelo učinkovito obdelavo litega železa, pri katerem zagotavlja počasen potek obrabe orodja, možnost obdelave brez hlajenja in poleg grobe tudi fino obdelavo z enakim orodjem.

Za doseganje majhne hrapavosti pri fini končni obdelavi Al-zlitin in drugih neželeznih materialov je izredno uspešna prevleka daimantovskega ogljika (DO - DLC). Omogoča obdelavo na suho (sl. 8), kar je okolju bolj prijazen postopek.

3 RAZISKAVA IN ANALIZA OBRABE RAZLIČNIH ORODIJ RAZLIČNIH PROIZVAJALCEV

Kakor je že opisano, so za obdelavo z velikimi hitrostmi uporabljena orodja iz različnih materialov. Vsi proizvajalci navajajo zelo kakovostne podlage in prevleke. Ker naj bi bil predstavljeni prispevek znanstvenega značaja, ne pa s tržnim predznakom, smo v raziskavo vključili orodja štirih različnih proizvajalcev z oznakami A, B, C, D. Ob tem smo izbrali orodja enakih izmer – stebelno frezalo premera 10 mm in krogelno obliko. Parametri obdelave so razvidni iz preglednice 1.

Posnetki rezalnih robov preizkušenih orodij so razvidni iz preglednice 2. V prvi vrsti so posnetki rezalnih robov po 60 min čiste tehnološke uporabe. Tu se že pokažejo prve razlike med raziskovanimi orodji – širina obrabnega pasu je različna. Časovni intervali tehnološkega časa rezanja se večajo, po 60 min in po času 240 min že

The next improvement of cutting materials based on CBN is PcBN – grade (Solid) made with the help of a special binder phase. The special binder phase provides a high fracture toughness and a high thermal conductivity. This is useful for the high-efficiency machining of cast iron. The high wear resistance and the high edge stability provide wet and dry machining for roughing either at a high depth of cut or for finishing.

To achieve an excellent surface finish for the machining of Al-alloys and non-ferrous metals, DLC (Diamond Like Carbon) coatings can be used for dry cutting, which is also an environmentally friendly process (Figure 8).

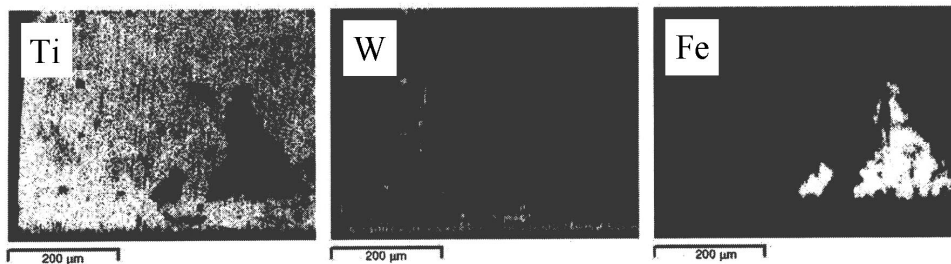
3 RESEARCH RESULTS AND ANALYSES OF WORN CUTTING TOOLS

As already mentioned, high-speed cutting tools consist of different cutting materials. Tool manufacturers are all claim high-quality substrates and coatings. For the scientific investigation of this paper we obtained four commercial tools named A, B, C, and D. The tools had the same dimensional characteristics, i.e., a pencil milling tool of 10 mm diameter with a ball nose end. The cutting parameters are presented in Table 1.

The photographs of the analysed tools' cutting edges are shown in Table 2. First, the upper row shows a little wear on the cutting edges after 60 minutes of cutting. At this point the first differences in tool wear started to be observable. The technological cutting time sequence is 60 minutes. We analysed the tools after every 60 minutes. After 240 minutes one of the tools achieved the first critical tool wear (VB_{cr}). This tool was

Preglednica 1. Parametri obdelave
Table 1. Cutting parameters

Material obdelovanca Workpiece material	Rezalna hitrost Cutting speed v_c [m/min]	Podajalna hitrost Feed-rate f [mm/vrt]	Globina rezanja Depth of cut a_p [mm]
Utop Mo 6 (52HRC)	350	0,1	0,5



Sl. 9. Mikro analiza elementov na rezalnem robu
 Fig. 9. Microanalysis of elements on the cutting edge

pridemo do izločilnega kriterija pri orodju B. Pri spremljanju izmer obrabe VB – kakor to teoretično pojasnjuje slika 4, smo v polju vprašljivega delovanja in uporabe. Zato je glede na izločilni kriterij treba orodje zamenjati, da ne pride do zloma in s tem dodatnih napak in okvar v celotnem sistemu (orodje – obdelovanec – stroj).

the one designated B. Tool-wear monitoring confirmed theoretical approach, shown in Figure 4, where we reached the uncertain operating and usage range. When the tool wear reach threshold value, the tool had to be exchanged in order to prevent its breaking and consequent failures and malfunctions of the whole system (cutting tool – workpiece – machine tool).

Preglednica 2. Posnetki obrabljenih rezalnih robov preizkušanih orodij
 Table 2. Micrographs of tested tools worn cutting edges

Orodje Tool Čas Time [min]	A	B	C	D
60				
120				
180				
240				
300				

Analiza močno obrabljenih orodij pokaže hkratnost več pojavov: adhezije, abrazije, difuzije, oksidacije, mehanskih okvar (zlomov v obliki okrušitev). Iz raziskav adhezijskih pojavov – (sl. 9), ki temeljijo na mikro analizi površine orodja, je mogoče sklepati, da se pri manjših rezalnih hitrostih pojavlja sprimek na rezalnem robu (SRR - BUE). Po enačbi $v_c = \pi \cdot d_{or} \cdot n$ je razvidno, da se proti osi frezala rezalna hitost manjša. V kombinaciji s povečano hrapavostjo rezalnega robu, kot posledici abrazivne obrabe in majhno rezalno hitrostjo, je izpolnjen pogoj za sprijemanje materiala. Sprimek izredno poslabša in spremeni odrezovalni postopek, tako z vidika spremembe rezalnih sil in momenta kakor tudi z vidika hrapavosti obdelane površine.

4 SKLEP

Obraba orodja očitno vpliva na tehnološki potek odrezovanja. Je izhodišče za določitev obstojnosti orodja in obdelovalnosti materiala. Opazna je značilna razlika med potekom obrabe pri običajnem in odrezovanju z veliki hitrostmi. Obstojnost pri obdelavi z velikimi hitrostmi ni tako natančno določljiva in zanesljiva. Moderni rezalni materiali zagotavljajo možnost obdelave izredno trdih obdelovanih materialov in v svoji obstojnosti zagotavljajo rezervo, ki zagotavlja zanesljiv postopek odrezovanja. Trde podlage, kot osnova dobrih rezalnih orodij (karbidna trdina, KBN), še pridobijo obstojnost, če jih ustrezno prevlečemo s trdimi plastmi. Mehke prevleke pa zmanjšajo rezalne sile, izboljšajo hrapavost in imajo ekološki učinek v smislu manjše uporabe hladilno mazalnih sredstev (suho odrezovanje, odrezovanje z najmanjšo uporabo hladilno mazalnih sredstev). Pomembna gospodarska panoga, kakršna je orodjarstvo, je značilno povezana z učinkovito in varčno obdelavo prostorskih (3D) gravur. Neposredna obdelava v trdo z odrezovanjem zmanjša termične poškodbe na površini obdelave gravure. Rezultati raziskav so pokazali, da številni proizvajalci rezalnih orodij ponujajo široko paleto orodij, ki pa se po učinkovitosti med seboj razlikujejo tudi do 60 %. Zato še vedno velja, da ustrezna banka tehnoloških podatkov ponuja stvarno sliko o kakovosti orodij.

An analysis of the heavily worn tools shows simultaneousness of more effects: adhesion, abrasion, diffusion, and mechanical failures (cleaving breakages). We analysed the adhesion on the cutting edge with microanalysis of tool surface, see Figure 9 [5]. It shows BUE (Built Up Edge) presence on the inner part of the cutting edges, especially at lower cutting speeds. According to the equation $v = \pi \cdot d_{or} \cdot n$, the cutting speed decreases in the direction towards the cutter's central line. Low cutting speeds and an increase in the cutting edge's surface roughness (due to abrasion wear) are a prerequisite for BUE formation. The disadvantages of BUE are the changed and deteriorated process cutting characteristics, which cause an increase in the cutting forces and torque along with an increase in the machined surface roughness.

4 CONCLUSION

Tool wear has a significant influence on the technological characteristics of the cutting process. It is the starting point for a determination of tool life and material machinability. Wear propagation during classical and HSC differs significantly. The tool-life prediction for HSC is not exactly accurate and reliable. Modern cutting materials enable hard machining due to their extended tool life, which in turn ensure a reliable cutting process. The hard substrate basis of enhanced cutting tools (cemented carbide and CBN) mean a longer tool life when they are applied with hard coatings. Soft coatings decrease the cutting forces, lower the machined surface roughness and provide ecological benefits in term of less cutting fluid (dry cutting, near-dry cutting). Demands for die and mould tools manufacturing relate to effective and economical machining of 3D shapes. Direct hard machining minimises thermal damage on machined surfaces. The research work and the comparison of the results proved that these are still large differences between various cutting-tool producers. The efficiency distinction between five different tool producers is as big as 60 % for approximately the same price. For this reason it is evident that an adequate technological data bank is required to provide realistic information about tool quality.

5 LITERATURA 5 REFERENCE

- [1] Kopač, J. (1991) Odrezovanje, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, Ljubljana.
- [2] Dolinšek, S., J. Kopač (1992) Odrezovanje, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, Ljubljana.
- [3] Kopač, J. (2003) Advanced tool materials for high-speed machining, Proceedings of the 12th International Scientific Conference Achievements in Mechanical & Materials Engineering AMME'2003, *Silesian University of Technology*, Gliwice.
- [4] Sumitomo Electric: Tooling News E33 – E42

- [5] Coldwell, H.L., R.C. Dewes, D.K. Aspinwall, N.M. Renevier, D.G. Teer (2003) The use of soft/lubricating coatings when dry drilling BS L168 aluminium alloy, *Surface and coatings technology*
- [6] Soković, M., L. Kosec, L.A. Dobrzanski (2002) Raziskave difuzije skozi stik PVD prekrito orodje iz kermetala/obdelovanec, *Stroj. vestn.*, 2002, letn. 48, št. 1, 33-40.

Avtorjev naslov: prof.dr. Janez Kopač
Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana
janez.kopac@fs.uni-lj.si

Author's Address: Prof.Dr. Janez Kopač
University of Ljubljana
Faculty of Mechanical Eng.
Aškerčeva 6
SI-1000 Ljubljana, Slovenia
janez.kopac@fs.uni-lj.si

Prejeto: 23.1.2004
Received:

Sprejeto: 8.4.2004
Accepted:

Odrpto za diskusijo: 1 leto
Open for discussion: 1 year

Pregled brušenja z velikimi hitrostmi in učinkovitih abrazivnih orodij

A Review of High-Speed Grinding and High-Performance Abrasive Tools

Peter Krajnik - Janez Kopač

Prispevek se nanaša na pregled sodobnih vidikov brušenja glede na zahteve po povečani produktivnosti in kakovosti obdelave. Predstavljen je osnovni mehanizem brušenja in uporabe, ki se nanašajo na najnovejšo tehnologijo brušenja z velikimi hitrostmi (BVH) z zelo učinkovitimi orodji. Z napredkom tehnologije BVH je treba zahtevam obdelave z velikimi hitrostmi prilagoditi tudi obdelovalni stroj, sistem za hlajenje in nadzor postopka. Nadalje je v manjšem obsegu obravnavana še celovitost brušene površine in proizvodna ekonomika BVH.

© 2004 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: brušenje zelo hitro, abrazivi, integriteta površin)

This paper reviews the modern aspects of grinding with regards to enhanced productivity and manufacturing quality demands. The basic mechanism of grinding and the applications for the state-of-the-art technology of high-speed grinding (HSG) with high-performance grinding wheels are presented. In addition to the improvements in the technology associated with HSG, the grinding machine-tool, the coolant system and the process monitoring also need to adapt to high-speed machining. In addition, the ground-surface integrity and the economic efficiency of HSG are also briefly discussed.

© 2004 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: high speed grinding, abrasives, surface integrity)

0 UVOD

Povečevanje zahtev po zelo kakovostnih in robustnih proizvodih, predvsem v avtomobilski industriji, proizvodnji turbin in ležajev, terjajo nove in izboljšane postopke brušenja, ki zagotavljajo najboljše učinke glede na produktivnost in natančnost ob sprejemljivih stroških. Povečanje postopkovne učinkovitosti ob zmanjšanju stroškov je bilo v zadnjih letih doseženo z izrabo prednosti brušenja z velikimi hitrostmi, ki uporablja najnovejše abrazive, veziva z izboljšano obrabno odpornostjo in ustrezne stroje. Izbira ustreznega postopka je odvisna od koncepta obdelovalnega stroja, uporabe različnih abrazivnih orodij in okvira krmiljenja parametrov postopka.

Uporabe BVH so razširile področje brušenja od tradicionalnih končnih obdelovalnih postopkov do zelo učinkovitih natančnih obdelav. Postopkovni razvoj je pripeljal do novega primera brušenja, ki se nanaša na konfiguracijo izboljšane postopka z zelo učinkovitimi zmožnostmi [1].

Dandanes, ko je kakovost obdelovalnih postopkov z velikimi hitrostmi prav tako pomembna

0 INTRODUCTION

Increasing demands for high-quality and robust products, particularly in the automotive, turbine and bearing industries, require new and improved grinding processes that provide the best performance with respect to productivity and precision at a reasonable cost. Increased manufacturing performance and reduced costs have both been achieved in recent years through the exploitation of advances in high-speed grinding (HSG), which utilizes the latest abrasives, bonding systems with improved wear resistance, and appropriate machine-tools. The selection of an effective procedure is dependent on the machine-tool concept, the employment of different abrasive tools and a frame of process parameters' manipulation.

Applications of HSG have expanded the field of grinding from the traditional finish machining process to high-performance precision machining. Process development has led to a new grinding paradigm, which refers to the configuration of an improved process with high-performance capabilities [1].

Nowadays, when the quality in high-speed machining processes is just as important as the effi-

kakor njihova učinkovitost, morajo biti postopki brušenja predrugačeni. Ekonomična in učinkovita izraba BVH je omejena na zožen postopkovni okvir, ki omogoča optimalno gospodarnost. Primerno BVH lahko dosežemo le z učinkovito integracijo upravljanja kakovosti ([2] in [3]), ki se nanaša na neposreden sistem nadzora postopka, večnivojsko nadzorovanje napak, vizualizacijo, neposredne/posredne meritve, prilagodljivo krmiljenje in diagnozo kakovosti na daljavo. Široki vidiki integracije upravljanja kakovosti presega okvir tega prispevka.

Cilj tega prispevka se nanaša na pregled osnovnih vidikov brušenja s poudarkom na primerih sodobnega BVH težko obdelovalnih kovinskih materialov z orodji iz zelo učinkovitih abrazivov.

1 OSNOVE BRUŠENJA IN ODREZOVALNO NAČELO

Brušenje je postopek odrezovanja, ki se nanaša na obdelavo z geometrijsko nedefiniranimi rezalnimi robovi. Mehanizem brušenja predstavlja zapleteni postopek odvzema materiala, ki vključuje brus s popolnoma naključno strukturirano topografijo in zrno z običajno negativnim kotom cepilne ploskve (sl. 1a).

Brušenje se nanaša na odvzem materiala posameznih zrn, katerih rezalni rob je omejen s silo in tirnico. Začetek odrezovanja karakterizira elastična deformacija, kateri sledi plastično tečenje materiala obdelovanca (sl. 1b). Nastanek odrezka se začne v točki, kjer se debelina odrezka ujema z globino rezanja. Na nastajanje odrezka bistveno vplivajo pogoji trenja, lastnosti tečenja materiala obdelovanca in rezalna hitrost. Dosleden opis mehanizma odrezovanja torej vključuje zapletene zveze prodiranja med dvema trdima materialoma, elasto-plastno mehaniko in tribološke vidike, ki vplivajo na odrezovalno kinematiko in dotikalne pogoje.

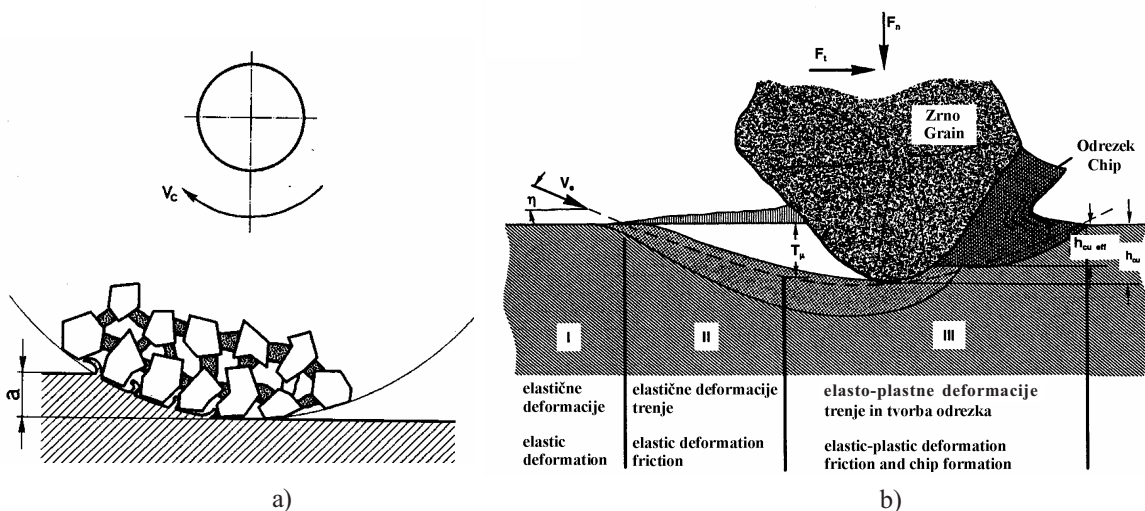
ciency, grinding processes have to be redesigned. The economic and effective employment of HSG is limited to a narrow machining frame, which leads to optimum cost efficiency. Adequate HSG is only achieved by effective quality-management integration ([2] and [3]), which refers to an online process monitoring system, multilevel error control, visualisation, in/post process measurements, adaptive control and remote quality diagnosis. The broad aspects of integrated quality management are beyond the scope of this paper.

The objectives of this paper are therefore to review the basic aspects of grinding and to point out the paradigms of the modern HSG of hard-to-machine ferrous materials with high-performance abrasives.

1 FUNDAMENTALS OF THE GRINDING AND CUTTING PRINCIPLE

Grinding is a machining cutting operation that refers to machining with geometrically undefined cutting edges. The mechanism of the grinding process is a complex material-removal process, including a grinding wheel with a perfectly randomly structured topography and a grain with a generally negative rake angle (Figure 1a).

Grinding refers to material removal by individual grains whose cutting edge is bounded by force and path. The initial cutting interface is characterized by elastic deformation, which is followed by plastic flow of the workpiece material (Figure 1b). The chip formation initiates at a point where the chip thickness corresponds to the cutting depth. The interface friction conditions, the flow characteristics of the material and the cutting speed have a significant influence on chip formation. A consistent cutting-mechanism description therefore comprises complex penetration relationships between two hard materials, elasto-plastics mechanics and aspects of tribology, which all influence the kinematics and contact condition.



Sl. 1. Makro in mikro načelo brušenja ([5] in [6])
Fig. 1. Macro and micro grinding principle ([5] and [6])

Porabljeno delo za nastanek odrezka je zmnožek mehanske moči in časa brušenja. Pri brušenju mehanska moč pomeni moč za brušenje, ki je zmnožek obodne rezalne sile in rezalne hitrosti. Večina dela za nastanek odrezka se spreminja v termično energijo, tj. toploto, ki se porazdeli v obdelovanec, brus, odrezke, hladilno-mazalno sredstvo in okolico.

2 ZELO UČINKOVITI ABRAZIVI

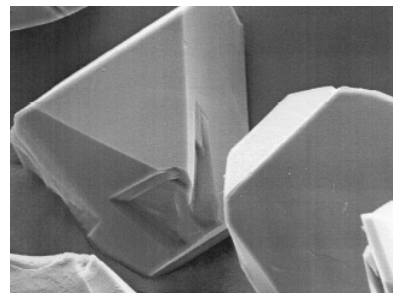
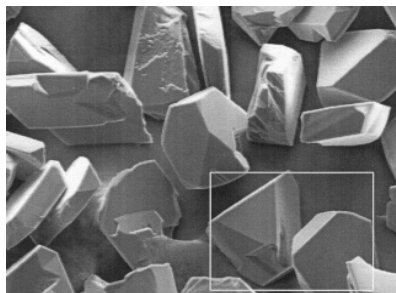
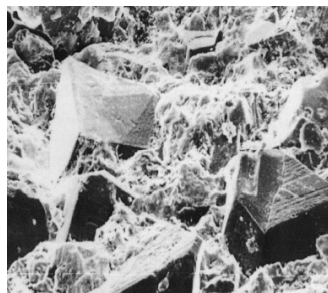
Bistvene prednosti povečane produktivnosti pri brušenju z velikimi hitrostmi se nanašajo na povečano obstojnost zelo učinkovitih brusov. Zahteve za ta orodja se nanašajo na njihovo dopustno vrtilno hitrost in odpornost proti obrabi in lomu. Poleg tega so zaželeni še dobre značilnosti dušenja, velika togost in ustrezna toplotna prevodnost [1]. To poglavje se nanaša na BVH jekel z uporabo brusov iz:

- kubičnega borovega nitrida (KBN)
- mikrokristalinskega aluminijevega oksida (Al_2O_3)

2.1 Abrazivi CBN

Zaradi visoke trdote, termične in kemične odpornosti je KBN idealen zelo učinkovit abraziv. V primerjavi z običajnimi abrazivi ima KBN najmanjšo obrabo in zaradi tega stabilno rezalno zmogljivost v daljšem časovnem obdobju. Prednosti se zlasti nanašajo na brušenje težko obdelovalnih legiranih jekel s trdoto nad 55 HRC, npr. hitrorezna in kromova jekla. Posamezno zrno KBN (sl. 2) je trdo in ima veliko toplotno prevodnost ter v primerjavi z običajnim zrnom stokrat večjo obstojnost. Zaradi inherentne ostrine omogočajo hladnejšo obdelavo in zagotavljajo veliko celovitost obdelane površine z manjšo hrapavostjo [4].

Brusi KBN se običajno sestojijo iz aluminijastega, jeklenega, keramičnega, smolnatega nosilnega telesa in tankega brusilnega sloja. Brusne značilnosti brusov KBN določajo karakteristike zrna, njihov tip, koncentracija in vezivo. Omogočene so rezalne hitrosti do 280 m/s.



Sl. 2. Mikrostruktura KBN [1]
Fig. 2. CBN microstructure [1]

The work performed during chip formation is the product of the mechanical power input and the grinding time. In grinding, mechanical power refers to the grinding power, which results from the product of the tangential cutting force and the cutting speed. The work for chip formation is mainly transformed into thermal energy, i.e., heat, which is distributed to the workpiece, grinding wheel, chips, coolant and the surroundings.

2 HIGH-PERFORMANCE ABRASIVES

The important advantage of increased productivity during grinding at high cutting speeds is the increased tool life of high-performance grinding wheels. The grinding tools for HSG are subjected to special requirements in terms of their allowed rotational speed and resistance to wear and fracture. Good damping characteristics, high rigidity, and adequate thermal conductivity are also desirable [1]. This section refers to the HSG of steels with grinding wheels of:

- Cubic boron nitride (CBN)
- Microcrystalline aluminium oxide (Al_2O_3)

2.1 CBN abrasives

Because of its high level of hardness, its thermal and chemical resistance, CBN is a perfectly suited high-performance abrasive. Compared with conventional abrasives, CBN has minimal wear and therefore its cutting ability is stable over a longer period of time. In addition, it offers advantages, especially in the grinding of hard-to-machine steels with large proportions of alloy and hardnesses of 55 HRC and above, e.g., high-speed steels and chrome steels. An individual CBN grain (figure 2) is hard and has a high thermal conductivity and will therefore have a life that is a hundred times that of a conventional grain. Because of its inherent sharpness, CBN tends to machine cooler, providing a high surface integrity and a superior surface finish [4].

CBN grinding wheels generally consist of an aluminium, steel, ceramic or artificial resin base and a thin grinding layer. The grinding characteristics of a CBN grinding wheel are determined by the grain characteristics, the type of grain, its concentration and the bonding system. Cutting speeds of 280 m/s are possi-

Sodobna večplastna veziva za bruse KBN vključujejo kovinsko sintrana in keramična veziva, velike trdote in odpornosti proti obrabi. Poravnava takšnih orodij je težavna glede na njihovo veliko trdnost. Prednosti brusov KBN je povezana z visoko ceno.

2.2 Mikrokristalinski aluminijev oksid (sintrani korund Al_2O_3)

V nasprotju z dragim brušenjem s KBN so različni proizvajalci orodij nedavno ponudili orodja, ki integrirajo običajne abrazive, ki omogočajo večjo stopnjo odvzema materiala pri velikih hitrostih. Keramično vezani brusi omogočajo ekonomske prednosti kakor tudi odlično učinkovitost orodja velike poroznosti, čigar odprta struktura omogoča samoostrenje. Orodja iz sintranega korunda omogočajo BVH do rezalnih hitrosti 180 m/s. Zaradi njegove zmogljivosti in osnovnih značilnosti zapira vrzel med zelo trdimi superabrazivi (diamant in KBN) ter običajnimi brusnimi abrazivi. Sintrani korund združuje lastnosti keramike (K) in zlitega aluminijevega oksida (S) v keramično vezanem brusu za BVH [4]. Ta kombinacija (sl. 3a) omogoča agresivno odrezovanje, dobro stabilnost oblike in veliko obstojnost.

Običajni korund določajo prednostne makrolomne ploskve (sl. 3b), iz katerih se krhajo razmeroma veliki delci. Zaradi mikrokristalinske strukture (0,5 μm) sintranega korunda ta nima prednostnih lomnih površin (slika 3c), zato so odlomljeni delci razmeroma majhni, s čimer zrna obdržijo svojo ostrino [6]. Sintrani korund je sorazmerno poceni abraziv, ki se je cenovno uvrstil med običajne in zelo drage abrazive KBN z merljivimi izboljšavami brušenja za faktor tri do pet [4].

Nova generacija brusov s skrajno velikimi hitrostmi (rezalne hitrosti do 500 m/s) se nanaša na keramično vezan brus KBN s plastičnim nosilnim telesom, ki je ojačan z ogljikovimi vlakni [9]. Zahteve

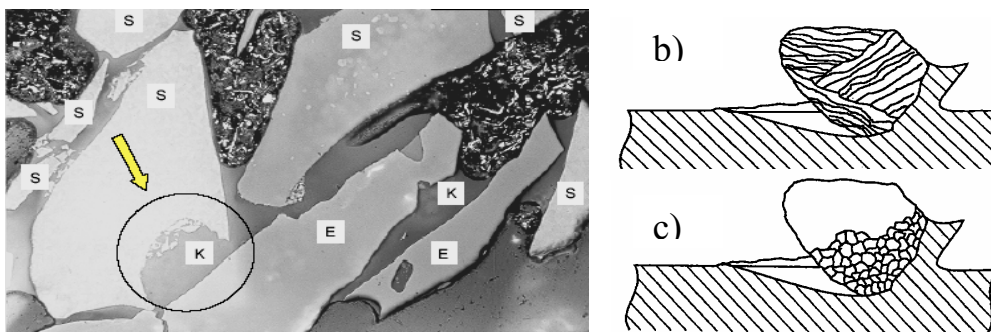
ble. Modern multi-layer bonding systems for CBN grinding wheels include sintered metal bonds and vitrified bonds, which possess a high bond hardness and wear resistance. The dressing of these tools is difficult because of their high mechanical strength. However, the performance of CBN wheels comes at a price.

2.2 Microcrystalline Aluminium Oxide (sintered corundum Al_2O_3)

To compete with to CBN grinding, various grinding-tools manufacturers have recently launched grinding tools that integrate conventional abrasives for a higher MRR at high cutting speeds. Vitrified bonded wheels offer not only economic advantages but also the excellent performance of a highly porous tool, whose open structure enables self-sharpening. Sintered corundum tools offer HSG up to cutting speeds of 180 m/s. Because of their characteristics and efficiency they are closing the gap between the very hard superabrasives (diamond and CBN) and the conventional grinding abrasives. Sintered corundum combines the properties of the ceramic (K) and fused aluminium oxide (S) into vitrified grinding wheels [7]. This combination (Figure 3a) exhibits a high level of sharpness, aggressive cutting, good form holding and a long life.

Conventional corundum has preferential macro fracture planes (Figure 3b), from which relatively large particles chip away. Because of its microcrystalline structure (0.5 μm), sintered corundum does not have preferential fracture planes (Figure 3c), hence the particles that chip away are relatively small and the grains retain their sharpness [6]. Aluminium oxide is a relatively low-cost abrasive, which has positioned itself in economic terms between the conventional and the very expensive CBN abrasives, with measurable improvements in grinding by a factor of three to five times [4].

The new generation of ultra-high-speed grinding wheels (cutting speeds up to 500 m/s) consist of a vitrified CBN wheel with a CFRP (carbon-fibre-reinforced plastics) core [9]. The requirements for such



Sl. 3. Mikrostruktura sintranega korunda ([7] in [6])

Fig. 3. Sintered corundum microstructure ([7] and [6])

teh brusov se nanašajo na zelo veliko trdnost nosilnega telesa z majhnimi radialnimi raztezki, kvaziizotropične značilnosti materiala, majhno težo in dobre lastnosti dušenja.

3 BRUŠENJE Z VELIKIMI HITROSTMI

BVH opredeljuje težnja po izboljšanju ekonomike postopka s povečanjem stopnje odvzema materiala ob hkratnem izboljšanju stabilnosti in zmožnosti postopka ter kakovosti obdelave. V tem pomenu je povečanje rezalne hitrosti prvi pogoj za povečanje produktivnosti.

V tehnološkem načelu se BVH nanaša bodisi na:

- zelo učinkovito brušenje v smislu zmanjšanja časa obdelave, pri čemer je kakovost obdelave nespremenjena;
- zelo kakovostno brušenje za doseganje velike kakovosti obdelave pri stalni ravni obdelovalne zmogljivosti.

Postopek brušenja je zaradi kompleksnosti zelo težaven za analizo. Običajno se tehnološke študije postopka brušenja nanašajo na model, ki je veljaven le v omejenem področju z danimi robnimi pogoji. Model na osnovi vstopnih veličin omogoča simuliranje izstopnih veličin in je tako lahko namenjen za ocenitev postopkovnih učinkov [8]. Poenostavljena primerjava med različnimi postopki BVH lahko temelji na primerjavi različnih parametrov, ki se nanašajo na vstopne, postopkovne in izstopne veličine. Postopkovna razmerja so lahko povzeta grafično (sl. 4).

wheels include a very high core-material strength with a small radial expansion, quasi-isotropic material characteristics, low weight and good damping properties.

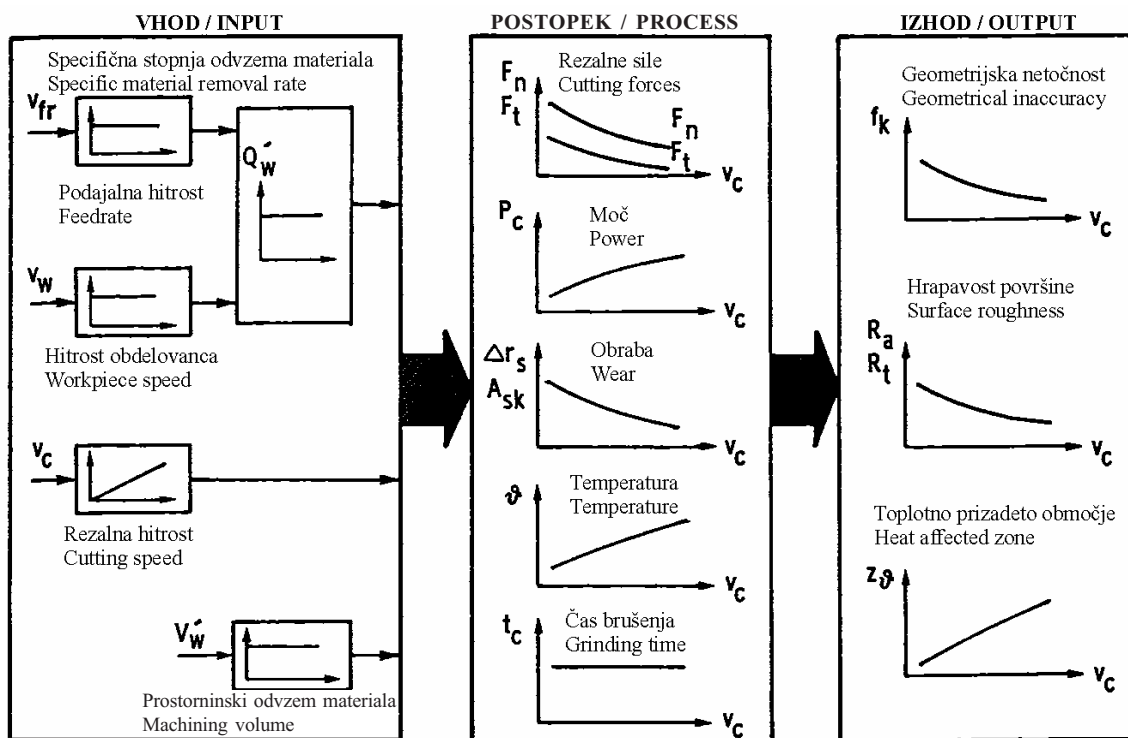
3 HIGH-SPEED GRINDING PROCESS

HSG is characterised by efforts to improve the economics of the process by increasing material removal rates (MRR) and simultaneous improvements of process stability, capability and machining quality. In this way, an increased cutting speed is a prerequisite for increased productivity.

In technological terms HSG refers to either:

- High-performance grinding in order to reduce the machining time while maintaining the same level of quality.
- High-quality grinding in order to enhance machining quality while maintaining a constant machining capacity.

The grinding process is very difficult to analyse due to its inherent complexity. Usually, a technological study of a grinding process refers to a model that is valid in only a limited field within given boundary conditions. A model can be used to predict process output and thus establish a relation between input and output quantities [8]. However, a simplified comparison between various HSG procedures can be established by comparing different parameters, which refer to input, process and output characteristics. The process relations can be summarized graphically (Figure 4).



Sl. 4. Postopkovna razmerja BVH [11]
Fig. 4. HSG process coherence [11]

Glede na naključno porazdelitev in obliko rezalnih robov so za analizo nastanka odrezka uporabljene izkustvene metode. Odvzem materiala in nastanek odrezka je odvisen od strukture brusa ter kinematičnih in geometrijskih parametrov. Debelina nedeformiranega odrezka h_{cu} , enačba (1), je torej odvisna od statične gostote rezalnih robov C_{stat} , kinematičnih in geometrijskih veličin; kjer se v_w nanaša na hitrost obdelovanca, v_c na rezalno hitrost, a na globino rezanja, d_{eq} na ekvivalenten premer brusa in α, β, γ na pozitivne eksponente.

$$h_{cu} \approx k \left[\frac{1}{C_{stat}} \right]^\alpha \left[\frac{v_w}{v_c} \right]^\beta \left[\frac{a}{d_{eq}} \right]^\gamma \quad \text{mm} \quad (1)$$

Na podlagi tega razmerja lahko sklepamo, da se povečanje rezalne hitrosti ob nespremenljivosti vseh preostalih parametrov izraža v zmanjšanju nedeformirane debeline odrezka. Tipična ekvivalentna debelina odrezkov pri BVH znaša med 0,5 in 10 μm .

Specifična stopnja odvzema materiala Q_w' (2) označuje količino odvzetega materiala obdelovanca v časovni enoti na širino brusa in lahko rabi kot cenilka učinkovitosti in ekonomičnosti BVH.

$$Q_w' = \frac{Q_w}{b_D} = \frac{dV_w/dt}{b_D} \quad \text{mm}^3/\text{mm} \times \text{s} \quad (2)$$

Sposobnost brušenja določa brusno razmerje G , enačba (3), ki se nanaša na razmerje odvzete količine materiala obdelovanca in za to potrebne količine abraziva. Za doseganje ekonomičnega BVH mora biti velikost brusnega razmerja G vsaj 100. V primeru optimiranega postopka lahko dosežemo razmerja G 1000 in več.

$$G = \frac{V_w}{\Delta V_s} \quad \text{mm}^3/\text{mm}^3 \quad (3)$$

S povečanjem rezalne hitrosti se razmerje G eksponentno povečuje; odrezki postajajo krajši in tanjši, obremenitev abrazivnih zrn in veziva se zmanjša, s tem pa se poveča obstojnost orodja in razmerje G .

Nadalje je pomembna določitev toplotnih lastnosti BVH, ki so odvisne od več medsebojno odvisnih spremenljivk, to so toplotne lastnosti obdelovanca in abraziva, variacije toplotne porazdelitve itn. Natančno razmerje med parametri brušenja in temperaturo je odvisno od celotnega toplotnega toka in porazdelitve toplotne energije. Slednji cenilki sta potrebni za napoved toplotnih značilnic postopka. Toplotni tok lahko ocenimo s specifično energijo za brušenje e_c en. (4).

$$e_c = A \cdot (Q_w')^{-t} \quad \text{J}/\text{mm}^3 \quad (4)$$

In view of the random distribution and shapes of cutting edges, empirical methods are applied to analyse chip formation during grinding. Material removal and chip formation depend on the structure of the grinding wheel as well as on kinematical and geometrical parameters. The undeformed chip thickness, h_{cu} (Eq.1), is therefore dependent on the static density of the cutting edges, C_{stat} , and on the kinematical and geometrical variables; where v_w is the workpiece speed, v_c the cutting speed, a the depth of cut, d_{eq} the equivalent grinding-wheel diameter, and α, β, γ are positive exponents.

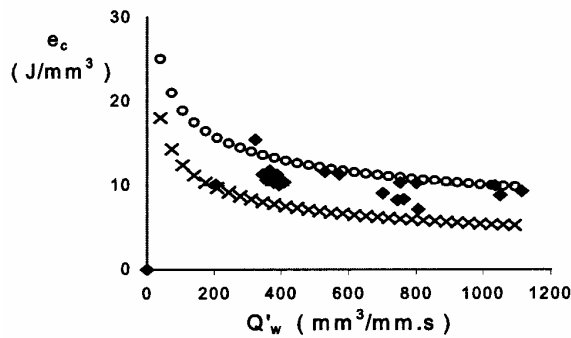
On the basis of this relationship it can be established that an increase in the cutting speed, assuming all other conditions are constant, will result in a reduction in the undeformed chip thickness. Equivalent chip thicknesses of between 0.5 and 10 μm are a characteristic feature of HSG.

The specific material removal rate Q_w' (Eq.2) indicates the amount of workpiece volume removed per unit of time and the grinding contact width, which can be used as an assessment criteria for HSG performance and economics.

The grinding capacity is stated in terms of the grinding ratio G (Eq.3), which corresponds to the ratio of material removed from the workpiece and the necessary volume of abrasive required. In order to make a HSG process economic, a minimum G ratio of 100 must be aimed for. In the case of optimised processes, G ratios of 1000 and higher are not unusual.

With an increase of the cutting speed the G ratio begins to grow exponentially; the chips become shorter and thinner, the load on the abrasive and the bonding system is reduced, and therefore, the wheel life and the G ratio increase.

Furthermore, it is important to determine the thermal characteristics of HSG process, which are dependent on several interacting variables, such as the thermal properties of the workpiece and the abrasive, the variations in heat partitioning, etc. The exact relationship between the grinding parameters and the temperature depends on the total heat flux and the partitioning of the thermal energy. The latter two estimates are required for a prediction of the thermal characteristics of the process. The heat flux can be estimated from the specific grinding energy e_c (Eq.4).



Sl. 5. Specifična energija [12]

Fig. 5. Specific energy [12]

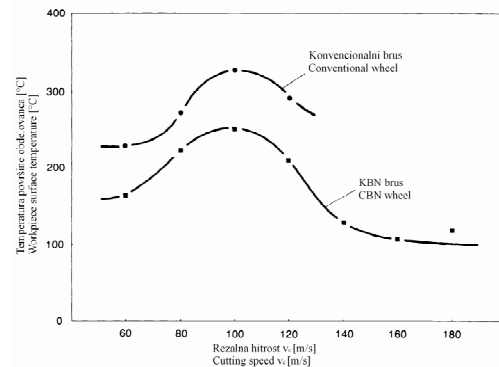
Specifična energija za brušenje variira s specifično stopnjo odvzema materiala, kjer sta stalni A in t odvisni od materiala obdelovanca in abraziva ter razmer pri brušenju [12]. Pri majhni specifični stopnji odvzema materiala se specifična energija za brušenje povečuje in eksponentno zmanjšuje z večanjem specifične stopnje odvzema materiala (sl. 5), še posebej pri velikih rezalnih hitrostih [13].

Zanimivo dejstvo pri BVH je, da se pri zelo velikih hitrostih brusar temperatura obdelovanca značilno zniža. S povečanjem hitrosti brusar se najprej zviša, potem pa se začne pri določenih okoliščinah in pri dovolj veliki hitrosti brusar nižati (sl. 6). To si lahko razlagamo s tem, da je čas stika med abrazivnimi zrnji in obdelovancem izredno kratek. Površina obdelovanca ni v toplotnem ravnotežju in tako se toplotni impulz v začetni fazi porazdeli po površini še preden prodre v obdelovanec. Morebitno prodiranje toplote v obdelovanec pa v naslednji fazi prepreči oblikovanje naslednjega odrezka, ki jo odnese. Ti učinki so očitni pri mejni hitrosti brusar okoli 100 m/s [20].

4 CELOVITOST BRUŠENE POVRŠINE IN HLADILNO MAZALNA SREDSTVA

Toplotne lastnosti brušenja se nanašajo na skoraj celotno spremembo energije za brušenje v toploto, vendar se manjši del te energije porabi za generiranje površine in kopičenje v odrezkih in obdelovancu v obliki zaostalih napetosti. Tako so vse komponente v brusni coni izpostavljene toplotnim obremenitvam [8]. Raztros toplote je odvisen od toplotne prevodnosti komponent, strategije hlajenja in značilnic postopka.

Lastnosti brušene površine bistveno vplivajo na funkcionalne lastnosti obdelane komponente. Toplotni vnos lahko povzroči strukturne spremembe, kakor so lokalne zakalitve ter formiranje trde in krhke martenzitne strukture. V povezavi z zaostalimi napetostmi lahko tako pride do nastanka in širjenja razpok (sl. 7).



Sl. 6. Porazdelitev temperature obdelovanca [20]

Fig. 6. Workpiece temperature distribution [20]

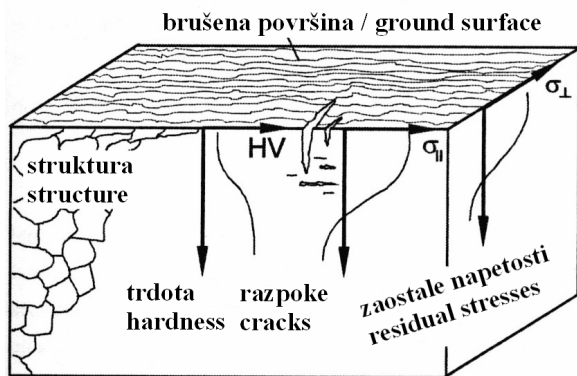
The specific grinding energy varies with the specific MRR, where the constants A and t depend on the workpiece/abrasive material and the grinding conditions [12]. At a lower specific MRR the specific grinding energy increases, and exponentially decreases when the specific MRR increases (Figure 5), especially at high cutting speeds [13].

An interesting fact about HSG is that at very high wheel speeds the workpiece temperature drops significantly. At first the temperature rises with increasing wheel speed, but under certain circumstances if the wheel speed is increased enough the temperatures actually begin to fall again (Figure 6). The explanation given for this relates to the extremely brief period of time that the abrasive grains are in contact with the workpiece. The workpiece surface is not in thermal equilibrium and the heat pulse initially spreads out over the surface before penetrating into the workpiece. However, before this can happen, the next chip is created, taking the heat with it. The boundary wheel speed where these effects start to be apparent is about 100m/s [20].

4 GROUND-SURFACE INTEGRITY AND GRINDING FLUIDS

The thermal properties of grinding result in an almost complete conversion of the grinding energy into heat; however, a smaller amount of energy is required for surface generation and the phenomena of energy residing in the chips and the workpiece in the form of residual stresses. Thus, all the components that interface in the grinding zone are subjected to thermal loads [8]. Heat dissipation is mainly dependent on the components' thermal conductivities, coolant supply strategies and process characteristics.

The properties of the ground surface layer are significant with regard to the component's operational characteristics. The thermal impact can result in structural alterations like annealed zones and the formation of a hard and brittle martensitic structure. Combined with residual stresses, this can cause crack initiation and propagation (Figure 7).



Sl. 7. Brušena površina [14]
Fig. 7. Ground surface layer [14]

Vplive mehanskih in toplotnih učinkov na material obdelovanca opisujejo različni modeli celovitosti obdelane površine [8].

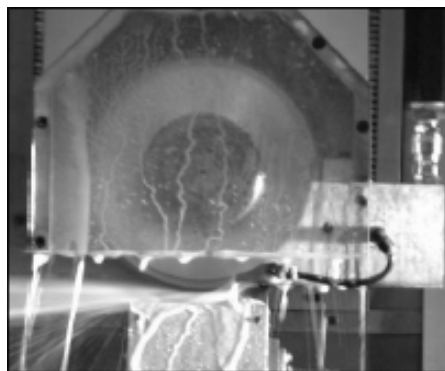
Da se izognemo toplotnim poškodbam, katere povzročijo nastajanje toplote, je bistveno znižanje temperature v brusni coni. To omogočajo hladilno-mazalna sredstva za brušenje, ki prevzamejo velik del nastale toplote. Poleg tega te tekočine tudi mažejo rezalne robove, zmanjšujejo hrapavost obdelane površine in čistijo pore brusa. Pri povečanih rezalnih hitrostih in globinah rezanja postane mazanje do določene mere pomembnejše od hlajenja. V uporabah BVH to funkcijo najbolje izpolnjujejo nekonvencionalna olja za brušenje, na osnovi estra in polialfaolefina [15].

Velike hitrosti brusa povzročajo nastanek zračne zavese, ki otežuje hlajenje in mazanje v brusni coni. Dovod hladilno-mazalnih sredstev za brušenje pod visokim tlakom omogočajo posebne razpršilne šobe. Tako tudi oblika razpršilne šobe, njen položaj in pretok vplivajo na učinkovitost in kakovost brušenja.

Toplotne poškodbe pri brušenju lahko torej povzročijo nezadosten dovod hladilno mazalnega sredstva, neprimerno načrtovan postopek, neustrezna poravnava ali prekomerna obraba brusa. Glede na to, da spada brušenje med postopke končnih obdelav, lahko zaradi toplotnih poškodb pride do zavrnitve obdelancev in nepotrebnih stroškov.

5 STROJI ZA BRUŠENJE Z VELIKIMI HITROSTMI

Brusi iz zelo učinkovitih abrazivov se še vedno večinoma uporabljajo na običajnih strojih za brušenje, ki so bili prvotno konstruirani za uporabo običajnih brusov. Tehnološko mejo BVH v večini primerov ne določajo orodja za brušenje, temveč brusilni stroji. Z upoštevanjem zmožnosti sodobnih abrazivov so novo razviti stroji za brušenje predstavili mejo učinkovitosti proti velikim stopnjam odvzema materiala.



Sl. 8. Hladilno-mazalni sistem za BVH [16]
Fig. 8. HSG cooling/lubrication system [16]

The influences of mechanical and thermal grinding effects on the workpiece material can be described by various surface-integrity models [8].

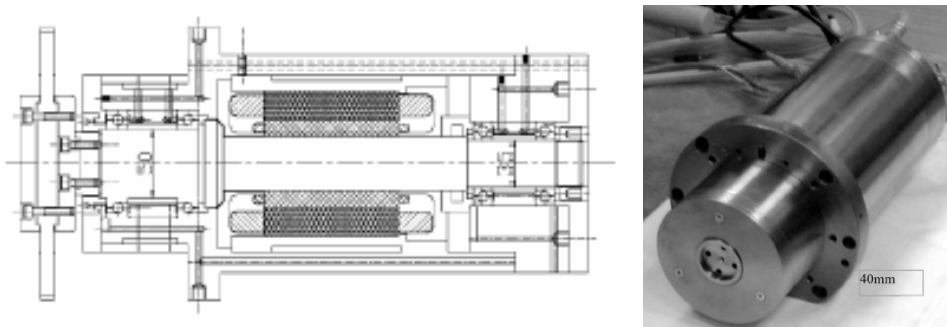
In order to avoid thermal damage caused by heat generation it is crucial to lower the temperature in the grinding zone. This is achieved with grinding fluids, which dissipate a large portion of the generated heat. In addition, these fluids also lubricate the cutting edges, improve the surface finish and clean the pores in the grinding wheel. Lubrication becomes, to some extent, more important than cooling as the cutting speed and the depth of cut increase. In HSG this function is best fulfilled by unconventional grinding oils, based on esters and polyalphaolefins [15].

A high grinding-wheel speed generates a thick air curtain, which aggravates the cooling and lubrication in the grinding zone. Grinding fluids are delivered to the grinding zone via nozzles under high pressure (Figure 8). Thus, nozzle shape, positioning and flow rate also have an influence on the grinding performance and the quality.

Thermal damage during grinding can therefore be caused by an insufficient grinding-fluid supply, improperly designed processes or unsuitably dressed or worn grinding wheels. Grinding is a finishing process, and for that reason thermal damage can result in workpiece rejection and increased costs.

5 HSG MACHINE-TOOLS

Even today, high-performance abrasive wheels are mostly used on conventional grinding machine-tools that were originally designed for use with conventional wheels. The technological limit in HSG is, in many cases, not set by the abrasive wheels, but by the machine-tools. Newly developed machines, which take account of the capabilities of modern abrasives, have shifted the performance limit for grinding towards higher MRR.



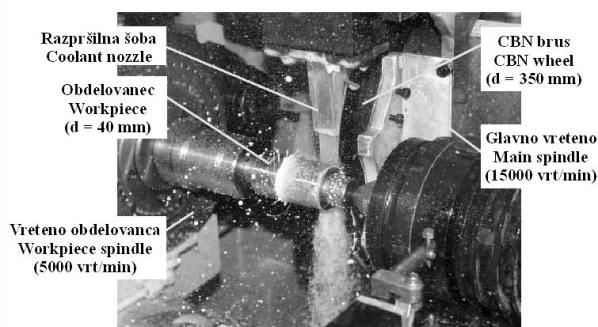
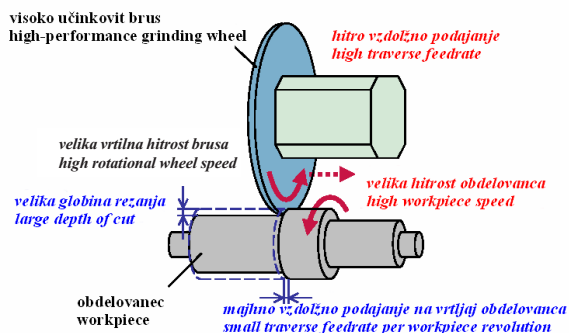
Sl. 9. Zelo hitro vreteno
Fig. 9. High speed spindle unit

Prednosti BVH so lahko izrabljene le, ko je osnutek stroja za brušenje prilagojen zahtevam tehnologije BVH, tj. da obratuje pri velikih hitrostih. Povečanje hitrosti brusa je tesno povezana s konstrukcijo stroja. Takšno povečanje hitrosti lahko vzbudi eno izmed naravnih frekvenc stroja in povzroči slabo kakovost obdelave in zmanjšanje obstojnosti orodja. S tem mora biti posebna pozornost namenjena sami zasnovi brusilnega stroja, ki mora zmanjšati nevarnost pojava resonanc [10]. Za izvedbo BVH z velikimi rezalnimi hitrostmi je potrebno glavno vreteno, ki združuje kompaktni asinhronski motor velike moči in hibridne hidrostatične/hidrodinamične ležaje, ki omogočajo velike vrtilne frekvence (sl. 9).

Vreteno je glavni gradnik stroja za brušenje z velikimi hitrostmi in zajema 60% celotne cene stroja. Sistem brus/vreteno/motor mora obratovati ekstremno natančno in z najmanjšimi vibracijami, s čimer se zmanjša nivo dinamike postopka. S tem se zahteva velika togost celotnega stroja. Do določene mere se togost lahko poveča z uporabo sodobnih materialov z velikimi moduli elastičnosti in nosili zaprtih prerezov. S povečanjem rezalnih hitrosti se povečuje imenska moč. Zato je treba upoštevati konstrukcijsko pravilo za zmanjšanje toplotnih deformacij, ki ga dosežemo z zmanjšanjem nastale

The advantages of HSG can be exploited only when the grinding machine-tool concept is adapted to meet the requirements of HSG technology, i.e., to operate at high cutting speeds. An increased wheel speed has implications for machine-tool design. For example, an increased wheel speed can excite one of the machine-tool's natural frequencies and cause poor workpiece quality and a reduced wheel life. Thus, care must be taken in the design of HSG machine-tools to reduce the risk of resonance occurring [10]. In order to perform HSG at high cutting speeds, a grinding-wheel spindle with a compact, high-power induction motor and hydrostatic/hydrodynamic hybrid bearings, which enable high rotational speeds, is required (Figure 9).

The spindle is the key component of a HSG machine-tool and accounts for nearly 60% of the total machine-tool cost. The grinding wheel/spindle/motor system must run with extreme accuracy and minimum vibration in order to minimise the level of process dynamics. Therefore, a high level of rigidity is required for the entire machine-tool. To a certain extent, stiffness can be increased by the use of modern materials with a large Young's modulus and profiles that have closed cross-sections. Increasing the cutting speeds tends to intensify the nominal power. For this reason a design rule to minimise the influence of thermal deformations has to be considered. Thermally induced deformations have to be minimised by minimising



Sl. 10. Brušenje z velikimi hitrostmi KBN
Fig. 10. CBN high-speed grinding

toplote in njenega prenosa, uporabo materialov z majhnimi razteznostnimi koeficienti in simetrično gradnjo strojev [17].

6 PROIZVODNA EKONOMIKA BVH

BVH izpodriva običajno brušenje zaradi zmanjšanja stroškov obdelave za en obdelovanec z največjo stopnjo odvzema materiala. Te stroškovne prednosti so posebej značilne za velikoserijsko proizvodnjo; za maloserijsko proizvodnjo je uporaba običajnih postopkov še vedno primernejša. Za določitev proizvodne ekonomike BVH se lahko uporabi naslednja stroškovna cenilka [18]:

$$C = C_1 + C_{sd} \cdot t_e + C_2 + C_3 + C_4 \quad (5)$$

C_1 – stalni del stroškov

C_{sd} – cena strojne obdelave in dela na časovno enoto

t_e – čas obdelave obdelovanca

C_2 – stroški orodja

C_3 – stroški hladilno-mazalnega sredstva

C_4 – dodatni stroški

BVH določa visoka cena strojne ure zaradi visoke nabavne cene stroja (~500.000 €) in velike amortizacije, močno zmanjšan čas obdelave in višji stroški orodja (~5.000 €). Višjo ceno zelo učinkovitih brusov nadomesti znatno višji obdelovalni potencial. Konkurenčnost BVH se nanaša na večjo obstojnost orodij in s tem zmanjšanjem zastojev, npr. zaradi poravnave brusa. V relativnem pomenu imajo prav stroški orodja največji potencial za prihranke celotnih stroškov BVH. Kakovost orodja je določena z učinkovitostjo brušenja in obstojnostjo. Orodje velike kakovosti omogoča večji odvzem materiala in zmanjšanje časa obdelave, ki s ceno strojne obdelave neposredno vpliva na celotne stroške brušenja (sl. 11).

the generation of heat, avoiding heat transmission, using materials with low thermal expansion coefficients and building symmetrical machines [17].

6 HSG EFFICIENCY ECONOMICS

HSG is replacing conventional grinding because it reduces the cost per part by maximising MRR. These cost benefits are particularly significant in high-volume production grinding; for the grinding of small series, it is generally better to continue using conventional procedures. To determine the economics of HSG the following expression for the cost estimation can be employed [18]:

C_1 – fixed part of the costs

C_{sd} – costs of machining and labour per unit time

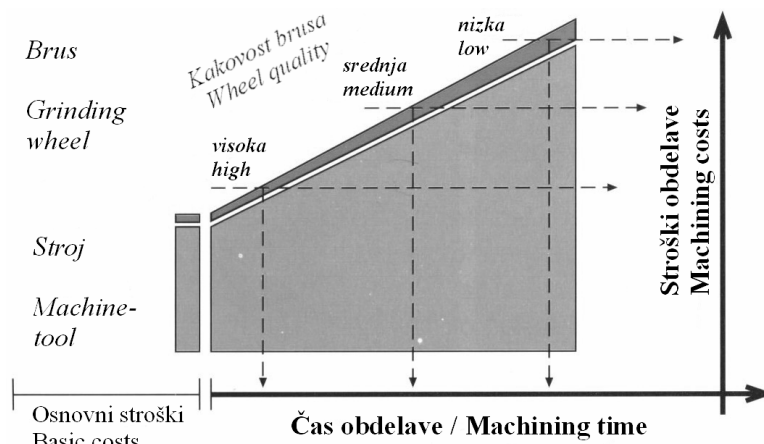
t_e – machining time per workpiece

C_2 – tool costs

C_3 – coolant costs

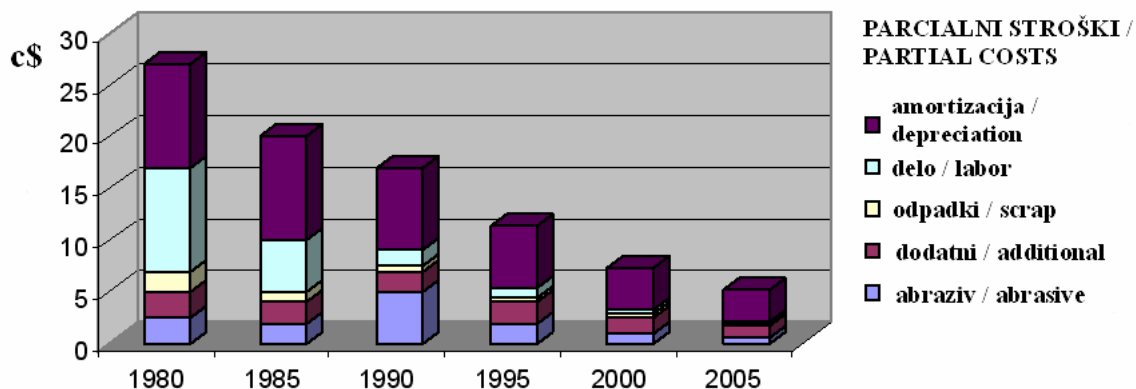
C_4 – additional costs

HSG is characterised by a high hourly machine-tool cost because of the higher purchase costs of the machine-tool (~500,000 €) and the high depreciation, the significantly reduced machining time and the higher tool costs (~5,000 €). The higher tool cost of high-performance wheels is offset by a considerably higher machining potential. The competitiveness of HSG is related to the longer tool life and thus the reduction in downtime, e.g., dressing intervals. In relative terms, the tool costs have the greatest potential for savings in total HSG costs. The quality of the tool is defined by its grinding performance and tool life. A high-quality grinding wheel enables greater MRR and a reduction of the machining time, which takes into account the machine-tool hourly costs and in turn has a direct influence on the total grinding costs (Figure 11).



Sl. 11. Vpliv kakovosti orodja na stroške obdelave [19]

Fig. 11. The effect of grinding-wheel quality on machining costs [19]



Sl. 12. Klasifikacija stroškov brušenja ležajnih mest kolenskih gredi [20]

Fig. 12. Classifying camshaft-lobe grinding costs [20]

V zadnjem desetletju je analiza stroškov BVH v avtomobilski industriji potrdila zmanjšanje celotnih stroškov obdelave za vsaj polovico (sl. 12). Raziskava se nanaša na brušenje ležajnih mest kolenskih gredi [20]. Poleg tega je napredek BVH z minimiranjem odpadkov omogočil ekološko ustrežnejše brušenje.

Primerjava stroškov običajnega in brušenja z velikimi hitrostmi je potrdila izrazite ekonomske koristi BVH za približno faktor dva.

7 SKLEPI

Tehnologija brušenja je znatno napredovala pri učinkovitosti, ki se nanaša na produktivnost in natančnost. K temu napredku so zlasti prispevala sodobna orodja s povečano obrabno obstojnostjo abrazivov in izboljšanimi vezivi, večja zanesljivost postopkov z boljšim nadzorom in krmiljenjem. Zato bodo nadaljnje raziskave in razvoj na področju brušenja zelo pomembne za stalno dograjevanje postopkovnega znanja. Cilji se torej nanašajo na povečano produktivnosti in prilagodljivosti kakor tudi na zmanjšanje proizvodnih stroškov. S tem dajejo sodobna orodja in stroji za brušenje ter izboljšave postopka temelj prihodnjih tehnologij brušenja.

Kakor smo poudarili, je povečana rezalna hitrost pri brušenju najpomembnejši dejavnik za izboljšanje kakovosti, obstojnosti orodja in produktivnosti. V končni fazi lahko opisno povzamemo odvisnosti postopka BVH. V tem smislu se prednosti BVH nanašajo na zmanjšanje rezalnih sil, obrabe orodij in hrapavosti obdelane površine. Z večanjem rezalne hitrosti, procesne moči oz. rezalne zmogljivosti se povečuje tudi vnos toplotne energije v obdelovanec, ki povzroča zvišanje temperature v rezalni coni, ki lahko povzroči toplotne strukturne poškodbe. Zmanjšanje stičnega časa med abrazivnim zrnom in obdelovancem ter učinkovito hlajenje lahko

A HSG cost analysis in the automotive industry over the last decade has proved a reduction in the total machining costs by at least a factor of two (Figure 12). The study refers to the grinding of steel camshaft lobes [20]. The development of HSG has also minimised scrap costs and therefore enabled ecologically appropriate grinding.

A cost comparison between conventional and high-speed grinding has also confirmed the economic benefits of HSG, which were found to be approximately a factor of two.

7 CONCLUSIONS

Grinding technology has improved considerably in terms of productivity and precision. Modern tools with enhanced, wear-resistant abrasives and improved bond systems together with higher process reliability due to better process monitoring and control have all contributed to this. Hence, future research and development in the field of grinding will be very important for the continuous improvement of process knowledge. The objectives therefore refer to the paradigms of increased productivity and flexibility as well as the reduction of manufacturing costs. In this way modern grinding tools and machine-tools along with improved processes form the basis for a future-oriented grinding technology.

We have emphasized that an increased grinding cutting speed is the most important factor in achieving improved quality, tool life and productivity. At last we are able to summarize HSG process coherences descriptively. In this way the advantages of HSG refer to a reduction in the grinding forces, the grinding-wheel wear, and the workpiece surface roughness. As the cutting speed and the process power increase, the quantity of thermal energy that is introduced into the workpiece also increases due to the higher cutting capacity, which causes an increase in the temperature in the cutting zone that in turn can cause thermal subsurface damage. Reducing the length of the contact time of the abrasive grain with the workpiece and efficient cooling can reduce the quan-

zmanjša količino prenosa toplote v obdelovanec in pojav toplotno prizadetega območja.

V končni fazi je treba poudariti, da ima BVH vse lastnosti za prevzem vodilne vloge na področju zelo učinkovitih tehnologij brušenja. Kljub temu BVH ni doseglo predvidenega vodilnega položaja. Prvič zaradi visokih investicijskih stroškov, povezanih z brusilnimi stroji, ki omogočajo velike hitrosti in sodobnimi orodji, ter drugič zaradi pomanjkanja temeljnega postopkovnega znanja, ki omogoča učinkovito izrabo postopka. Zaradi nedvoumne konkurenčnosti obravnavanega postopka, bo v prihodnosti tudi v slovenski industriji treba razmisliti o investicijah v sodobno opremo za zelo učinkovito brušenje. S tem predstavlja BVH nov izziv za slovensko proizvodnjo.

tity of heat transfer into the workpiece and the emergence of a heat-affected zone.

Finally, it should be stressed that HSG has all the attributes to bring it to the front position of high-performance grinding technologies. However, HSG has not achieved the dominance once envisaged. First, due to the high investment costs of high-speed machine-tools and modern grinding wheels, and second, due to a lack of fundamental process knowledge for effective process exploitation. Because of the unequivocal competitive position of the discussed procedure, Slovenian industry will necessarily have to consider future investments in modern high-performance grinding systems. In this way, HSG represents a new challenge for Slovenian manufacturing.

8 LITERATURA

8 REFERENCES

- [1] Jackson, M.J., C.J. Davis, M.P. Hitchiner, B. Mills (2001) High-speed grinding with CBN grinding wheels – Applications and future technology, *Journal of Materials Processing Technology*, 110, 78-88.
- [2] Kopač, J., P. Krajnik, A. Sluga (2003) Precision grinding and quality control, V: J. Madl (eds.). ICPM 2003, proceedings : 2nd International Congress of Precision Machining, 3-6 September 2003, Prague, Czech Republic. Department of Manufacturing Technology, Faculty of Mechanical Engineering, 36-41.
- [3] Marinič, S., A. Sluga (2001) Quality design in early phases of product development. *Manuf. syst. (Aachen)*, vol. 31, no. 2, 93-98.
- [4] Salmon, S.C. (1992) Modern grinding process technology, *McGraw-Hill*, Inc.
- [5] Muren, H. (1995) Odrezavanje in odnašanje, *Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani*.
- [6] Klocke, F. (2001) Manufacturing technology I, *WZL-RWTH Aachen*.
- [7] Klocke, F., R. Bot (2003) Untersuchungen an Schleifscheiben aus Sol-Gel-Korund, <http://www.wzl.rwth-aachen.de>.
- [8] Tönshoff, H.K., J. Peters, I. Inasaki, T. Paul (1992) Modelling and simulation of grinding processes, *Annals of the CIRP*, Vol. 41/2, 677-688.
- [9] Yamazaki, S., K. Syoji, T. Kuriyagava, Y. Ogura (2003) Development of an ultra-high speed grinding wheel, *Key Engineering Materials Vols. 238-239, 271-276, Trans Tech Publications Switzerland*.
- [10] Ebrell, S., W.B. Rowe, M.N. Morgan (2003) Process characterisation of grinding AISI 52100 with vitrified CBN, *Key Engineering Materials Vols. 238-239, 333-340, Trans Tech Publications Switzerland*.
- [11] König, W., F. Klocke (1996) *Fertigungsverfahren (Band 2), VDI Verlag Duesseldorf*.
- [12] Stephenson, D.J., T. Jin (2003) Physical basics in grinding, V: K. Werner, F. Klocke, E. Brinksmeier (eds.). ECG 2003, proceedings : 1st European Conference on Grinding, 6-7 November 2003, Aachen, Germany. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 2 Nr. 643, *VDI Verlag Duesseldorf*.
- [13] Ramesh, K., S. H. Yeo, S. Gowri, L. Zhou (2001) Experimental evaluation of super high-speed grinding of advanced ceramics, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92, 87-92, *Springer Verlag London*.
- [14] Brinksmeier, E., T. Wilke (2003) Influence of process design on residual grinding stresses, V: K. Werner, F. Klocke, E. Brinksmeier (eds.). ECG 2003, Proceedings : 1st European Conference on Grinding, 6-7 November 2003, Aachen, Germany. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 2 Nr. 643, *VDI Verlag Duesseldorf*.
- [15] Hoerner, D. (2003) Modern grinding fluids – Can highly sophisticated base stocks improve significantly grinding performance V: K. Werner, F. Klocke, E. Brinksmeier (eds.). ECG 2003, proceedings : 1st European Conference on Grinding, 6-7 November 2003, Aachen, Germany. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 2 Nr. 643, *VDI Verlag Duesseldorf*.
- [16] Ramesh, K., S.H. Yeo, Z.W. Zhong, K.C. Sim (2001) Coolant shoe development for high efficiency grinding, *Journal of Materials Processing Technology*, 114, 240-245..
- [17] Van Brussel, H. (2003) Contemporary state and chance of precision growth in production, V: J. Madl (eds.). ICPM 2003, Proceedings : 2nd International Congress of Precision Machining, 3-6 September 2003, Prague, Czech Republic. Department of Manufacturing Technology, Faculty of Mechanical Engineering, 36-41.

- [18] Henn, K. (1984) Qualität und Kosten beim spitzenlosen Durchlaufschleifen, Fakultät für Maschinenwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.
- [19] Haefli, P., H. Reiser (2000) High-precision profile grinding with PremaDia, Grinding of Metals, Diamond for Industry, *De Beers Industrial Diamonds*.
- [20] Hitchiner, M. (2003) Practical challenges to the application of high wheel speeds to grinding, INTERTECH 2003, Proceedings: An International Technical Conference on diamond, Cubic Boron Nitride and Their Applications, 28 July-1 August 2003, Vancouver, *The Industrial Diamond Association of America*.

Naslov avtorjev: Peter Krajnik
prof.dr. Janez Kopač
Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana
peter.krajnik@fs.uni-lj.si
janez.kopac@fs.uni-lj.si

Authors' Address: Peter Kajnik
Prof.Dr. Janez Kopač
University of Ljubljana
Faculty of Mechanical Eng.
Aškerčeva 6
SI-1000 Ljubljana, Slovenia
peter.krajnik@fs.uni-lj.si
janez.kopac@fs.uni-lj.si

Prejeto: 13.1.2004
Received:

Sprejeto: 8.4.2004
Accepted:

Odprto za diskusijo: 1 leto
Open for discussion: 1 year

Zmanjšanje stroškov v odpremi z uporabo metodologije šest sigm

Reducing the Costs of Shipping Automotive Products by Implementing a Six Sigma Methodology

Mirko Soković - Miran Jurečič - Andrej Kramar

Skupina za izboljšanje kakovosti in produktivnosti v podjetju TPV Johnson Controls, ki izdeluje avtomobilске sedeže za Renault Clio, je izpeljala projekt izboljšanja razmer pri odpremi sedežev. Povod za ta projekt je bila majhna zasedenost delavcev v odpremi, še zlasti voznika tovornjaka. S sistematičnim prijemom in timskim delom smo dosegli ugodne rezultate v obliki ukinitve enega delovnega mesta (enega delavca na izmeno) s prerazporeditvijo del in nalog na druga delovna mesta v odpremi in s tem dviga produktivnosti na zadovoljivo raven.

Tako je uporaba metodologije šest sigm pri izvedbi tega projekta prispevala k precejšnjim prihrankom in izboljšanju uspešnosti poslovanja.

© 2004 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: metodologija šest sigm, zmanjševanje stroškov, učinkovitost dela)

The team responsible for improving quality and productivity at TPV Johnson Controls, a company producing car seats for the Renault Clio, carried out a project to improve the efficiency of its shipping procedure. The reason for the project was the low labour efficiency in the shipping area, especially that of the truck driver. A systematic approach and teamwork abilities contributed to favourable results in the form of a lay-off of one workstation (one worker per shift) through a re-distribution of work assignments to other shipping workstations, and to an increase in efficiency to a satisfactory level.

The use of Six Sigma methodology in this project has meant considerable savings for the company and an improvement in its business performance.

© 2004 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: Six Sigma methodology, costs savings, labour efficiency)

0 UOVOD

Postopek, ki se imenuje Šest sigm, je relativno nov in se uporablja pri zagotavljanju kakovosti in vodenju kakovosti s poudarkom na stalnem izboljšanju kakovosti. Postopek izboljšav se uvaja skozi sistematično projektno usmerjeno metodologijo "definiraj, izmeri, analiziraj, izboljšaj in nadziraj" (DIAIN - DMAIC). Raven sigm pokaže možnosti za neakovosten izdelek. V primeru ravni šest sigm so možnosti za neustrezen izdelek enake 3,4 kosov na milijon. Doseganje ravni kakovosti šest sigm vključuje vodstvo, infrastrukturo, ustrezna orodja in metode, pri čemer kakovost postaja del skupnega načrta poslovanja organizacije ([1] do [5]).

1 PROJEKT ŠEST SIGM

1.1 Faza - Definiraj

- Opredelitev problema

0 INTRODUCTION

Six Sigma is a new, emerging approach to quality assurance and quality management with the emphasis on continuous quality improvement. Process improvements are implemented in a systematic manner through DMAIC methodology: Define, Measure, Analyse, Improve, and Control. The Sigma level indicates the possibility of a defective product. In the case of a Six Sigma level, the chance of a defective product is equal to 3.4 ppm. Achieving a Six Sigma quality level involves leadership, infrastructure, appropriate tools and methods, and in addition, quality has to become a part of corporate business plan ([1] to [5]).

1 SIX SIGMA PROJECT

1.1 Define Phase

- Problem Statement & Quantification



Sl. 1. Opredelitev problema v oddelku odpreme [6]
 Fig. 1. Problem statement in the shipping area [6]

V oddelku odpreme je 10 delavcev (pet v vsaki izmeni): voznik viličarja – lanser sestavnih delov, odprenik SS (sprednjih sedežev), odprenik ZS (zadnjih sedežev), voznik viličarja – odprenik sedežnih garnitur in voznik tovornjaka. Odprenika sedežev nalagata sedeže na palete za odpremo (najprej sprednje in nato še zadnje sedeže). Voznik viličarja – odprenik odvažja palete s sedežnimi garniturami v začasno skladišče in jih potem po potrebi natovarja na tovornjak. Voznik tovornjaka dostavlja sedežne garniture odjemalcu (sl. 1). Zasedenost delavcev na odpremi je nezadovoljiva (manjša od 61 %).

- Cilj projekta

Analizirati zasedenost delavcev v oddelku odpreme ter ukinitvev enega voznika viličarja na izmeno.

- Upoštevanji prihranki projekta

Ukinitvev voznika viličarja – odprenika na izmeno/na leto: \$ 18 000

Skupni letni prihranek (dve izmeni): \$ 36 000

There are 10 workers in the shipping area (five per shift): forklift driver-feeder, shipping operator FS (front seats), shipping operator RS (rear seats), forklift driver and truck driver. The shipping operators load the seats onto the pallets for shipping (first FS, then RS), the forklift driver moves the pallets with seat sets in the area between the shipping line and the temporary warehouse, and then loads them onto the truck. The truck driver delivers the seat sets to the customer, Figure 1. The labour efficiency is unsatisfactory (less than 61 %).

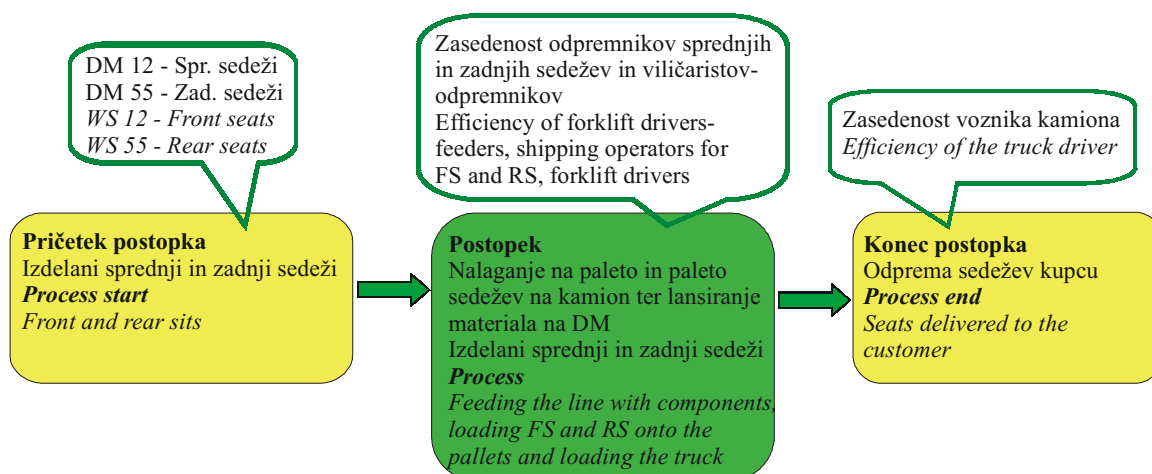
- Project Objective

Analyse the labour efficiency in the shipping area and consequently lay-off one forklift driver per shift.

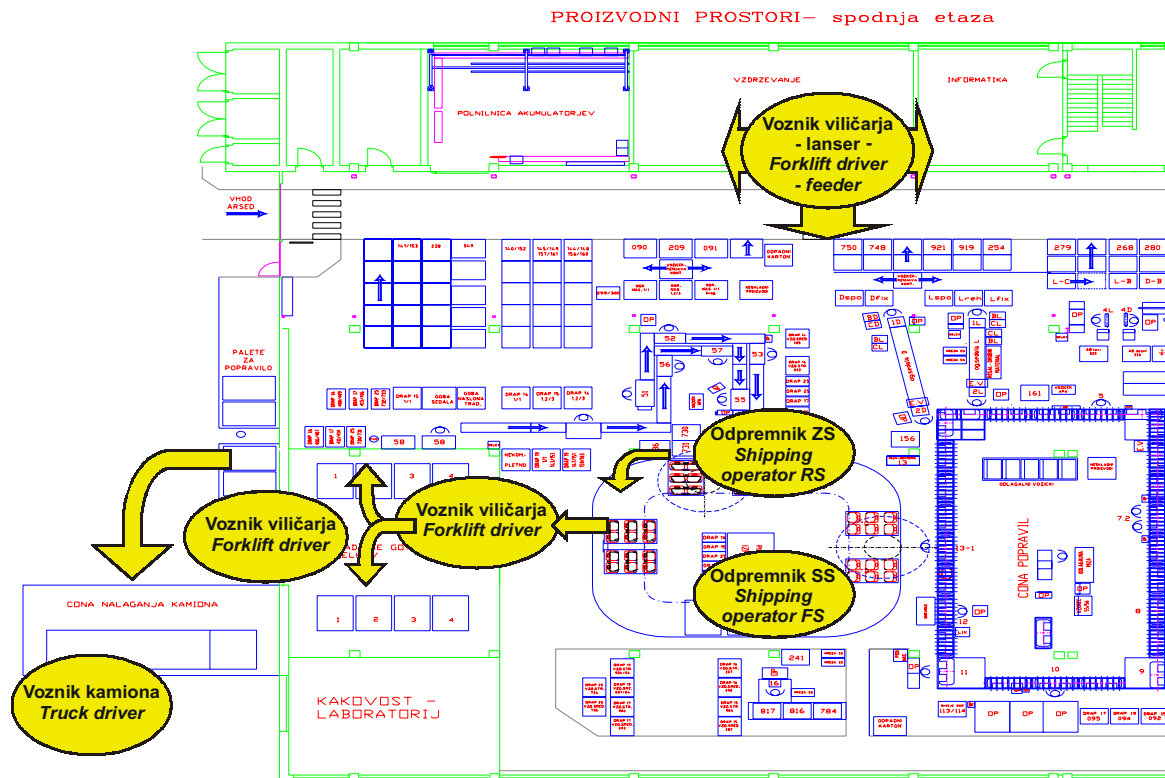
- Project Saving Forecast

One forklift driver lay-off per shift/per year: \$ 18 000

Saving per year (two shifts): \$ 36 000



Sl. 2. Začetek in konec (meji) postopka [6]
 Fig. 2. Process Start & End Points [6]



Sl. 3. Slika poteka postopka ([6] in [7])
Fig. 3. Process Map ([6] and [7])

- Težišče projekta in Meje poteka postopka
Kaj naj bi merili: **Zasedenost delavcev v oddelku odpreme**. Začetek in konec (meji) postopka sta podani na sliki 2.
- Slika poteka postopka
Slika 3 prikazuje "Sliko poteka postopka" za dejavnosti v oddelku odpreme.

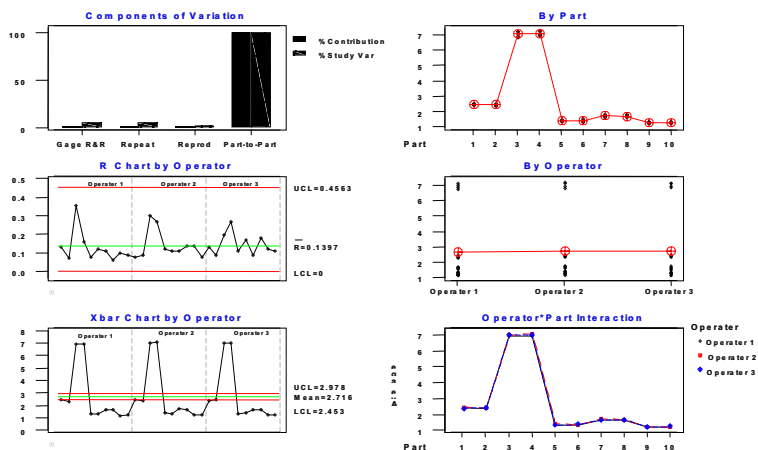
1.2 Faza - Izmeri

- Diagram ponovljivosti meritev
Merjeno je bilo: nalaganje palet z garniturami sedežev ene na drugo, prevoz z odpreme proge v vmesno skladišče in prevoz prazne palete iz vmesnega skladišča na odpremo progo. Analiza ponovljivosti (sl. 4) kaže, da je izbran način merjenja ustrezen. Variiranje med večkratnimi ponovitvami meritev za posamezne dejavnosti je majhno.
- Test normalnosti
Test normalnosti podaja ugotovitev, ali lahko sklop podatkov obravnavamo kot normalno porazdeljene podatke. Vrednost P je namreč verjetnost, da dobimo natančen vzorec, če so podatki normalno porazdeljeni. Sledili smo pravilu:
 - a) Vrednost $P < \alpha$: podatki niso normalno porazdeljeni.
 - b) Vrednost $P > \alpha$: podatki so normalno porazdeljeni.

- Project Focus & Process Boundary Map
What was measured: **Labour efficiency in the shipping area**. The process start and end points are shown in Figure 2.
- Process Map
Figure 3 shows the "Process Map" for the activities in the shipping area.

1.2 Measure Phase

- "Total Gage R&R" – graph
The measured operations were as follows: stacking of full pallets, delivery from the shipping line into the temporary warehouse, and delivery of empty pallets from the temporary warehouse onto the shipping line. The Gage R&R analyses (Fig. 4) show that three operators were measuring consistently. The variation between multiple measurements for each individual part is small.
- Normality Test
The normality test shows whether a collection of data can be treated as normally distributed data. The P-value is the probability of getting an accurate pattern if the data are normally distributed. We follow the principle:
 - a) $P\text{-Value} < \alpha$: The data are not normally distributed.
 - b) $P\text{-Value} > \alpha$: The data are normally distributed.

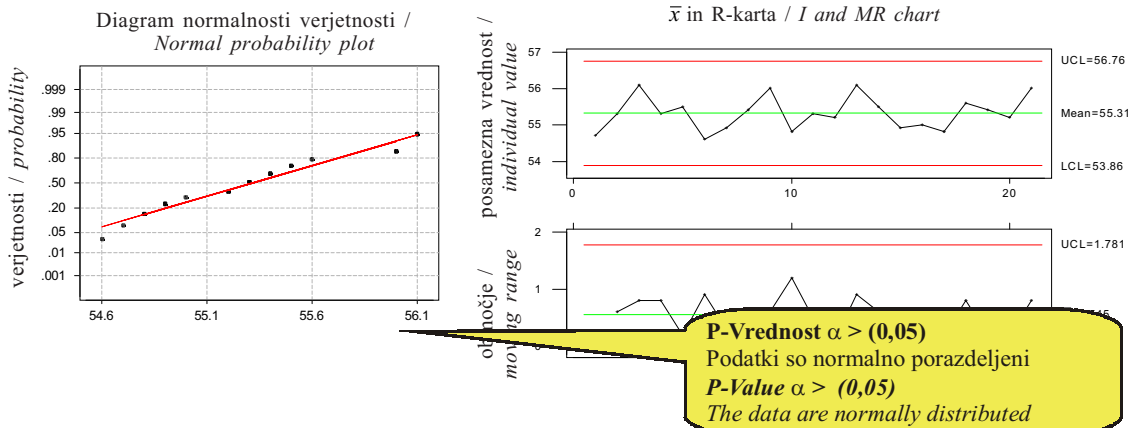


Izbran način merjenja je ustrezen, kar dokazuje izračun ponovljivosti meritev (rezultat znotraj mej 0 in 10 %).
 The selected measurement system is suitable, which is proved by the calculation of Total Gage R&R (the result is within the limits 0 and 10 %)

St. dev / StdDev Vir / Source	Študij var. / Study Var (SD)	%Študij var. / %Study Var (5.15*SD)	(%S)
Celotna ponov. meritve Total Gage R&R	0,09272	0,4775	4,03
Ponovljivost Repeatability	0,09143	0,4709	3,97
Reproduktivnost Reproducibility	0,01541	0,0794	0,67
Delavec Operator	0,01541	0,0794	0,67
Kos proto kosu Part-To-Part	2,30162	11,8533	99,92
Celotna variacija Total Variation	2,30349	11,8630	100,00

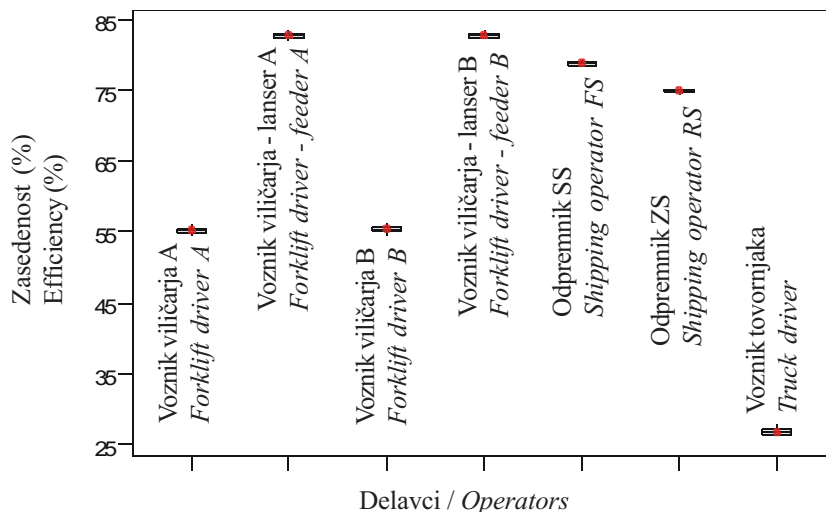
Sl. 4. Analiza ponovljivosti
 Fig. 4. The Gage R&R analyses

- "Diagram normalnosti verjetnosti in \bar{x} , R-karta". Oba testa za vseh 10 delavcev v oddelku odpreme kaže, da sklop podatkov lahko obravnavamo kot normalno porazdeljenega in da so merjeni procesi stabilni, vendar neučinkoviti. Primer "testa normalnosti" za voznika viličarja – odpremnika v izmeni A je prikazan na sliki 5.
- Diagram zasedenosti delavcev v oddelku odpreme
 Diagram zasedenosti na sliki 6 kaže, da sta voznika viličarja – odpremnika učinkovita le 55 %, voznik
- "Normality Probability Plots" & "I and MR Chart", for all 10 workers in the shipping area show that a collection of data can be treated as normally distributed data and that the measured processes are stable, but of low efficiency. An example of the "Normality Test" for the forklift driver in the A shift is shown in Figure 5.
- "Box plots graph" - Labour efficiency in the shipping area
 The Box plots graph (Fig. 6) shows that the two forklift drivers are only 55 % efficient and the truck



P-Vrednost $\alpha > (0,05)$
 Podatki so normalno porazdeljeni
 P-Value $\alpha > (0,05)$
 The data are normally distributed

Sl. 5. "Test normalnosti" za voznika viličarja – odpremnika v izmeni A
 Fig. 5. "Normality Test" for the forklift driver in the A shifts



Sl. 6. Diagram zasedenosti delavcev

Fig. 6. Box plots graph of the efficiency of operators

tovornjaka pa samo 27 %. Torej, je bil cilj tima poiskati poti za bistveno povečanje učinkovitosti dela ter uporabo notranjih rezerv v oddelku odpreme in nazadnje ukiniti delovno mesto dveh voznikov viličarja (v vsaki izmeni enega).

driver's efficiency is only 27 %. Thus, the target of the team is to find ways to substantially increase the efficiency and make use of internal reserves in the shipping area and consequently lay-off two forklift drivers.

1.3 Faza - Analiziraj

- "Testiranje domneve" učinkovitosti za posamezna delovna mesta v izmenah A in B
V podporo doseganju ciljev smo izvedli "testiranje domneve" učinkovitosti dela za vsa delovna mesta v odpremi, v izmenah A in B. Testi kažejo, da ni bilo razlike pri učinkovitosti enakih delovnih mest v obeh izmenah.
- "testiranje domneve" učinkovitosti za A in B voznika viličarja – odpremnika

1.3 Analyze Phase

- "Hypothesis tests" of the efficiency in A and B shifts on all workstations
To support the setting of targets we made "Hypothesis tests" of the labour efficiency in the A and B shifts on all workstations in the shipping area. The tests showed that there was no difference in the efficiency of the same workstations in the two shifts.
- "hypothesis test" of the efficiency for A and B forklift drivers (FLDs)

Ničelna domneva <i>Null Hypothesis</i>	- Ho: μ A izmena = μ B izmena
Nasprotna domneva <i>Alternative Hypothesis</i>	- H1: μ A izmena \neq μ B izmena
	- H1: μ A shift \neq μ B shift
Dvo-vzorčni T-test in CI: A-% voznik viličarja in B-% voznik viličarja Two-Sample T-Test and CI: A-% FLD in B-% FLD	
	Sr. vr. dt.driv. SE sr.vr.
	N Mean StDev SE Mean
A - % voznik viličarja A - % forklift driver	21 55,314 0,460 0,10
B - % voznik viličarja B - % forklift driver	21 55,419 0,446 0,097
Razlika / Difference = μ A-% voznik vil. / FLD - μ B-% voznik vil. / FLD	
Ocena za razliko / Estimate for difference: -0.105 (razlika od srednje vrednosti / difference of mean value)	
95% CI za razliko / for difference: (-0.387; 0.178)	
T-test razlike / T-Test of diff. = 0 (vs not =): T-vrednost / value = -0.75 P-vrednost / value = 0,458 DF = 39	

P-Vrednost $\alpha > 0,05$
Sprejmemo "ničelno domnevo" ni razlike med zasedenostjo voznika viličarja A in B.
P-Value $\alpha > 0,05$
"Null Hypothesis" accepted no difference between the efficiency of A and B forklift drivers.

Ničelna domneva <i>Null Hypothesis</i>	- Ho: μ A voznik viličarja = μ B voznik viličarja = μ voznik tovornjaka - Ho: μ A forklift driver = μ B forklift driver = μ truck driver				
Nasprotna domneva <i>Alternative Hypothesis</i>	- H1: μ A voznik viličarja \neq μ B voznik viličarja \neq μ voznik tovornjaka - H1: μ A forklift driver \neq μ B forklift driver \neq μ truck driver				
»Analiza variance« za vse podatke (za potrditev razlike) / »Analysis of Variance« for all data (to confirm the difference)					
Vir / Source	DF	SS	MS	F	P
Subs	2	11428,69	5714,34	3,0	0,000
Napaka / Error	60	11,33	0,19		
Celotno / Total	62	11440,01			
	N	Sr.vr. / Mean	StDev		
A - % Voznik viličarja	21	55,314	0,460		
A - % Forklift driver					
B - % Voznik viličarja	21	55,419	0,446		
B - % Forklift driver					
Voznik tovornjaka	21	26,795	0,396		
Truck driver					

P < 0.05; Zavrtnemo "ničelno domnevo"
P < 0.05; Null hypothesis rejected

- "Testiranje domneve - ANOVA": Učinkovitost voznikov viličarja – odpremnikov A in B ter voznika tovornjaka

Iz opravljenega izračuna je razvidno, da ni nobene razlike v zasedenosti med voznikoma viličarja – odpremnikoma izmene A in B, kar pa ne velja za razmerje med voznikom tovornjaka in voznikom viličarja – odpremnikom izmene A in tudi ne za razmerje med voznikom tovornjaka in viličaristom-odpremnikom izmene B (obe vrednosti sta pozitivni razliki).

Vse opravljene raziskave (Testiranje domneve, Testiranje domneve-ANOVA, Diagram zasedenosti, Analize izvora in vpliva napak (AIVP)) so dokazale, da so na odpremi delovna mesta, ki lahko prevzamejo določena dela in naloge od voznika viličarja – odpremnika (v obeh izmenah).

1.4 Faza - Izboljšaj

- Akcija za doseganje cilja

Skupina je razporedila dela in naloge voznika viličarja – odpremnika izmen A in B na druga delovna mesta glede na rezultate analize njihove zasedenosti (sl. 7).

- "Testiranje domneve" za voznika viličarja / voznika tovornjaka (novo stanje)

Glede na rezultate simulacije se je skupina odločila, da voznik tovornjaka prevzame dodatna dela (zamenjavo palet, nalaganje tovornjaka in zamenjavo akumulatorja na viličarju). Za statistično

- "Hypothesis test - ANOVA": Efficiency of A and B forklift drivers and the truck driver

The calculation shows that there is no difference between the efficiencies of the A and B forklift drivers, but this does not hold true for the ratio between the truck driver's efficiency and that of the A forklift driver, in the same way as it is not true for the ratio between the truck driver and the B forklift driver (both values are positive – difference).

All our researches (Hypothesis test, Hypothesis test - ANOVA, Box Plots graphs, Failure mode and effect analysis (FMEA)) so far prove that there are workstations in the shipping area that could take over some tasks from the forklift drivers (both shifts).

1.4 Improve Phase

- Action to achieve the target

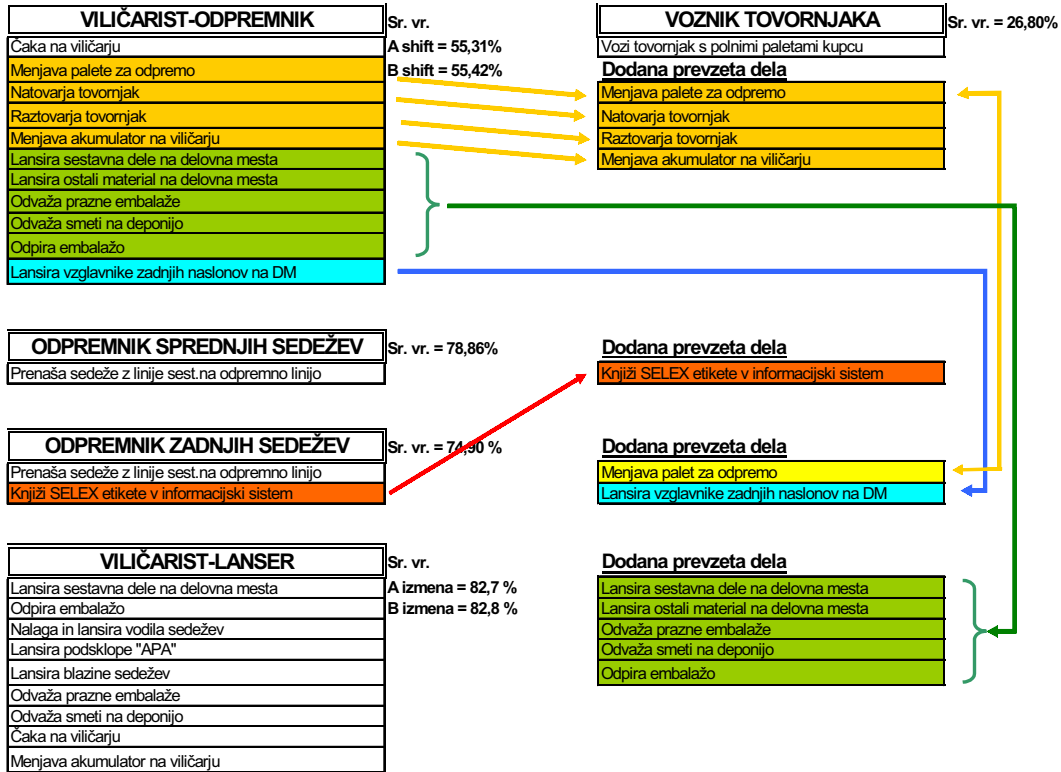
With the help of the team we succeeded in distributing the work assignments of the A and B forklift drivers to other workstations on the basis of their efficiency analysis (Fig. 7).

- "Hypothesis test" for forklift driver - FLD / truck driver - TD (new situation)

Based on the simulations the team decided that the truck driver should take on additional tasks (changing of pallets, loading the truck and changing the battery on the forklift). To

Ničelna domneva <i>Null Hypothesis</i>	- Ho: μ voznik viličarja = μ voznik tovornjaka - Ho: μ forklift driver = μ truck driver			
Nasprotna domneva <i>Alternative Hypothesis</i>	- H ₁ : μ voznik viličarja \neq μ B voznik tovornjaka - H ₁ : μ forklift driver \neq μ B truck driver			
Dvo-vzorčni T-test za voznika viličarja proti vozniku tovornjaka / Two-sample T for FLD CH.				
	M	sr.vr. / Mean	StDev	SE sr.vr. / Mean
voznik viličarja	30	6,7870	0,0223	0,0041
FLD CH. PALLET				
voznik tovornjaka	30	6,8003	0,0243	0,0044
TD CH. PALLET				
Razlika / Difference = μ voznik viličarja / FLD CH. PALLET - μ voznik tovornjaka / TD CH. PALLET				
Ocena za razliko / Estimate for difference: -0,01333				
95% CI za razliko / for difference: (-0,02539; -0,00128)				
T-Test razlike / of difference = 0 (vs not =): T-vrednost / Value = -2.21 P-vrednost / Value = 0,031 DF = 57				

P < 0,05; Sprejmemo "Ničelno hipotezo"
P < 0.05; Fail to reject the Null Hypothesis



Sl. 7. Porazdelitev delovnih nalog voznikov viličarjev – odpremnikov A in B

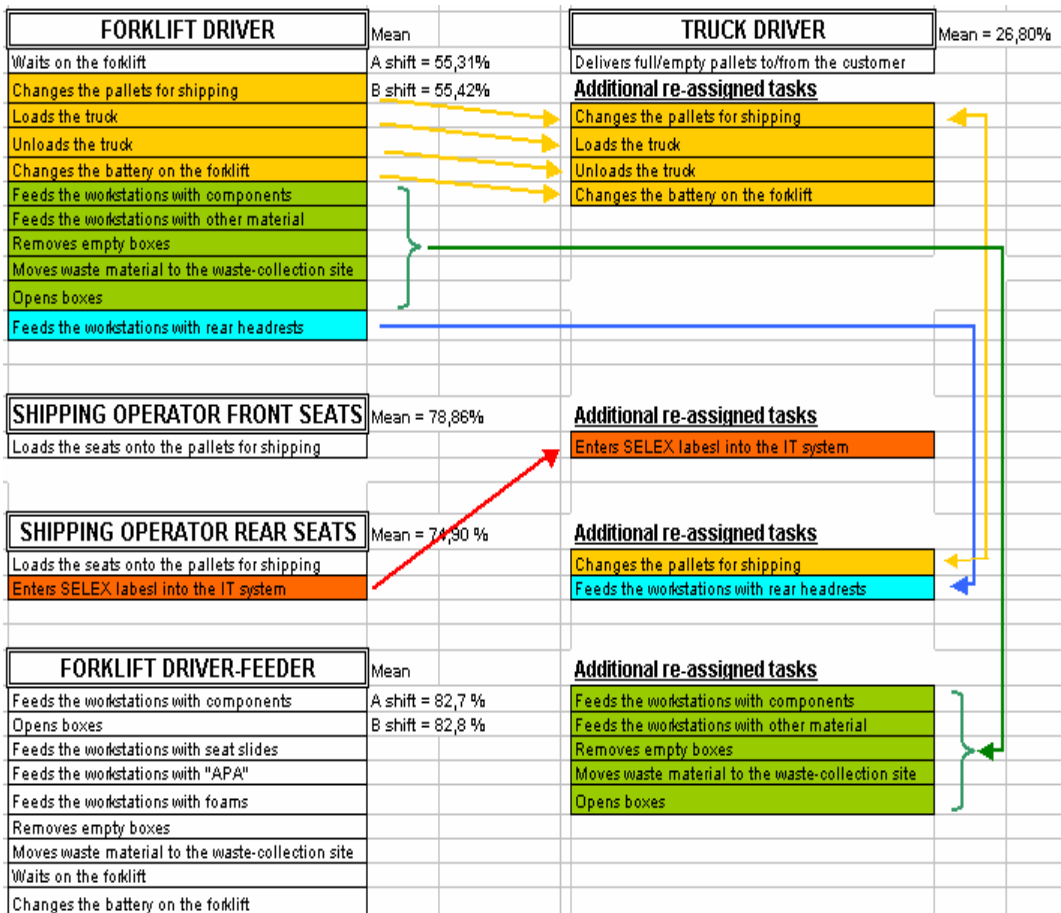
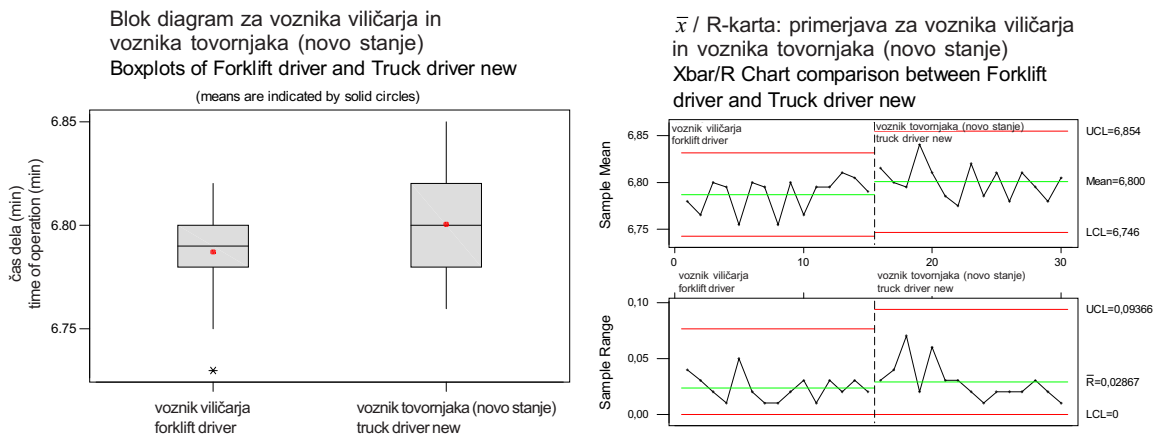


Fig. 7. Distribution of the work assignments of the A and B forklift drivers



Sl. 8. Blok diagram in \bar{x} / R-karta
 Fig. 8. Box Plots and Xbar/R Char

potrditev upravičenosti naše odločitve smo naredili nove meritve in izračune.

Blok diagram in \bar{x} / R-karta (sl. 8) kažeta, da voznik tovornjaka lahko prevzame nalogo zamenjave palet od voznika viličarja – odpremnika.

- Diagram zasedenosti delavcev v oddelku odpreme – novo stanje

Diagram na sliki 9 prikazuje povečanje zasedenosti delavcev v oddelku odpreme, ki je posledica prerazporeditve delovnih nalog zaradi ukinitve delovnega mesta enega voznika viličarja na izmeno.

statistically confirm the justification of our decision we made new measurements and calculations.

The box plots and the Xbar/R Chart (Fig. 8) show that the truck driver is able to take over the task of changing the pallets from the forklift driver.

- “Box Plots graph” for labour efficiency in the shipping area – new situation

The graph (Fig. 9) shows the increase in labour efficiency in the shipping area, which results from the re-distribution of work assignments due to the lay-off of one forklift driver per shift.

1.5 Faza - Nadziraj

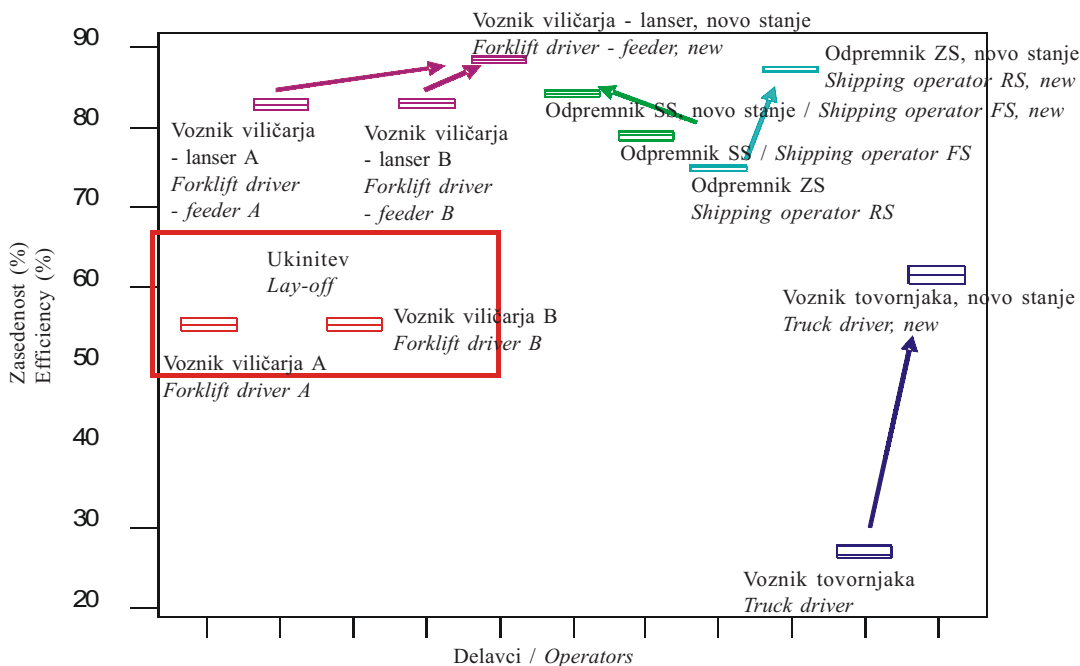
- “ \bar{x} / R-karta” za delavce v odpremi

V tej fazi smo preverili stabilnost novih postopkov in povečanje učinkovitosti, kar ponazarja uspeh projekta (sl. 10).

1.5 Control Phase

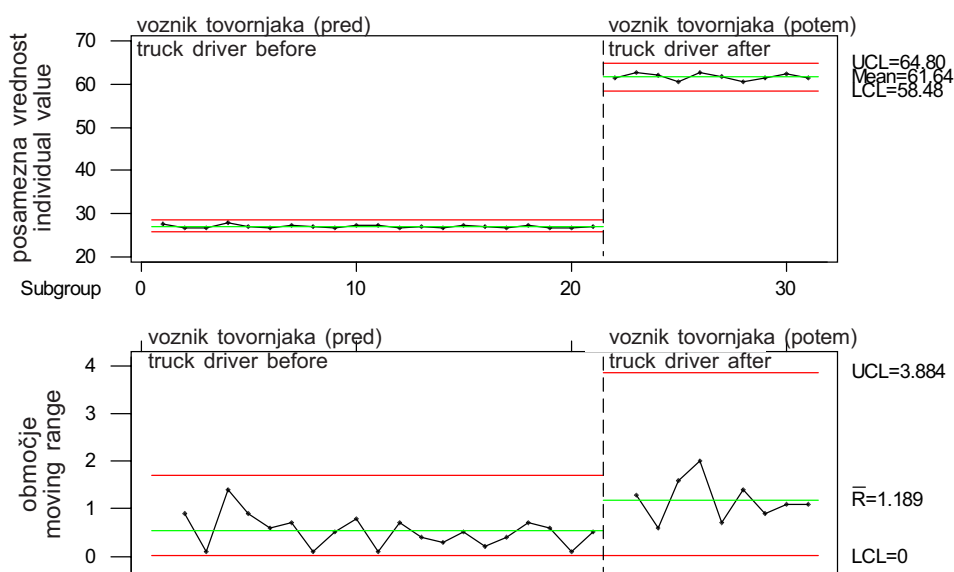
- “I and MR Charts” for shipping workers

These charts prove the stability of the new processes and the rise in efficiency, which demonstrates the success of the project (Fig. 10).



Sl. 9. Diagram zasedenosti za novo stanje v odpremi
 Fig. 9. Box plots graph for the new situation

\bar{x} in R-karta za voznika tovornjaka pred in po spremembi I and MR Chart for Truck driver before and after



Sl. 10. \bar{x} / R-karta voznika tovornjaka pred prerazporeditvijo nalog in po njej
Fig. 10. I and MR Chart for shipping workers

- Spremenjeni načrt nadzora

V tej sklepní fazi metodologije DRAIN je bil razvit načrt nadzora, da bi zagotovili konsistentnost procesov in izpolnitev zahtev odjemalcev.

- Modified Control Plan

In this final phase of the DMAIC methodology, a control plan was developed to ensure that the processes consistently meet our and the customer's requirements.

2 SKLEP

Postopek Šest sigm zahteva sistematičnost in konstruktivno delo celotne skupine. Cilj šest sigm je izboljšati organizacijsko učinkovitost kakor tudi uspešnost pri zadovoljevanju odjemalčevih potreb ter resnično oblikovanje ekonomskega blagostanja tako za odjemalca kakor dobavitelja. V analiziranem primeru je podjetje doseglo prihranke v znesku 36.000 \$ na leto.

2 CONCLUSION

Six Sigma requires a systematic approach and the constructive work of the whole team. The objective of Six Sigma is to improve an organisation's efficiency as well as its effectiveness in meeting the customer's needs, ultimately creating economic wealth for the customer and the provider. In the analysed case the company achieved savings of \$ 36,000 per year.

3 LITERATURA

3 REFERENCES

- [1] Breyfogle III, F. W., et al. (1999) Managing Six Sigma, *John Wiley & Sons, Inc.*, New York.
- [2] Fortenot, F, et al. (1994) Six Sigma in customer satisfaction, *Quality Progress*, No 12.
- [3] Pavletić, D., M. Soković (2002) Six Sigma: A complex quality Initiative, *J. of Mech. Eng.*, Vol. 48, No 3.
- [4] N.N.: 6σ Training MAIC, Johnson Controls, 2001.
- [5] N.N.: Interno šolanje za 6σ, TPV Johnson Controls, 2001, 2002, and 2003 (in Slovene).
- [6] Jurečič M., M. Soković (2003) Cost reduction in the shipping area in the company producing car seats, *Diploma thesis No. S-895*, Faculty of Mechanical Engineering, University of Ljubljana (in Slovene).
- [7] Kramar A., M. Jurečič M. and M. Soković (2003) Cost reduction in the shipping area using Six Sigma, *Proceedings of the 6th Int. Conf. on Management of Innovative Technologies - MIT 2003*, 13-14 October 2003, Piran, Slovenia, 267-274.

Naslova avtorjev: doc.dr. Mirko Soković
Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana
mirko.sokovic@fs.uni-lj.si

Miran Jurečič
Andrej Kramar
TPV Johnson Controls d.o.o.
8000 Novo mesto

Authors' Addresses: Doc.Dr. Mirko Soković
University of Ljubljana
Faculty of Mechanical Eng.
Aškerčeva 6
SI-1000 Ljubljana, Slovenia
mirko.sokovic@fs.uni-lj.si

Andrej Kramar
Miran Jurečič
TPV Johnson Controls Ltd.
SI-8000 Novo mesto, Slovenia

Prejeto: 8.1.2004
Received:

Sprejeto: 8.4.2004
Accepted:

Odrpto za diskusijo: 1 leto
Open for discussion: 1 year

Raziskave postopka neposrednega laserskega sintranja

Investigation of Direct Metal Laser Sintering Process

Slavko Dolinšek

V prispevku so prikazane značilnosti neposrednega laserskega postopka sintranja (NLPS) in nekatere praktične uporabe v slovenskem orodjarstvu. Raziskave se nanašajo na mikrostrukturne in morfološke analize kovinskih prahov ter ustrezne kemično, mikrostrukturno in mehansko karakterizacijo izdelkov NLPS. Namen raziskave je poiskati ustrezno površinsko obdelavo in prevleke za izboljšanje toplotnih in obrabnih karakteristik lasersko sintranih izdelkov.

© 2004 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: sintranje lasersko, obdelave površin, prevleke, karakteristike obrabe)

This paper presents some characteristics of the direct metal laser sintering (DMLS) process and applications of this technology in the Slovenian tool-making industry. Research is focused on micro-structural and morphological analyses of the metal powders and subsequent chemical, micro-structural and mechanical characterizations of the DMLS products, with the aim to find the proper surface finishing and coatings to improve the thermal and wear characteristics of the laser sintered products.

© 2004 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: laser sintering (DMLS), surface finishing, coatings, wear characteristics)

0 UVOD

Poleg stereolitografije je lasersko sintranje kovinskih prahov drugi postopek tehnologij hitrega prototipiranja, ki je postal tržno uspešen v začetku devetdesetih let. Od začetkov, ko so bili kot velik uspeh predstavljeni lasersko sintrani izdelki z velikimi izmernimi odstopanji, je bil narejen velik razvoj, tako na materialih kakor na sami laserski tehnologiji [1]. Danes je lasersko sintranje vsekakor eden od najnaprednejših postopkov za hitro izdelavo prototipov, hitro izdelavo orodij in hitro proizvodnjo. Uporablja se za sintranje plastičnih in kovinskih materialov ter izdelavo livarskih modelov iz peska. Eden od zadnjih izčrpnih pregledov teh tehnologij skupaj s predstavitvijo bodočega razvoja je bil narejen v okviru CIRP-a [2].

Za sintranje kovinskih prahov sta tržno trenutno na voljo dva sistema. Podjetje DTM (www.3dsystems.com) je razvilo dvostopenjski postopek. Njegov sistem deluje na podlagi pretaljevanja veziva, ki pri nizkih temperaturah združuje kovinski prah v želeno obliko (SLS - Selektivno lasersko sintranje). Z dodatno toplotno obdelavo izžgejo pri visokih temperaturah vezivo in

0 INTRODUCTION

Following on from stereolithography, the laser-sintering rapid-prototyping process became commercially available at the beginning of the 1990s. Initially, some parts with poor dimensional accuracies were presented as being a success; since then, however much has been developed in terms of the material and also in the laser technology [1]. Nowadays, laser sintering is one of the most appropriate processes for RP (rapid prototyping), RT (rapid tooling), and RM (rapid manufacturing) purposes; it is used for the sintering of three types of material: plastic, metal and sand. One of the most comprehensive reviews of these technologies together with the future perspectives has been recently presented by CIRP [2].

For sintering metal powders there are two commercial systems available. 3D systems (www.3dsystems.com) developed a two-stage process, a system based on melting a binder at low temperatures that bound a metallic powder in the desired shape (Selective laser sintering – SLS). During additional post processing the binder is burnt out in a high temperatures and the metal powder is sintered to form a solid metal product, followed by infiltration with bronze

povežejo prah v trdni kovinski izdelek, temu sledi še vnos bronca ali bakra. Glavna pomanjkljivost tega postopka je v večjih izmernih odstopanjih izdelka zaradi potrebne toplotne dodelave. V podjetju Electrical Optic Systems (EOS - www.eos-gmbh.de) pa so razvili enostopenjski postopek oziroma različne stroje za sintranje plastike, peska in kovinskih prahov. Pri sintranju kovinskih prahov, ki se imenuje neposredno lasersko sintranje kovinskih prahov, laserski žarek velike gostote neposredno tali kovinski prah (oziroma eno od njegovih komponent) in s tem neposredno oblikuje izdelek brez potrebne poznejše toplotne obdelave (sintranje s pomočjo kapljevite faze).

Najnovejši stroj, EOSINT M250 Extended, ki se že uspešno raziskovalno in tržno uporablja za razvojno podporo lokalni in slovenski industriji, je iz zadnje generacije nemškega proizvajalca EOS. V prispevku so prikazane nekatere možnosti za uporabo postopka NLPS, praktične industrijske izkušnje ter raziskave površinskih obdelav in prevlek za izboljšanje obrabnih in toplotnih lastnosti sintranih izdelkov.

1 NLPS – NEKATERE ZNAČILNOSTI POSTOPKA

Postopek neposrednega laserskega sintranja kovinskih prahov se lahko uporablja za dve vrsti uporab: izdelavo lasersko sintranih vložkov orodij za brizganje plastike in litje barvnih kovin ter neposredno proizvodnjo kovinskih komponent kot končnih izdelkov. Zapletene geometrične oblike izdelkov, ki jih je težko ali celo nemogoče izdelati z običajnimi metodami (npr. zahtevne notranje kanale) je za potrebe delujočih testiranj (npr. za avtomobilsko, elektronsko ali industrijo gospodinjstkih naprav) že mogoče izdelati s postopki laserskega sintranja. Z izboljšavami mehanskih lastnosti sintrancev in z zadovoljivimi natančnostmi lasersko sintranih delov so se tudi odprle popolnoma nove možnosti za prehod na nove tehnologije hitre proizvodnje [3].

Pri NLPS laserski žarek tali sestavine praškastega materiala, ki se ga dodaja v tankih plasteh (približno 0,02 mm). Po vsakem prehodu po površini nanese plasti, laserski žarek oblikuje dvorazsežno obliko zelenega izdelka. S premikanjem dvižne posode in ponovnim dodajanjem plasti materiala pa dosežemo trirazsežno obliko izdelka (sl. 1).

Nekatere značilnosti NLPS:

- izdelava po načelu dodajanja plasti materiala
- lasersko sintranje posameznih prečnih površin
- izdelava blizu končnih izmer, najmanjši skrčki
- popolnoma avtomatizirano, krmiljenje prek osebnega računalnika
- mešanica kovinskih prahov, brez polimernih veziv
- brez visoko temperaturne dodatne obdelave
- hitra in neposredna izdelava komponent in vložkov orodij neposredno iz podatkov RPN
- optično snemanje in laser 240 W CO₂

or copper. The main disadvantage of this process is the poor dimensional accuracies achieved as a result of the thermal post processing; however, an advantage is that only one machine is required used for a variety of powder materials. The second option - a single stage process comes - from Electrical Optic System (EOS - www.eos-gmbh.de), which has developed different machines for sintering plastic, sand and metal powders. In the process of sintering metal powders (Direct Metal Laser Sintering - DMLS), a laser beam of high intensity directly melts a metal powder (or one of its components), thus the parts are produced without any subsequent thermal treatment (liquid phase sintering).

The latest generation of this type of machine, the EOSINT M 250 Extended, is already being successfully employed in commercial and research applications as development support for local and Slovenian industry. This paper presents some of the possibilities of the DMLS process, practical industrial experience and research into proper surface finishing and coatings for improvements to the thermal and wear characteristic of the sintered products.

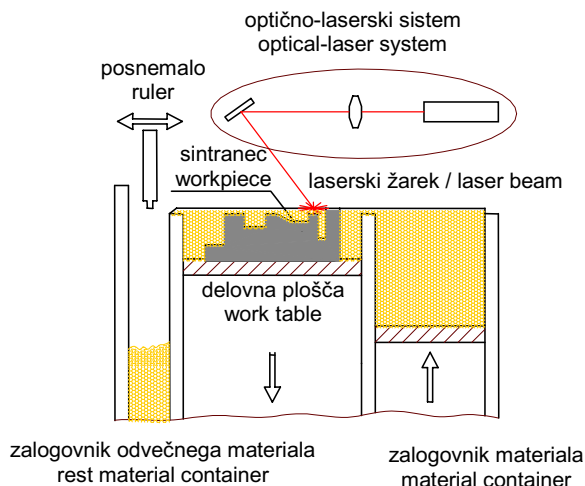
1 DMLS – SOME CHARACTERISTICS OF THE PROCESS

The direct laser sintering of metal powders can be used for two main applications: the direct laser sintering of tool inserts for the injection moulding of plastics and the casting of aluminium, and the direct production of steel component as final products. Geometries that are difficult or even impossible to produce by conventional methods – examples include complicated internal channels - can now be used for functional testing (for example, the automotive, electronics and household-appliance industries). The improved mechanical properties and accuracy of laser-sintered parts have also opened new possibilities for transferring RT technology to rapid manufacturing [3].

In the DMLS process a laser beam is used to melt the ingredients of metal powder, which is added as a thin layer (approximately 0.02 mm). After each pass over the surface layer the laser beam creates a two-dimensional shape of the desired product. With the movement of the powder container and the addition of the next layer of powder a three-dimensional form of the product can be produced (Fig. 1).

Some of the main characteristics of DMLS:

- layered, material- additive manufacturing
- laser sintering of a cross-sectional area
- net-shape process, minimal shrinkage
- fully automatic, PC-controlled process
- metal powder mix, no polymer binders
- no high-temperature post processing
- rapid and direct manufacturing of metal components and tool inserts from CAD data
- scanning optics and 240 CO₂ laser



Sl. 1. Načelo laserskega sintranja kovinski prahov
Fig. 1. The principle of laser sintering metal powder

Izdelki, ki jih je mogoče izdelati s tem strojem, so lahko do velikosti 250X250X185 mm, zato je treba večja orodja izdelati po delih in jih kasneje sestaviti. Stroj neposredno uporablja model v obliki ».stl« (narejen v kateremkoli programu RPN), ustrezna programska podpora (Magic proizvajalca Materialise) pa ga spremeni v obliko ».sli«. Model je s tem razrezan na posamezne sloje za dvorazsežno krmiljenje laserskega žarka; s tem ni potrebnega dodatnega programiranja ŠK strojev (znatni prihranki na času izdelave orodja [4]).

2 PRAHOVI ZA UPORABO NLPS

Trenutno se za NLPS največ uporabljata dva različna materiala: DirectMetal - DM20 (20 mm prah) temelji na bronu in je primeren za vložke orodij za brizganje plastičnih mas do 10.000 kosov in delujoče prototipe), DirectSteel - DS20 (20 mm prah) pa temelji na jeklu in je primeren je za vložke orodij za brizganje plastičnih mas do 100.000 kosov, tlačno litje barvnih kovin in zlitin do 1.000 odlitkov ter delujoče kovinske prototipe). Nekatere najpomembnejše značilnosti sintranih izdelkov iz teh materialov so prikazane v preglednici 1 [5].

Izbira prahov je odvisna od izdelovalnih zahtev za orodja (ali izdelke), saj vrsta prahu značilno vpliva na stroške izdelave sintrancev. Čas sintranja ni odvisen le od velikosti izdelka, definirajo ga tudi hitrost sintranja (med 2 in 15 mm³/s), velikost in zapletenost oblik izdelka ter zrnatost uporabljenega prahu.

Ugotovili smo, da tudi pri uporabi najnovejših materialov obstajajo določeni problemi, ki posledično omejujejo praktično uporabo sintranih izdelkov (manjša temperaturna obstojnost, slabše mehanske lastnosti orodij, prevelike hrapavosti površin, premajhna obrabna odpornost, pokanje sintrancev na prehodih in zaokrožitvah itn.). Za boljše

Parts can be produced with maximum dimensions of 250mm X 250mm X 185mm; tools with bigger dimensions need to be produced separately and assembled. The machine can use models made in ».stl« format (any commercially available software); the software called Magic, from Materialise, transforms a model into the ».sli« format. In this case a model is cut into layers for the 2-D control of the laser beam; this means that an additional NC programme for machine tools is not required (significant time and cost savings in the production of the tools [4]).

2 POWDERS FOR DMLS APPLICATIONS

For DMLS applications two different powders are recently used: DirectMetal - DM 20 (grain size 20 μm) is based on bronze (for tooling inserts for injection moulding up to 10,000 pieces and for functional prototypes), and DirecSteel - DS 20 (grain size 20 μm) is based on steel (for tooling inserts injection moulding up to 100,000 pieces, aluminium casting up to 1,000 castings and for functional metal prototypes). Some of the most important characteristics of the sintered parts are presented in Table 1 [5].

The choice of the powder depends on the manufacturing demands of the tools (products), it significantly influences the cost of the laser-sintered part. The sintering time is not defined only by the size of the part but also by the sintering speeds (between 2 and 15 mm³/s), which vary depending on the complexity of the product's shape and the powder granulation.

However, it has been found that even the use of these advanced materials some difficulties related to the practical applications of sintered products (for example, the lower temperature resistance and hardness of the tools, the higher surface roughness, the low wear resistance, the cracking of the sintered parts at the edges and rounded corners, etc.),

Preglednica 1. Značilnosti izdelkov DMLS

Table 1. Some of the characteristics of the DMLS parts

<i>Značilnosti / Characteristic</i>	<i>DM 20</i>	<i>DS 20</i>
dosegljiva izmerna natančnost v μm attainable accuracy of the part (μm)	± 50	± 50
najmanjša debelina stene v mm minimum thickness of the wall (mm)	0,6	0,7
poroznost strukture v min % porosity of the part (min %)	8	2
natezna trdnost v MPa tensile strength (MPa)	400	600
trdota v HB hardness (HB)	110	220
hrapavost površine Ra v μm surface roughness Ra (μm)	9	10
hrapavost po udarjanju (peskanju) Ra v μm roughness after shot peening Ra (μm)	3	4
hrapavost po poliranju Rz v μm roughness after polishing Rz (μm)	< 1 μm	
koeficient toplotne razteznosti v $10^{-6}/\text{K}$ coefficient of thermal extension ($10^{-6}/\text{K}$)	18	9
toplotna prevodnost v W/mK pri 25 $^{\circ}\text{C}$ thermal conductivity (W/mK at 25 $^{\circ}\text{C}$)	25	13
najvišja delovna temperatura v $^{\circ}\text{C}$ maximum working temperature ($^{\circ}\text{C}$)	400	800

razumevanje postopka sintranja in za uspešno uvajanje te tehnologije je bilo zato treba narediti določene raziskave in analize, ki so se nanašale na značilnosti uporabljenih prahov ter izdelanih sintranih plasti. Metalurške raziskave so bile narejene v sodelovanju z IMT, NTF Univerze v Ljubljani in podjetjem TCK. Najprej smo opredelili največ uporabljene prahove (DM 20 in DS 20). Vzorci so bili pripravljene z metodami običajne metalografije, za analizo pa smo uporabili optično in elektronsko mikroskopijo (natančna poročila raziskav so v [6] do [8]).

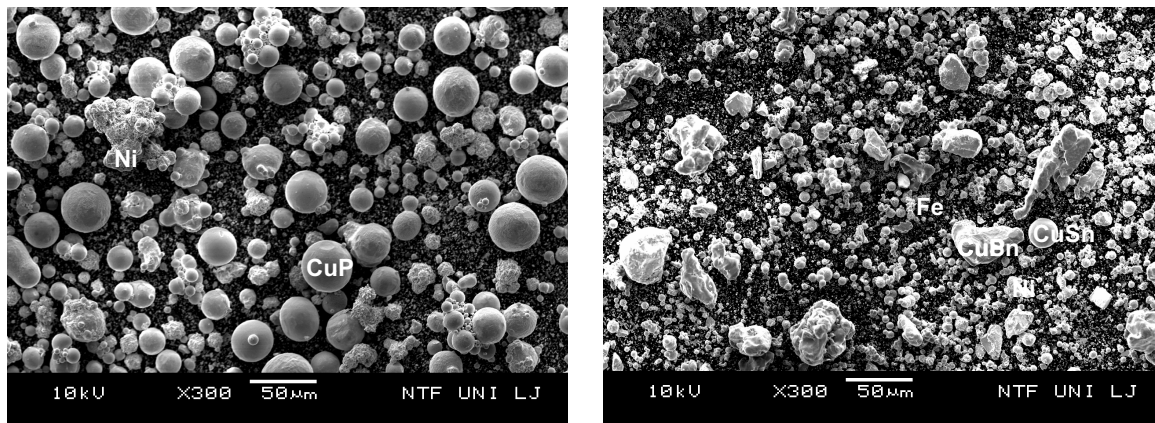
Ugotovili smo, da je prašna mešanica materiala DM 20 sestavljena iz dveh komponent; Cu-P delci prahu so velikosti 10 do 80 μm , delci Ni pa velikosti 20 do 30 μm (sl. 2a). Oblika prahov je bila pregledana z vrstičnim elektronskim mikroskopom VEM, sestava prašnih mešanic pa določena s točkovno analizo EDS (Cu-P delec vsebuje 88,7 mas % Cu in 9,8 mas % P). To pomeni, da je ta material primerljiv s fosforjevim bronom (prah predzlitine CuP10). V primeru materiala DM torej uporabljamo prašno mešanico, sestavljeno iz Cu-P in tehnično čiste kovine Ni.

Prašna mešanica DS 20 je sestavljena iz štirih komponent (sl. 2b): prašnih delcev nepravilnih oblik Fe in Cu-P, krogličnih delcev Cu-Sn ter manjših skupkov delcev Ni. Deležna analiza EDS je pokazala, da Cu-Sn delec vsebuje 85,6 mas % Cu; 13,5 mas % Sn. To pomeni, da je uporabljen standarden kositrov bron CuSn10. V primeru materiala DS torej uporabljamo prašno mešanico Cu-Sn ter Cu-P z dodatkom prahu čistega Fe in Ni.

still exist. For a comprehensive understanding of the sintering process and for the successful introduction of this technology, a number of investigations related to the characteristics of the powders and the individual sintered layers were performed. IMT Ljubljana, NTF University of Ljubljana and the TCK COMPANY supported the metallurgical research. As a first step the main powders were characterised (DM 20 and DS 20). Samples were prepared using classical metallography and for analysis we used optical and electron microscopy (for details see reports [6] to [8]).

We found that the DM 20 powder mixture consists of two components: Cu-P powder particles with size 10 to 80 μm , and Ni particles with size 20 to 30 μm (Fig. 2a). The shape of the powder particles was examined using SEM analysis and the composition was determined with an EDS analysis. The Cu-P particles consist of 88.7 mass % of Cu and 9.8 mass % of P; this material can be compared with phosphorus bronze (powder of pre-alloy CuP10). In the case of the DM 20 powder we are effectively using a powder mixture of Cu-P and technically pure Ni.

The powder mixture DS 20 consists of four components (Fig. 2b): irregular shapes of Fe and Cu-P powder particles, spherical particles of Cu-Sn, and smaller Ni particles. A quantitative analysis of the EDS spectra revealed that the Cu-Sn particles consist of 85.6 mass % of Cu and 13.5 mass % of Sn; this indicates that a standard tin bronze is used. In the case of DS 20 we are effectively using a powder mixture of Cu-Sn, Cu-P and technically pure Fe and Ni.



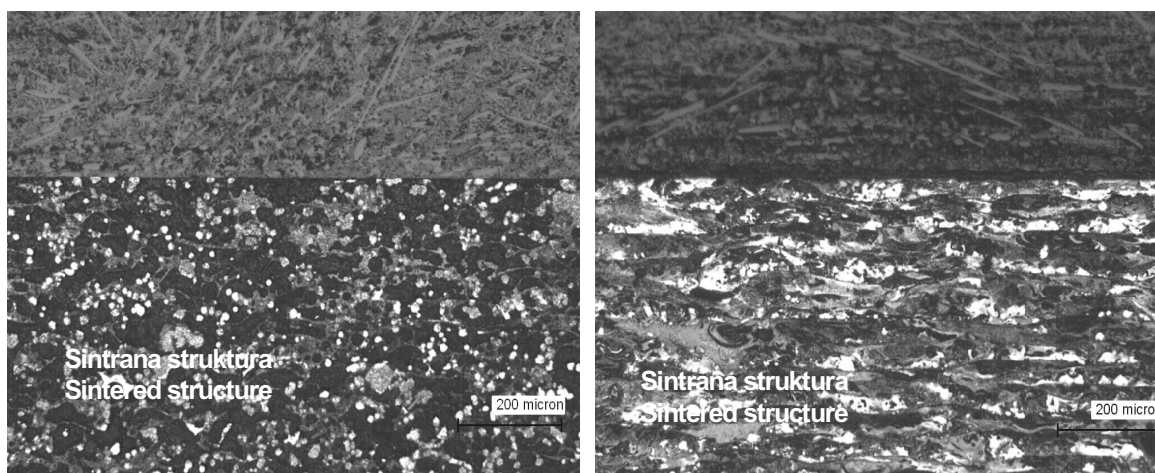
a) b)
 Sl. 2. Posnetek VEM prašnih mešanic; a) DM 20 in b) DS 20
 Fig. 2. SEM photograph of powder mixture; a) DM 20, b) DS 20

V splošnem je sintranje definirano kot postopek, pri katerem pride do zmanjšanja velikosti in števila por med osnovnimi delci ob hkratnem krčenju komponent (delcev kovinskega ali keramičnega prahu), le to pa je združeno z rastjo kristalnih zrn in močno vezavo med sosednjimi delci (povzročeno z visokimi tlaki in temperaturami). Lasersko sintranje (NLPS) je postopek posebnega zgoščevanja, pri katerem z laserskim žarkom pretalimo določene sestavine prašne mešanice v skoraj kompaktno zlitino. Zaradi delovanja energije laserja najprej začnejo prašni delci med sabo delati vezi, s tem začnejo rasti, hkrati pa se povečuje tudi kompaktnost medsebojnih povezav. To se dogaja med delci v posamezni plasti prahu, pa tudi med različnimi plastmi. Debelina prve plasti in tudi naslednjih je enaka zrnatosti uporabljene prašne mešanice (v našem primeru je povprečna velikost približno 20 µm, sl. 3).

Osnova sintrane materiala DM 20 je torej Cu-Ni zlitina, zlitinski dodatek je P, ki med postopkom

Generally speaking, sintering is defined as a process involving a reduction in the size and the number of pores between particles, and the simultaneous contraction of the components (metal powder particles or ceramic powder), together with the growth of the crystal grains and strong binding between neighbouring particles (usually caused by high pressures and temperatures). Laser sintering (DMLS) can be described as a special process of condensation where a laser beam melts ingredients of powder mixture into a compact alloy (liquid phase sintering). Because of the laser's energy the powder particles start to interact with the formation of mutual bindings, the powder particles then start to grow and the compactness of the linkages is intensified. This process occurs between particles in a particular layer and also between the layers. The thickness of the first and the next layer is equal to the grain size of the powder (in our case the average grain size is 20 µm, see Fig. 3)

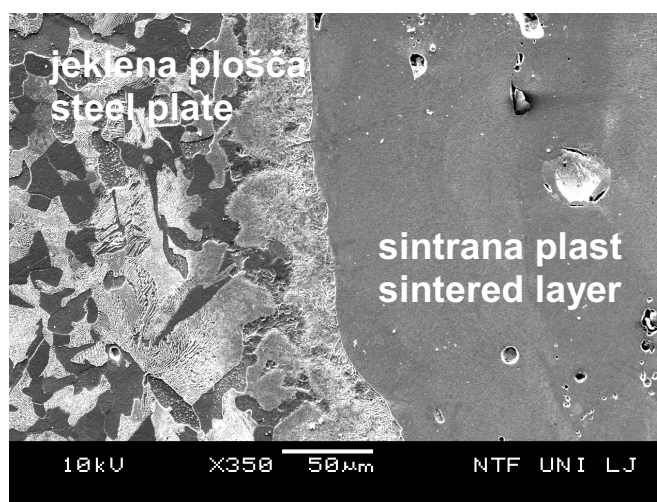
The basis of the DM 20 sintered material is a Cu-Ni alloy, during the melting process P - as the



a) b)
 Sl. 3. Plastna mikrostruktura sintranih materialov; a) DM 20 in b) DS 20
 Fig 3. Layered structure of laser-sintered material; a) DM 20, b) DS 20

taljenja deluje kot dezoksidant, sočasno tvori tudi lahko taljive eutektike. S tem je omogočeno sintranje v prisotnosti tekoče faze. Hkrati P kot zlitinski element močno utrjuje osnovno Cu-Ni zlitino, kar daje razmeroma velike trdote strukturi dobljeni z NLPS. Osnova sintranega materiala DS 20 je sistem Fe-Ni-Cu, zlitinska dodatka P in Sn omogočata nastanek nizkotaljivih faz, P pa nadomešča C in daje strukturi ustrezno trdoto. Izdelava orodij DMLS se začne na osnovni plošči (material C45 z 0,45 m% C, mikrostruktura je iz lamelnarnega perlita in ferita), na katero laser natopi prvo plast prašnega materiala. Raziskave so pokazale, da sta prva plast in podložna plošča spojeni brez napak (sl. 4).

alloying element - acts as a de-oxidant and also forms easily-melting eutectics. This means that sintering occurs in the presence of a liquid phase, and simultaneously, P also strengthens the basic Cu-Ni alloy in such a way that a relatively high hardness of the sintered material is produced. The basis of the DS 20 sintered material is Fe-Ni-Cu, P and Sn - as alloying elements - form easily-melting phases, P is a substitute for C and also gives the structure an appropriate hardness. The sintering of DMLS tools starts from a basic plate (material C45 with 0.45 mass % C, the microstructure is lamellar perlite and ferrite), on which the laser melts a first layer of powder material. Our investigations showed that the first layer and the basic plate are joined without defects (Fig. 4).



Sl. 4. Staljeni spoj med osnovno jekleno ploščo in lasersko sintranim prahom
Fig. 4. Melted connection between the basic steel plate and the laser-sintered powder

3 POVRŠINSKA OBDELAVA ZA IZBOLJŠANJE OBRABNE ODPORNOSTI SINTRANIH DELOV

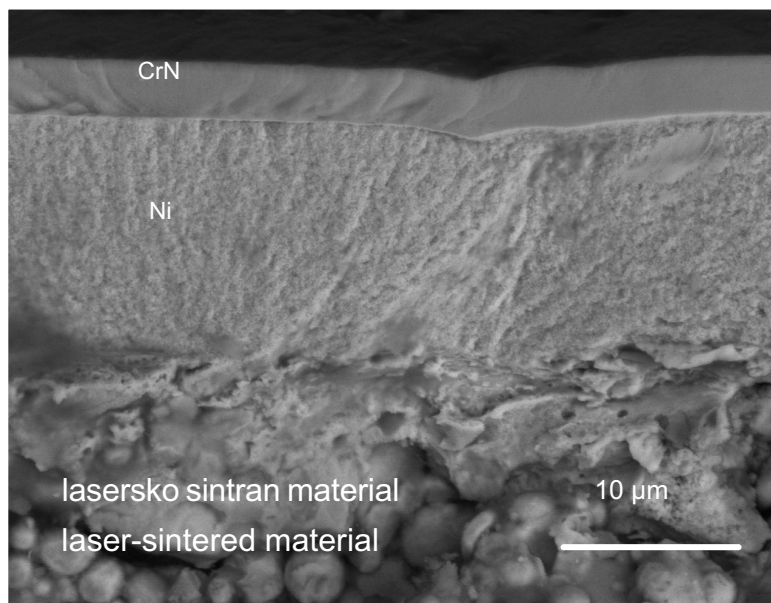
Za doseganje ustrezne hrapavosti površin in izboljšave mehanskih lastnosti je potrebno po sintranju sintrance še dodatno obdelati. Dodatna obdelava vložkov orodij vključuje udarjanje (peskanje) z jeklenimi kroglicami za povečanje površinske trdote in udarjanje s keramičnimi kroglicami znotraj ostrih prehodov zaradi sproščanja notranjih napetosti. Ročno brušenje in poliranje je potrebno zaradi izboljšanja kakovosti površine, posebna pozornost pa je namenjena navpičnim stenam in kanalom. Sledi še drugo udarjanje s keramičnimi materiali za sproščanje površinskih tlačnih napetosti in za izboljšanje učinkovitosti hladilnih plasti.

Značilnosti laserskih sintrancev pa je mogoče izrazito izboljšati prek nanosa trdih površinskih prevlek. Trde prevleke v splošnem izboljšajo obrabne in toplotne značilnosti, vendar doslej ni bilo na voljo ustreznih priporočil, ki bi se nanašala na izbiro ustreznih prevlek. Zadnje

3 SURFACE TREATMENTS FOR IMPROVING THE WEAR AND THERMAL RESISTANCE OF SINTERED PARTS

After the sintering process some additional post processing needs to be performed on the sintered parts in order to achieve an adequate surface roughness and improvements to the hardness. Post processing of the inserts includes shot peening with steel shot to increasing the surface hardness and peening inside sharp corners with fine ceramic media for stress relieving. Manual grinding and polishing is performed to improve the surface quality with special attention to vertical walls and slots; and consequently a second shot peening with fine ceramic media to induce compressive stress to the surface and to improve the behaviour of the lubricant film.

The characteristics of the laser-sintered tool inserts can be significantly improved with the deposition of hard surface coatings. Hard surface coatings tend to improve the wear and thermal characteristics of the sintered inserts. However, so far there are no recommendations related to the choice of appropriate



Sl. 5. Nanos plasti trdega Ni in prevleke CrN na lasersko sintrano orodje
 Fig. 5. Deposited layers of Ni and CrN on the laser-sintered tool

raziskave prevlek so zato usmerjene na izboljšave obstojnosti pri uporabah sintranih vložkov orodij za brizganje abrazivnih materialov in materialov, pri katerih so prisotne velike obremenitve [9]. V sodelovanju z Inštitutom Jožef Stefan, centrom za trde prevleke so že doseženi nekateri uspešni rezultati. Prevleka iz trdega kemičnega niklja zelo dobro zapolni različne razpoke in pore, ki nastanejo pri sintranju, hkrati pa tudi izboljša hrapavost površine orodja. Z nanosom dodatne plasti CrN (za tlačno litje aluminija) ali TiN (za brizganje plastičnih izdelkov) pa se poleg toplotne odpornosti izrazito poveča tudi površinska trdota vložkov orodij (sl. 5).

4 PRAKTIČNI PRIMER – SINTRANO ORODJE ZA TLAČNO LITJE ALUMINIJA

Tlačno litje aluminija je zelo pomemben postopek pri masovni proizvodnji komponent skoraj končnih izmer, še vedno je eden od najpomembnejših postopkov za izdelavo avtomobilskih delov v primerih, pri katerih so večje obremenitve. Postopek je stroškovno sprejemljiv le za litje zadostnih količin izdelkov, zaradi zapletenih oblik in zahtev po ustrezni dobi trajanja so zato potrebna velika investicijska vlaganja v orodja. Pri teh tehnologijah se zato od orodjarjev vse bolj zahtevajo hitre in cenovno sprejemljive rešitve. Za veliko uporab je že dovolj, da so orodja primerna za litje do 1000 odlitkov, za tehnične prototipe celo 100 odlitkov. Vendar je za podporo hitri izdelavi orodij za tlačno litje aluminija in podobnih barvnih kovin trenutno na voljo le nekaj rešitev, saj se v tem primeru postavljajo izredne zahteve glede prenašanja visokih temperatur in tlakov.

coatings. Some recent investigations on the deposition of different coatings have focused on improvements to the tool life and the application of sintered parts for moulding abrasive materials and materials with high loads [9]. Some promising results have already been achieved together with the IJS, Center for Hard Coatings. It was found out that with the deposition of hard nickel it is possible to fill the cavities and cracks of the sintered material and also to improve the surface roughness of the tool. With the additional deposition of a CrN layer (for aluminium casting purposes) or TiN (for the injection moulding of abrasive plastics) in addition to improvements in the thermal resistance, a high surface hardness can also be achieved (Fig. 5).

4 PRACTICAL EXAMPLE – SINTERED TOOL FOR PRESSURE DIE-CASTING OF ALUMINIUM

Aluminium die-casting is an important technique for the mass production of near-net-shape components and is still the major automotive casting route for lightweight components used in stressed areas. The high-pressure die-casting process produces the lowest cost-per-part for the castings but requires the highest level of capital investment due to the complexity and longevity of the tooling. Therefore, high-pressure die-casting toolmakers urgently require rapid tooling solutions that will give them a faster return on a tool. For such a tools as few as 1000 castings are required for short-run tooling and as few as 100 castings for technical prototypes. For pressure die-casting applications only a few rapid tooling solutions exist due to the high temperatures and pressures that are involved.

Značilen vzrok za poškodbe orodij pri tlačnem litju aluminija so toplotne obremenitve. Razlike temperatur med litim izdelkom in talino znašajo tudi čez 500°C, temperaturni gradient je še posebej velik v bližini različnih kavitacij in prehodov. Talina, ki z visokim pritiskom (tudi čez 800 bar), vstopa v orodje, povzroča tudi velike mehanske obremenitve oziroma napetosti v orodjih. To pomeni, da želimo sintrane vložke uporabljati v najbolj kritičnih območjih orodij, kjer so termične in mehanske obremenitve največje. Za doseganje uspešnih rezultatov je pri uporabi NLPS vložkov za tlačno litje treba zato upoštevati nekatere omejitve in opozorila. Te se nanašajo na praškasti material, obliko izdelkov in orodij, sam postopek sintranja ter poznejšo obdelavo vložkov orodij [10].

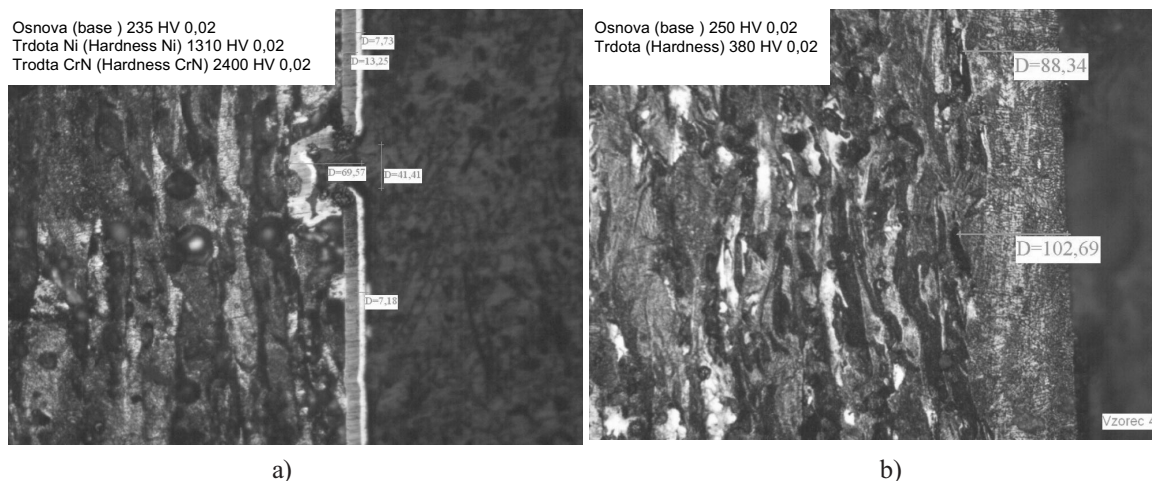
Glede na vse te znane začetne pogoje so bili za testiranje tlačnega litja aluminija v industrijskem okolju oblikovani in izdelani štirje namenski vložki, ki so bili tudi ustrezno obdelani in površinsko zaščiteni (material AlSi9Cu3, temperatura taline 690°C, tlak 780 bar, hitrost taline na vstopu v orodje 50 m/s).

Na sliki 6 sta prikazani dve mikrofotografiji strukture vložkov. Leva slika kaže problem, ki se pojavi zaradi poroznosti strukture sintranega materiala in posledično slabo oprijemljivost prevleke. S tem ne moremo zagotoviti vložkom vseh prednosti, ki bi jih lahko dajale prevleke. Desna fotografija kaže dodatno staljeno zunanjo plast vložkov (v zadnji sintrani plasti debeline 0,94 mm je zataljena še plast debeline 0,006 mm, hitrost sintranja laserja je tu 50 mm/s). S tem se zmanjša poroznost površine sintranca in izboljšajo površinske značilnosti vložka; rezultati litja (število kosov) so v tem primeru povsem enaki kakor pri uporabi prevleke (v obeh primerih narejenih več ko 250 sprejemljivih kosov). Raziskave so torej potrdile, da je mogoče odliti dovolj kosov, če je izdelek ustrezno oblikovan in če se pri sintranju uporablja postopek zunanje zataljenega sloja in ustrezne prevleke.

Heat loads often cause failures in die-casting tooling. In die casting the temperature difference between the molten metal and the mould can be over 500°C, and the temperature gradient is highest in the mould cavity areas. Molten material with a high pressure of up to 800 bars also induces high mechanical stresses in the tool inserts, particularly at the entrance of the mould flow. This means that sintered inserts need to be used in the most critical areas where the most demanding thermal and pressure conditions exist. Therefore, when using DMLS inserts in die-casting tooling applications some precautions related to the powder material, the product and tool design, and the sintering and post-processing methods should be taken to ensure successful results (see also [10]).

Based on all known preconditions a special testing part was designed and prepared according to a variety of post-processing methods for pressure die-casting in an industrial environment (material, AlSi9Cu3; temperature of the molten material, 690°C; pressure, 780 bar; speed at the entrance of the mould, 50 m/s).

As an example Fig. 6 shows two micrographs of the used inserts. The left-hand micrograph (Fig. 6a) shows a problem caused by the porosity of the sintered material and the subsequent poor deposition of the coatings. As a consequence the coatings cannot show all their potential for die-casting applications. With the application of a melted up-skin layer (into the last layer thickness of 0.94 mm an additional layer thickness of 0.006 mm with a laser speed of 50 mm/s is melted), the surface porosity can be reduced and the surface characteristics improved (Fig. 6b). Inserts have shown almost the same characteristics as coated version (more than 250 parts produced with both inserts). Observations therefore confirmed that more parts can be produced with an optimum design of the part and using an up-skin approach and subsequent coatings.



Sl. 6. Mikrofotografije prevlečenega vložka orodja; a) prevleka Ni in CrN, b) pretaljena vrhnja plast
Fig. 6. Micrographs of the inserts; a) coatings with Ni in CrN, b) melted up-skin.

5 SKLEP

V okviru sodelovanja med slovenskimi univerzami in industrijo je eden od najpomembnejših postavljenih ciljev tudi oblikovanje tehnoloških inovacij in prenos novih tehnologij v krajevno industrijo. Oprema za NLPS, ki je bila septembra leta 2002 vgrajena v okviru »Regionalnega tehnološkega centra Zasavje«, je slovenski industriji odprla dobre možnosti za uvajanje te tehnologije, še posebej se to nanaša na orodjarje (nekatero uspešne uporabe so že bile predstavljene v npr. [11]).

Obstojnost lasersko sintranih vložkov je že do 100.000 brizganih delov iz plastičnih mas, vendar je uspešnost uporabe odvisna od različnih vplivnih dejavnikov (npr. abrazivni vključki v brizganem materialu, to so polnila s steklenimi vlakni, ki povečujejo obrabo vložkov orodij na vogalih in površinah, kjer je močan pretok taline). Za tlačno litje aluminija ali podobnih neželeznih kovin pa so sintrana orodja trenutno primerna le za namene testiranj (pod 1.000 litih kosov). Vendar najnovejši razvoj prašnih materialov, še posebej pa uporaba trdih prevlek, daje vse boljše rezultate, kar omogoča nadaljnji razvoj v smeri obrabnih in temperaturnih izboljšav značilnosti sintranih vložkov orodij.

Po letu dni od vgraditve opreme za NLPS v Sloveniji lahko trdimo, da smo tehnologijo v glavnem uspešno vpeljali, da smo izvedli že nekaj uspešnih industrijskih uporab, da smo se dejavno vključili v področje raziskav povečanja obrabne odpornosti NLPS orodij, da nas na tem področju vključuje v svoj razvoj izdelovalec opreme za NLPS in da smo udeleženi kot partnerji v predlaganih projektih 6. okvirnega programa EU. Vendar moramo za uspešno uporabo in trženje te tehnologije v slovensko industrijo narediti veliko več kot le kupiti tehnologijo. Investirati je treba veliko več napora v dejavnosti prenosa tehnologije v smislu sprememb inženirskih navad pri konstruiranju izdelkov in načrtovanju tehnologij izdelave pa tudi dosedanje prakse razvoja orodij v Sloveniji.

5 CONCLUSION

Within the scope of the cooperation between the Slovenian universities and industry, one of the most important goals is the creation of technological innovation and the transfer of the newest technologies to the local industry. DMLS equipment, installed in September 2002, gave Slovenian industry the possibility to apply this technology. This is particularly the case for toolmakers. Some successful applications have already been presented, e.g. [11].

The life of laser-sintered tool inserts can be up to 100,000 moulded plastic parts, however, the success is related to the abrasive ingredients of the moulded material (e.g. in the case of glass-fibre ingredients, the wear of the inserts is increased at the corners and surfaces by the intensive flow of the melt). For the casting of aluminium or similar metals the sintered tools are applicable only for testing purposes (less than 1,000 parts). The recent development of powder materials, and particularly the application of hard coatings, have given good results and suggest prospects of further improvements to the wear and temperature resistance of tool inserts.

One year after the installation of the equipment we can say that this new technology has been generally introduced and that several successful industrial applications have resulted. We are also active in the area of wear-resistance research of DMLS tools, we actively participate as a partner in the proposed EU 6 Framework programs, and we collaborate with the producer of the equipment (EOS) in its development activities. However, for the successful application of this technology in the Slovenian toolmaking industry much more needs to be done besides the simple introduction. We need to invest much more into activities of technology transfer in the sense of changing engineering habits and tool-development practice in Slovenia.

6 LITERATURA

6 REFERENCES

- [1] G. Eser, F Niebling, M Geiger: Rapid-tooling – Current status and future trends, ICIT 2001
- [2] N. L. Gideon, R. Schindel, J.P. Kruth: Rapid manufacturing and rapid tooling with layer manufacturing (LM) technologies, state of the art and future perspectives, *Annals of the CIRP*, Vol. 52, No 2., 2003
- [3] EOS Electro Optical Systems: DMLS moves from rapid tooling to rapid manufacturing, *Metal Powder report*, Vol 56, No 9, 2001
- [4] S. Dolinšek, J. Kopač: DMLS Technology – from the Prototyping to the Rapid Manufacturing, 6 th International Conference of Innovative Technologies, MIT 2003, Piran, Slovenia
- [5] S. Syrjala: DMLS for injection moulding and die casting applications, Proceedings of special EuroMold event, Frankfurt, 2002.
- [6] B. Šuštaršič: Characterisation of metal powders for laser sintering, research report IMT-PM-01/2003, Institute of Metals and Technology, February 2003, Ljubljana

- [7] L. Kosec: Investigation of laser sintered tools, research report, University of Ljubljana, Faculty of Natural Science and Technology, June 2003, Ljubljana.
- [8] A. Lesnjak, J. Tusek: Processes and properties of deposits in electrospark deposition. *Sci. technol. weld. join.*, Vol 7, No 6, 2002
- [9] P. Panjan, M, et all. Deposition and characterization of TiAlN/CrN multilayer coatings sputtered at low temperature. *Material technologies*, 2003, vol. 37k, str. 123-127.
- [10] S. Dolinšek: DMLS technology for making industrial tools for casting aluminium, 7th International research/Expert Conference TMT 2003, Lloret de Mar, Barcelona, Spain, 2003.
- [11] S. Dolinšek, S. Ekinović, J. Kopač, M. Dolinšek: Introduction of DMLS rapid tooling technology into Slovenian industry, 9th International Scientific conference on production engineering, CIM 2003, Lumbarda, Korčula, 2003.

Avtorjev naslov: dr. Slavko Dolinšek
Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana
slavko.dolinsek@fs.uni-lj.si

Author's Address: Dr. Slavko Dolinšek
University of Ljubljana
Faculty of Mechanical Eng.
Aškerčeva 6
SI-1000 Ljubljana, Slovenia
slavko.dolinsek@fs.uni-lj.si

Prejeto: 2.2.2004
Received:

Sprejeto: 8.4.2004
Accepted:

Odprto za diskusijo: 1 leto
Open for discussion: 1 year

Mreža inovativne odličnosti mladih - model spodbujanja inovativnosti mladih

Innovative Excellence for Youth - Creating a Network to Foster Innovative Behaviour Among Young Slovenes

Borut Likar

Na podlagi analize stanja inovacijskih postopkov med mladimi v Sloveniji je izdelan model učinkovitega spodbujanja inovativnosti med dijaki in študenti. Glavni cilj modela je dvig stopnje inovativnosti med mladimi, učitelji mentorji in tudi v širšem družbenem okolju. Cilji so ozaveščanje ciljnih skupin, pridobivanje znanj in veščin, povezanih z inovacijskimi postopki, in podpora najboljšim na določenih projektih. Struktura projekta je piramidna – izhaja iz množičnosti in je usmerjena k odličnosti – h konkretni inovaciji. Predlog temelji na podpornih dejavnostih in projektih, ki v Sloveniji že potekajo. Usmerjen je v inovativne projekte mladih, kot glavni ciljni skupini, potrebni za dosego cilja, ter vključuje tako mlade kakor mentorje. Projekt dejavno vključuje sedanje podporno okolje in tudi gospodarstvo, ki pomeni vir problemov (posredno invencij) in končnega uporabnika. Poti do inovacij sta dve: uresničitev lastnih zamisli v podjetniškem pomenu in reševanje danih problemov podjetij, ki se tam tudi izvedejo.

Izredno pomembno je, da je projekt sistemsko zasnovan in voden – začne in koordinira se na državni ravni, izvaja prek mreže učiteljev, regionalnih ustanov ter podjetij, s tem pa vključuje regionalno in lokalno komponento. To pomeni, da se posamezne dejavnosti sinergistično povezujejo in se v invencijsko-inovacijski (I-I) verigi ne izgubi rdeča nit dejavnosti, ki vodijo do končnega rezultata.

© 2004 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: družba inovativna, inovativnost, izobraževanje, analize, modeli)

A model for the competent encouragement of innovation among pupils and students has been designed according to an analysis of the situation regarding the innovative abilities of youth in Slovenia. The main objective behind constructing such a model is to bring about an increase in the innovative abilities of young people, teacher-tutores as well as others in the broader social environment. The goals are to raise awareness amongst the target groups, to ensure the acquisition of knowledge and skills pertaining to innovation processes, as well as support for the most innovative in implementing actual projects. The project's structure is pyramidal, deriving its critical mass from the activities which shall embrace a large number of students and further provide the conditions, interactions and stimuli that shall lead to the actual accomplishment of tangible innovation. The model itself, based on support activities and projects already underway in Slovenia, is directed towards achieving innovation in the context of projects realised by youth. Although students and their tutores are the main target groups which shall attain specific goals, this project actively embraces the many players which make up Slovenia's support environment together with the commercial and other end-users who shall become the beneficiaries of innovation. There are two paths towards innovation: the accomplishment of personal ideas in an entrepreneurial sense, and the solution of actual extant problems defined by organisations and enterprises in which an idea is effected.

It is of cardinal importance that this project is designed and managed in a systemic way – that it is started and co-ordinated at the national level, and effected via a network of teachers in conjunction with the regional institutions and companies which shall thus endow it with regional and local components. In effect, this means that individual activities shall be synergistically connected, and thus the red thread of activities leading to actual accomplished results will not be lost in the invention-innovation (I-I) chain.

© 2004 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: innovative society, innovativity, education, analyses, models)

0UVOD

V novi ekonomiji vlaganje v inovativnost v povezavi z raziskovalnim delom povečuje tako produktivnost in konkurenčnost gospodarstva kakor

tudi možnosti zaposlovanja. Znanje in intelektualni kapital postajata najpomembnejša dejavnika uspešnega dela [10]. Pri tem pa se postavlja vprašanje, kako človeške potenciale razvijati in jih čim uspešneje izrabiti. Vsekakor je ena glavnih poti k temu cilju

spodbujanje ustvarjalnosti in upravljanje inovativnosti – tako v podjetjih [18] kakor tudi v osebnem razvoju [6]. Pri tem se pojavi problem sposobnosti prenosa znanja, zamisli in raziskovalnih dosežkov iz akademske srenje v gospodarstvo. Gre za problem, s katerim se srečujejo tudi države Evropske zveze, ki po značilnih statističnih indikatorjih še vedno zaostajajo za ZDA in Japonsko [25]. S tem izzivom so se v preteklosti srečevale praktično vse najrazvitejše države, vendar pa jim ga je z dejavnimi načini uspelo v veliki meri obvladati [24]. Še vedno pa EZ na področju inovacijskih postopkov med mladimi zaostaja za ZDA in Japonsko [19].

Vrzel med nosilci znanja in gospodarstvom je še posebno izrazita v državah v prehodu in tako tudi v Sloveniji [32]. Kljub pogosto vrhunskim raziskovalnim dosežkom je pot do industrije dolga. Učinkovito in uspešno vodenje inovacijskega in razvojno-raziskovalnega (RR) dela je nedvomno eden večjih slovenskih razvojnih izzivov ([14], [15] in [3]). Omenjene problematike v državah v prehodu se zaveda tudi EZ in skuša s svojimi programi sedanje stanje izboljšati. Del programov je povezan tudi z mladimi oz. z izobraževanjem njihovih mentorjev in učiteljev, ki dijakom in študentom posredujejo osnovna znanja [27]. Psihološke študije namreč kažejo, da so mladi bolj ustvarjalni od starejših (pri 5 letih je ustvarjalnih 90% otrok, pri 17 le še 10%, kasneje pa jih ostane ustvarjalnih le 5%). Problem se pojavi v postopku uresničevanja, saj je za uspešno udejanjanje zamisli treba obvladovati celotno invencijsko-poslovno verigo. Zato je na ravni države potrebna ustrezná inovacijska politika, ki ima v Sloveniji še velike rezerve za izboljšanje stanja (1). S tem povezana je tudi potreba po sistemskem in holističnem postopku ([20] do [23]), tako v povezavi z ukrepi za spodbujanje inovacijskih postopkov v šolstvu ([30] in [31]) kakor tudi glede gospodarstva. To s svojo majhno absorpcijsko sposobnostjo ‘prezre’ velik del invencij in rezultatov RR dela ter posledično ne dosega poslovne odličnosti ([8], [17] in [7]), kar še posebno velja za vrhunske tehnologije (4). Rezultati razvitih držav kažejo, da je za doseganje inovativne odličnosti pomemben element informacijska tehnologija – ob ustreznem upoštevanju njenih prednosti, omejitev in potrebnih varnostnih ukrepov ([9], [28], [29] in [11]). Z namenom, da bi spodbudili inovativne pobude, je v Sloveniji v zadnjem desetletju zrasla vrsta podpornih centrov in programov, ki ponujajo razne oblike pomoči. Dejstvo je, da slovensko podporno okolje zaradi marsikdaj ne najbolj usklajenega in učinkovitega ter v mlade usmerjenega delovanja inovacijskim projektom še vedno ne daje zadostne podpore ([6] in [13]). Delni vzrok, da so omenjene dejavnosti dale še delne zelene rezultate, je treba iskati tudi v razvoju podpornega okolja [2], ki se je od osrednje državne podpore šele v zadnjih letih močnejše usmerilo na regionalno in lokalno raven. S podobnim, delnim

problemom so se srečevali tudi v Južni Koreji. Kljub osrednje vodenemu podpornem okolju, kjer so bili programi razmeroma homogeni, pa so bili ti premalo regionalno usmerjeni. V tem primeru je prevelika osrednja (vertikalna) iniciativa zmanjšala možnosti regionalne iniciative [5].

1 POSTOPKI ANALIZE

Izhajajoč iz sedanjega stanja v Sloveniji [6], [13], in še posebej med mladimi [12], smo analizirali dejstva in vplivne dejavnike ter izdelali model spodbujanja inovativnosti med mladimi.

V poročilu se bomo osredotočili na področji, ki sta za prehod v inovativno družbo mladih ključni, in sicer: glede ustvarjalnosti in sposobnosti uresničitve zamisli ter s tem nujno povezanim vplivnim oz. podpornim okoljem.

Analiza bo torej obsegala: analizo okolja, ki vpliva na ustvarjalnost (inventivnost): neposredno in posredno vplivno okolje; analizo I-I verige, ki jo določata dve robni točki: invencija (oz. inventivnost) in inovacija (oz. inovativnost); analizo podpornega okolja: neposredno in posredno; izdelava modela.

Z analizo stanja med mladimi v Sloveniji smo želeli ugotoviti, kako ti invencijsko-podjetniško verigo obvladujejo. V anketi, ki je eden pomembnih izhodiščnih virov [16] za pripravo modela, je sodelovalo 48 študentov in 37 dijakov iz vse Slovenije. V nadaljevanju je prikazan del rezultatov, ključnih za izdelavo modela.

2 REZULTATI IN ANALIZA

Vprašanje 1 je povezano predvsem z vplivnim oz. podpornim okoljem (preglednica 1).

Rezultati kažejo predvsem na prvo fazo invencijsko-inovacijske verige – na zaznavanje problemov in ustvarjanje zamisli. Ustvarjanje novih zamisli je še vedno v največji meri odvisno od lastne pobude, pa tudi od sodelovanja v neposrednem okolju, kjer se mladi dnevno srečujejo. To so predvsem študijski kolegi in učitelji v izobraževalnih ustanovah. Nekateri, čeprav redke teme za raziskovalno-razvojne naloge so pripravljene na podlagi stvarnih problemov iz industrije, podjetij, lokalnih turističnih potreb, potreb razvoja lokalnih skupnosti, šol ipd.

Kot dodatne dejavnike, ki pripomorejo k ustvarjanju novih zamisli, so anketiranci navajali literaturo in informiranost, osebnostne lastnosti, vpliv okolja ter študij in delo.

Vprašanje 2 Na vprašanje, koliko zamisli (invencij), ki bi ob nadaljevanju dela lahko postale inovacije, so doslej že imeli, smo dobili odgovor: $\langle x \rangle = 1,8$, st. odmik 2,98 (povprečna vrednost in standardni odmik)

Preglednica 1. V kakšni meri so k ustvarjanju novih idej pripomogli posamezni dejavniki (1 - ni pripomoglo, 5 - najbolj pripomoglo)?

V kakšni meri ustvarjanju vaših novih idej pripomorejo posamezni dejavniki?	ocena
lastna ustvarjalna dejavnost	4,4
na podlagi lastne pobude	3,9
vrstniki (prijatelji, sošolci) s podobnimi interesi	3,5
učitelj/mentor v šoli	3,0
starši	2,8
seminarske naloge	2,7
sodelovanje z gospodarstvom (podjetje, obrtnik)	2,6
na predlog, razpis ali povabilo podjetja	2,6
v okviru počitniškega dela ali šolske prakse	2,3

Odgovori (vsebina inovacijskih projektov) kažejo ustvarjalno delo, pri katerem ideje izhajajo iz stvarnih praktičnih in teoretičnih problemov. Med prejetimi odgovori je bilo tudi nekaj takih, ki v obliki patenta ali tržnega izdelka na trgu že obstajajo. Kljub temu nikakor ne moremo reči, da gre za namerne kopije – verjetno le za nepoznavanje stanja tehnike, ki je obvezna sestavina invencijsko-inovacijskega postopka.

Vprašanje 3 Anketirance, ki so pri drugem vprašanju navedli vsaj eno zamisel, smo prosili, da označijo, katere korake na poti k uresničitvi najpomembnejšega inovacijskega projekta so opravili (preglednica 2).

Odgovori kažejo, da je malo več ko polovica vprašanih že imela zamisel, ki bi ob nadaljnjem delu lahko postala inovacija. Nadaljnje faze so povezane z obvladovanjem invencijsko-poslovne verige. Iz odgovorov je razvidno, da se delež tistih, ki so te nadaljnje faze dosegli, zmanjšuje. Velik del zamisli je dospel do razvojne faze. To se ujema z dejstvom, da je raziskovalno-razvojna dejavnost v Sloveniji tudi med mladimi dobro razvita. Problemi se pojavijo pri obvladovanju nadaljnjih dejavnosti, potrebnih za udejanjanje invencije.

Preglednica 2. Kolikšen del anketirancev je opravil posamezne faze (korake) na poti k uresničitvi najpomembnejšega inovacijskega projekta.

Končane faze	Odgovori (%)
zamisel	47
raziskovalno-razvojna faza	33
preizkus v praksi	20
izdelava poslovnega načrta	15
izdelava prototipa	15
tržna analiza	13
pridobivanje finančnih sredstev	8
predstavitev na sejmu, razstavi	11
lastna proizvodnja	8
povezava z gospodarstvom pri proizvodnji in trženju	8
lastno trženje	4
zaščita intelektualne lastnine	2

Vprašanje 4 Anketirance smo vprašali, kdo jim je ponudil pomoč pri uresničevanju zamisli (preglednica 3).

Kakor je razvidno, gre za velik pomen medsebojne pomoči med kolegi, pomen staršev, šole ter podjetniškega sektorja.

Vprašanje 5 Vprašanje je povezano s poznavanjem slovenskega podpornega okolja. Pri tem smo se omejili na najpomembnejše organizacije in programe, povezane z invencijsko-inovacijsko in podjetniško dejavnostjo. Organizacije in programe smo izbrali skladno z analizo le-teh [15]. Glede na pet mogočih odgovorov (ne poznam...redno uporabljam/sodelujem) smo te ocenili in izračunali točkovnik T, ki zavzema vrednosti od 1 do 5 (preglednica 4).

Odgovori kažejo, da vprašani še vedno v največji meri poznajo neposredno izobraževalno okolje. Regionalno gledano pa poznajo predvsem programe in organizacije iz okolice (mestne občine – programi raziskovalnih nalog, občasno sodelovanje z gospodarstvom).

Vprašanje 6 Anketerince smo vprašali, v katerih fazah inovacijsko podjetniškega dela bi pri svojem delu še potrebovali pomoč (preglednica 5).

Preglednica 3. *Kdo je pomagal na poti k uresničitvi zamisli. Stopnja pomoči: 1 - nobene, 5 - največja. Povprečne vrednosti.*

Vrste pomoči pri uresničevanju zamisli	Odgovori
vrstniki (prijatelji, sošolci) s podobnimi interesi	3,0
šola (učitelj, mentor, laboratorij itn.)	2,9
podjetja in obrtniki	2,5
starši	2,3
organizacije slovenskega podpornega okolja	1,3

Preglednica 4. *Vrednosti (T), ki izražajo stopnjo poznavanja oz. sodelovanja s posamezno organizacijo (1 - najmanj, 5 - največ).*

Organizacije slovenskega podpornega okolja – programi povezani z mladimi	Točkovnik (T)
Sodelovanje znotraj šole pri nalogah, ki niso sestavni del šolskega postopka	2,6
Sodelovanje s podjetji, obrtniki	2,3
Ministrstvo za šolstvo, znanost in šport	2,2
Zavod za šolstvo	2,1
Sodelovanje z zunanjimi fakultetami in inštituti	2,1
Mestne občine - srečanje mladih raziskovalcev in njihovih mentorjev	2,0
Inštitut za inovativnost in tehnologijo	2,0
Gospodarska zbornica Slovenije	1,9
Ministrstvo za gospodarstvo	1,8
Urad RS za intelektualno lastnino	1,8
Pospeševalni center za malo gospodarstvo	1,7
Tehnološki parki	1,7
Javni sklad RS za razvoj malega gospodarstva (JSMG) - ugodni krediti mladim podjetjem - začetnikom	1,6
Inovacijsko posredni center	1,5
Skladi tveganega kapitala	1,5

Preglednica 5. *Vrednosti (T), ki izražajo potrebo po dodatni pomoči v posameznih fazah inovacijske verige (1 - najmanj, 4 - največ).*

Potreba po dodatni pomoči v posameznih fazah inovacijske verige	T
pridobivanje finančnih sredstev	2,7
zaščita intelektualne lastnine	2,7
povezava z gospodarstvom pri proizvodnji in trženju	2,6
pomoč pri ustanovitvi podjetja	2,5
trženje	2,5
proizvodnja	2,5
finančna pomoč pri zaščiti intelektualne lastnine	2,5
pravna pomoč pri zaščiti intelektualne lastnine	2,5
povezava s kooperanti	2,5
predstavitev na sejmu, razstavi	2,4
izdelava prototipa	2,3
izdelava poslovnega načrta	2,3
raziskava trga	2,3
raziskovalno-razvojna faza	2,2

Pri vsakem odgovoru so označili, v kolikšni meri bi pomoč potrebovali (ne potrebujem pomoči, potrebujem manjšo pomoč, potrebujem dodatno strokovno pomoč, ta vrsta pomoči je pogoj za nadaljevanje dela). Odgovore smo ocenili in izračunali točkovnik (T), ki zavzema vrednosti 1 do 4.

Rezultati se večinoma skladajo s pričakovanji. Na podlagi odgovorov iz vprašanja 2 in poznavanja projektov menim, da so faze, ki se pojavljajo v fazi inovacije anketirancem manj znane in jim zato pripisujejo manjši pomen. Praksa namreč kaže, da so dejavnosti, npr.: izdelava poslovnega

načrta, raziskava trga, pa tudi trženje ipd., redko dovolj znane oz. pravilno izvedene, da bi bile temelj za resno podjetniško uresničitev.

3 POVZETEK KLJUČNIH UGOTOVITEV

Analiza okolja, ki vpliva na ustvarjalnost (inventivnost) – pomembni dejavniki:

- Neposredno vplivno okolje: a) Lastna pobuda, osebnost, motivacija za ustvarjalno zaznavanje problemov in oblikovanje rešitev b) Osebna zavzetost učitelja - mentorja (pogosto nima potrebnih znanj za spodbujanje inventivnih postopkov) oz. staršev c) Splošna izobrazba, intelektualna širina, vpetost v okolje, mednarodne razsežnosti in ustrezni čustveni vidiki, ki so pomemben pogoj za ustvarjalno delo. d) Sistemsko spodbujanje ustvarjalnosti podjetij, šolskega sistema in države (premalo prilagojeno potrebam mladih).
- Posredno vplivno okolje: a) Povezanost s podjetniki, ki imajo določen interes sodelovanja, izkazuje pozitivne rezultate. b) Izkušnje mladih, dodatno izobraževanje, sodelovanja na konferencah in možnost izmenjave izkušenj.

Analiza invencijsko-inovacijske verige

- Faza invencije (glej Analiza okolja, ki vpliva na ustvarjalnost)
- RR med mladimi je v Sloveniji dobro razvita (R projekti na fakultetah in srednjih šolah, programi ZOTKS, programi mestnih občin), a ni usmerjena predvsem v inovativnost.
- Le majhen del RR nalog ima uporabno vrednost oz. inovativno komponento.
- Mladi menijo, da je RR faza, ki so jo izvedli, pogosto v okviru šolskih dejavnosti večinoma, dobro opravljena. (Menim, da je visoka ocena v veliki meri posledica nepoznavanja preostalih faz verige, kjer se pogosto pokaže, da RR faza ni bila izvedena skladno s potrebami končnega tržnega izdelka.)
- Faze, ki sledijo RR, so redko izvedene, najpogosteje tudi pomanjkljivo.
- Majhen poudarek vidijo na pomembnosti izvajanja poslovne faze verige (poslovni načrt, raziskava trga, trženje).
- Dejavnosti, povezane z intelektualno lastnino (preverjanje stanja tehnike – patentne informacijske baze, stanje na trgu, zaščita pravic intelektualne lastnine), so najpogosteje zanemarjane, čeprav se mladi zavedajo potrebnosti le-teh.

Analiza podpornega okolja

- Neposredno: a) Izredno je pomembna pomoč kolegov, vrstnikov. Gre za sicer pomembno obliko preproste samoorganizacije, ki pa je največkrat omejena na ozko strokovno področje. b) Pomembna podpora učiteljev-mentorjev – zlasti

v RR fazi. c) Učitelji-mentorji niso usposobljeni za podporo pri I-I verigi. d) Podpora podjetnikov pri stvarnih sodelovanjih na projektih pripomore k uspešnosti. e) Finančni vidiki so pogosto kritični dejavnik, saj mladim dostop do podjetniških finančnih virov praktično ni omogočen.

- Posredno: a) Slovensko podporno okolje je slabo poznano in izkoriščeno. Po eni strani ga možni uporabniki ne poznajo, po drugi strani pa ne ponuja celovite pomoči, ki bi jo mladi potrebovali še bistveno bolj kakor izkušenejši podjetniki, ki se v zapletenem in hitro spreminjajočem se slovenskem podpornem okolju ne znajdejo. b) Slovensko inovacijsko podporno okolje (pre)malo pomaga pri udejanjanju invencij. Obstajajo sicer različne oblike pomoči, ki pa so premalo stvarne in prilagodljive. Prav tako to okolje večinoma ni prilagojeno potrebam mladih. c) Pomemben je regionalni dejavnik (bližina in poznavanje) pri iskanju pomoči. V Sloveniji se regionalna komponenta intenzivno razvija šele v zadnjih letih in v mnogih primerih še ni praktično uporabna.

4 SKLEPI IN MODEL

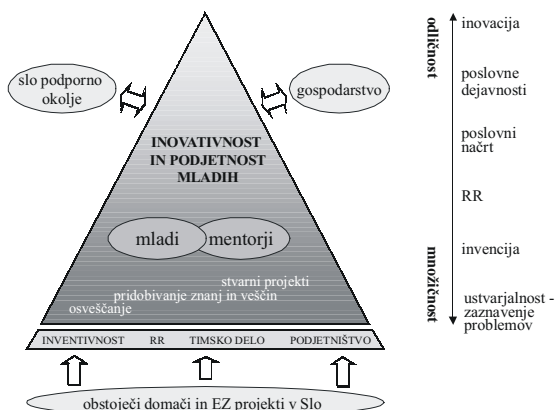
Prejšnje ugotovitve kažejo inovacijske potenciale mladih, ki pa jim manjka znanj, veččin in podpore za uspešno udejanjanje invencijsko-poslovne verige. Predlagamo model vzpostavitve *Mreže inovativne odličnosti mladih* z namenom dvigniti inovativnosti in podjetnosti med mladimi, učitelji-mentorji, pa tudi v širšem družbenem okolju. Poglavitna lastnost modela je piramidna struktura – izhaja iz množičnosti (ustvarjalnost in inventivnost v najširšem pomenu) in je usmerjena k odličnosti – k uresničevanju stvarnih inovacij. Pomemben prispevek modela je tudi izraba potenciala usposobljenega učitelja, ki glede na rezultate raziskave predstavlja pomemben element podpornega okolja. Sedanji osnutek slovenskega podpornega okolja ga ne upošteva dovolj. Projekt naj se prek učiteljev odvija v celotni državi. Dejavno vključuje tudi sedanje podporno okolje in gospodarstvo.

Ciljna skupina

- Osnovna ciljna skupina: študenti, srednješolci, višješolci, visokošolci ter učitelji (večji del populacije), učitelji-mentorji raziskovalno-inovacijske dejavnosti
- Posredna ciljna skupina: ustvarjalni posamezniki in podjetniki.

Glavni cilj projekta je dvig stopnje inovativnosti med mladimi, učitelji-mentorji in tudi v širšem družbenem okolju. Cilji so ozaveščanje

ciljnih skupin, pridobivanje znanj in veščin, povezanih z inovacijskimi postopki in podpora najboljšim. Struktura projekta je piramidna – izhaja iz množičnosti in je usmerjena k odličnosti – k inovaciji. Predlog temelji na podpornih dejavnostih in projektih, ki v Sloveniji že potekajo. Usmerjen je v inovativne projekte mladih, kot glavni ciljni skupini, potrebni za dosego cilja, pa vključuje tako mlade kakor mentorje. Projekt dejavno vključuje tako sedanje podporno okolje in tudi gospodarstvo, ki predstavlja vir problemov (implicitno invencij) in končnega uporabnika.



Sl. 1. Koncept predlaganega projekta

5 CILJI IN DEJAVNOSTI

Spodbujanje množičnosti

- Osnovno informiranje učiteljev o inovativnem poučevanju in spodbujanju inovativnosti
- Motiviranje in informiranje mladih
- Spodbujanje ustvarjalnosti pri reševanju določenih problemov (lastna iniciativa, predlogi mentorjev, predlogi iz gospodarstva)
- Ustvarjanje družbene klime, naklonjene inovativnosti

Proti odličnosti

- Poglobljeno izobraževanje učiteljev-mentorjev (predvsem srednješolskih)
- Poglobljeno izobraževanje mladih
- Pospesevanje interakcije med ključnimi dejavniki inovativnosti (npr. Borza znanja in zamisli, kjer gre za medsebojno povezovanje mladih različnih profilov pri določenih projektih in povezovanje z gospodarstvom pri udejanjanju projektov)
- Reševanje določenih problemov iz gospodarstva – rezultati se prenesejo neposredno v gospodarstvo.
- Izvedba državnega tekmovanja za najbolj inventivne in podjetniško usmerjene projekte

Odličnost

- Izvedba festivala inovativnosti in podjetnosti (konference, razstave, delavnice)
- Mednarodno povezovanje
- Strokovna in podjetniška podpora (lastna izvedba/podjetje, prodaja pravic intelektualne

lastnine)

- Sklad tveganega kapitala za potrebe mladih – podpora lastnim projektom
- Povezava z gospodarstvom pri izvedbi projektov (predvsem tistih, ki izhajajo iz potreb le-tega). Preostali inventivni projekti se praviloma vključujejo v inkubatorje in tehnološke parke.

Na vseh ravneh dejavnosti bo ciljni skupini zagotovljena informacijska podpora prek spletnih strani. Ta mora v skladu s piramidno strukturo dati informacije tako za dejavnosti na ravni množičnosti kakor tudi odličnosti. Vsebinsko pomeni, da mora biti vir splošnih in poglobljenih informacij, preglednega informiranja o domačem in mednarodnem podpornem okolju in izobraževanju na daljavo. Poleg tega mora za potrebe timskega in interdisciplinarnega dela omogočati povezovanje mladih z različnih področij, pa tudi povezavo s potrebami gospodarstva (borza potreb, znanja in zamisli). Prav tako je pomembno vzpostaviti mrežo inovacijsko usmerjenih mentorjev.

Izredno pomembno je, da je projekt sistemsko zasnovan in voden – začne in usmerja se na državni ravni, prek mreže učiteljev ter regionalnih ustanov pa vključuje regionalno in lokalno komponento. To pomeni, da se posamezne dejavnosti sinergično povezujejo in se v I-I verigi ne izgubi rdeča nit dejavnosti, ki vodijo do končnega rezultata.

6 PRIČAKOVANI REZULTATI

a) Vzpostavitev mreže inovativne odličnosti mladih b) Večje število inovacij mladih (v gospodarskem, družbenem in privatnem pomenu) c) Večje število inovativno usmerjenih projektov mladih d) Zvišanje ravni informiranosti in izobraženosti učiteljev-mentorjev za podporo inovacijskim in podjetniškim procesom e) Vzpostavitev mreže inovacijskih mentorjev f) Zvišanje ravni informiranosti, znanja in veščin mladih o inovacijskih in podjetniških postopkih g) Vzpostavitev zametkov razvojno-podjetniških jeder h) Večja ozaveščenost o pomenu inovativnosti ciljnih skupin in tudi širše družbe i) Izboljšano sodelovanje med RR, gospodarstvom in šolstvom j) Boljša pripravljenost mladih na trg dela oz. samozaposlitev k) Boljša izkoriščenost slovenskega podpornega okolja.

S predlaganim modelom želimo doseči pozitivne rezultate na vseh področjih, vse od ustvarjalnega razmišljanja do končnega rezultata – novega tržnega izdelka, nove storitve, izboljšane načina dela, prihranka itn.

Znanja o spodbujanju ustvarjalnosti in vodenja bodo dijakom in študentom pomagala k boljši prilagoditvi na spremembe na trgu dela. Bodoči iskalci zaposlitve bodo razvili dodatne sposobnosti in kvalifikacije. Že med šolanjem se bodo tako pripravili na hitre spremembe v gospodarstvu in družbi, tako

da bodo po koncu izobraževanja bolj prilagodljivi in bodo lažje našli primerno zaposlitev.

Poleg predlaganih izhodišč je potreben pogoj tudi ustrezna sistemska podpora na ravni šolskega sistema in učnih vsebin, saj učitelji v okviru sedanjih obveznosti in finančnih stimulacij niso (vedno) pripravljeni na dodatne zahteve.

7 SKLEP

Slovenija je v zadnjem desetletju stopila na pot tržnega gospodarstva, vstopa v EZ in se s tem

odločila tudi za usmeritev k inovativnosti, tako v gospodarskem, družbenem in v zasebnem življenju. Tudi med mladimi.

V mejah naših dosedanjih dejavnosti, izvedenih v okviru domačih in mednarodnih projektov, se je del predlogov že preveril in potrdil v praksi – bodisi v omejenem obsegu ali pilotno. Ta projekt je priložnost, da vzpostavimo sistemske rešitve, s katerimi bo inovativnost v šolskem sistemu prestopila prag navdušenosti redkih posameznikov in postala samoumevni del izobraževalnih postopkov.

8 LITERATURA

- [1] Bučar, M., M. Stare (2003) Inovacijska politika male tranzicijske države. *Fakulteta za družbene vede*.
- [2] Bučar, M., M. Stare (2002) Slovenian innovation policy : underexploited potential for growth. *J. int. relat. & dev.*, vol. 5, no. 4, 427-448.
- [3] Čelan, S., M. Mulej, M. Kos, D. Klinar (2002) Okvirni metodološki priročnik od invencije do inovacije, *PCMG*, Ljubljana, 46-61.
- [4] Dolinšek, S., C. Bavec, A. Mihelič, I. Prodan (2002) Upravljanje tehnologije - ključ konkurenčnosti = The management of technology - the key to competitiveness. *Stroj. vestnik*, 48, 3, 178-182.
- [5] Hassink, R. (2001) Towards regionally embedded innovation support systems in South Korea? Case studies from Kyongbuk–Taegu and Kyonggi. *Urban Studies*, Vol. 38, No. 8, 1373–1395.
- [6] Izhodišča (2002) Izhodišča ciljnega raziskovalnega programa Konkurenčnost Slovenije 2001 – 2006.
- [7] Kern, T. (2001) Identification of the key business postopkses essential for successful reengineering of business systems in the postopks aspect. V: JAŠKOVÁ, Mária (ur.). *ECON '01 : [selected research papers]*, ([Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské v Ostravě. Řada ekonomická, Vol. 8, Year book of the Faculty of Economics, VŠB - Technical University Ostrava]). Ostrava: *Technical University, Faculty of Economics*, 54-60.
- [8] Kern, T. (2003) Kako s prenovo poslovnih postopkov do večje inovativnosti. V: DOLINŠEK, Slavko (ur.). *Proizvodni management 2003 (PMNGT 2003) : inovativnost v proizvodnji*. Ljubljana: GV Izobraževanje, izobraževanje in svetovanje, 31-37
- [9] Križaj, D. (2002) Uporaba interneta v inovacijskem in RR delu. *Uspeti z idejo! : tehnike in metode ustvarjanja, razvoja in trženja idej*. Ljubljana: Korona plus: *Pospeševalni center za malo gospodarstvo*, 2002, 106-114.
- [10] Kučan, M., J.P. Deschamps, W. George (2002) Inovacije in vodenje, *IEDC-Poslovna šola Bled*.
- [11] Lesjak, . (2002) Internet based distance education in Slovenia. *Communications of the IIMA*, 2002, vol. \2, 3, 43-50
- [12] Likar, B. (2003-1) Klub ustvarjalnosti in podjetnosti mladih (2003): Klub ustvarjalnosti in podjetnosti mladih (republiški projekt 2001-2003), *Korona plus – Inštitut za inovativnost in tehnologijo*. Zaključno poročilo 2003.
- [13] Likar, B. (1999) Inovacijska in podjetniška podpora, *Naše gospodarstvo* 45, št. 3/4, 265-274.
- [14] Likar, B. (2001) Inoviranje. 2., dopolnjena izd., *Visoka šola za management v Kopru*.
- [15] Likar, B. (2002) Uspeti z idejo! : tehnike in metode ustvarjanja, razvoja in trženja idej, Ljubljana: Korona plus: *Pospeševalni center za malo gospodarstvo*, 81-98.
- [16] Likar, B. (2003-2) Analiza inovacijskih postopkov med mladimi v Sloveniji v povezavi s slovenskim podpornim okoljem. *Organizacija – Kranj*, 5/36, maj 2003, 282-290.
- [17] Markič, M. (2003-1) Processes innovation : a precondition for business excellence: *Organizacija*, 36, št. (nov. 2003), 636-642.
- [18] Markič, M. (2003-2). Inoviranje kot podlaga za boljšo kakovost življenja in dela. *Delo + varnost*, 2003, letn. 48, št. 2, 58-67.
- [19] Mulej, M., Z. Ženko (2002) Basics of systems thinking - applied to innovation management, Renewed Edition 2002, University of Maribor, Faculty of Economics and Business.
- [20] Mulej, M., M. Bastič, J. Belak, J. Knez-Riedl, M. Pivka, V. Potočan, M. Rebernik, D. Uršič, Z. Ženko, M. Mulej Nastja. (2003-1) Informal systems thinking or systems theory. *Cybern. syst.*, 2003, vol. 34, no. 2, 71-92.

- [21] Mulej, M., J. Knez-Riedl, V. Potočan, Z. Ženko (2003-4) Upravljanje - kdaj je razmišljanje o njem in v njem sistemsko/ celovito?. *Organizacija (Kranj)*, sep. 2003
- [22] Mulej, M., J. Knez-Riedl, V. Potočan, Z. Ženko (2003-3). Državni ukrepi za pospešeno uveljavljanje inovativne družbe in inovativnega poslovanja. *Organizacija (Kranj)*, jun. 2003, letn. 36, št. 6, 358-367.
- [23] Mulej, M., Z. Ženko (2003-2) Inovativno podjetništvo kot osebna lastnost in vpliv vlade nanj. *Organizacija (Kranj)*, maj 2003, letn. 36, št. 5, 273-281.
- [24] Nicholson, O.B. (2000) Knowledge management – Communication in public administration – Canada, *Knowledge Management Review*, Vol. 3, Issue 1, 30-33.
- [25] OECD (2001) Competition, innovation, and competitiveness in developing countries, Paris 1999.
- [26] Pečjak, V. (2001) Poti do novih idej, Ljubljana, *New Moment*.
- [27] PHARE (2001) PHARE nacionalni program 2001, Ekonomska in socialna kohezija. Donacijska shema "Krepitev Slovenije na lokalni ravni" - sklop A: Socialna vključenost. *Ministrstvo za delo, družino in socialne zadeve ter Ministrstvo za šolstvo, znanost in šport*, Ljubljana..
- [28] Trček, D. (2002) Sodobne informacijske tehnologije za podporo RR dejavnosti. *Uspeti z idejo! : tehnike in metode ustvarjanja, razvoja in trženja idej*. Ljubljana: Korona plus: *Pospeševalni center za malo gospodarstvo*, 2002, 99-105.
- [29] Trček, D. (2003) An integral framework for information systems security management. *Comput. secur.* [Print ed.], 2003, vol. 22, 337-359.
- [30] Trunk, Š., N. (2000-1) Z inovacijami - nenehnimi izboljšavami do dobre šole. *Inovativnost za mlade*. Ljubljana: Korona plus: Zveza prijateljev mladine Slovenije; Koper: Visoka šola za management, 118-128.
- [31] Trunk, Š., N. (2000-2) Načrtovanje lastnega razvoja - vsak je lahko uspešen ali sistematično uvajanje učenja "Učiti se biti" : prispevek o izbirnem predmetu.. *S sodelovanjem do kakovosti : mreže učečih se šol*. Ljubljana: 2000, 245-255.
- [32] WEF (2001) World economic forum - The global competitiveness report 2001-2002, Geneva.

Avtorjev naslov: doc.dr. Borut Likar
Univerza na Primorskem
Fakulteta za management Koper
Cankarjeva 5
6000 Koper
borut.likar1@guest.arnes.si

Prejeto:
Received: 3.2.2004

Sprejeto:
Accepted: 8.4.2004

Odprto za diskusijo: 1 leto
Open for discussion: 1 year

Osebnosti vesti

Personal Events

Doktorati, magisteriji, specializacije, diplome

DOKTORATI

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru je z uspehom zagovarjal svojo doktorsko disertacijo:

dne 16. aprila 2004: **mag. Boštjan Zafošnik**, z naslovom: "Energijski model napovedovanja širjenja površinske razpoke na zobnih bokih".

S tem je navedeni kandidat dosegel akademsko stopnjo doktorja znanosti.

MAGISTERIJI

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani je z uspehom zagovarjal svoje magistrsko delo, in sicer:

dne 19. aprila 2004: **Branko Tolar**, z naslovom: "Posebnosti konstruiranja progresivnih orodij za izdelke iz žice".

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru sta z uspehom zagovarjala svoji magistrski deli:

dne 13. aprila 2004: **Aleš Belšak**, z naslovom: "Razvoj sistema za odkrivanje napak zobniškega gonila" in **Matej Glavač**, z naslovom: "Računalniško napovedovanje dobe trajanja elementov podvozja osebnega vozila".

S tem so navedeni kandidati dosegli akademsko stopnjo magistra znanosti.

SPECIALIZACIJE

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru je z uspehom zagovarjal svoje specialistično delo:

dne 23. aprila 2004: **Aleš Zaverla**, z naslovom: "Razvoj štedilnika z dvojno pečico".

S tem je navedeni kandidat dosegel stopnjo specialista.

DIPLOMIRANISKO

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani so pridobili naziv univerzitetni diplomirani inženir strojništva:

dne 30. aprila 2004: Boštjan JEMEC, Darijan SKALJA, Niko VERSTOVŠEK.

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru so pridobili naziv univerzitetni diplomirani inženir strojništva:

dne 22. aprila 2004: Borut ERŽENIČNIK, Mihec HORVAT, Marko KNEZ, Tomislav MLINARIČ, Bojan POTOČNIK, Alojz ŠPALIR.

*

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani so pridobili naziv diplomirani inženir strojništva:

dne 8. aprila 2004: Jurij DREV, Alojz DRNOVŠEK, Janez GASSER, Marijan MARŠIČ, Janez RADOŠ, Rok TRELČ, Franc VOZELJ, Simon ZGAGA;

dne 9. aprila 2004: Branka BRADICA, Igor MUBI, Damjan ŽAGAR;

dne 13. aprila 2004: Lidija POGRAJC, Dejan ZAJEC, Blaž ŽAGAR.

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru so pridobili naziv diplomirani inženir strojništva:

dne 22. aprila 2004: Peter ANDREJEK, Darko DUKARIČ, Stanislav FILČIČ, Gašper GRAT, Matevž HOJNIK, Janez KUŠTER, Jure MAJC, Uroš SEMEJA, Gregor ŽUNTER.

Navodila avtorjem

Instructions for Authors

Članki morajo vsebovati:

- naslov, povzetek, besedilo članka in podnaslove slik v slovenskem in angleškem jeziku,
- dvojezične preglednice in slike (diagrami, risbe ali fotografije),
- seznam literature in
- podatke o avtorjih.

Strojniški vestnik izhaja od leta 1992 v dveh jezikih, tj. v slovenščini in angleščini, zato je obvezen prevod v angleščino. Obe besedili morata biti strokovno in jezikovno med seboj usklajeni. Članki naj bodo kratki in naj obsegajo približno 8 tipkanih strani. Izjemoma so strokovni članki, na željo avtorja, lahko tudi samo v slovenščini, vsebovati pa morajo angleški povzetek.

Vsebina članka

Članek naj bo napisan v naslednji obliki:

- Naslov, ki primerno opisuje vsebino članka.
- Povzetek, ki naj bo skrajšana oblika članka in naj ne presega 250 besed. Povzetek mora vsebovati osnove, jedro in cilje raziskave, uporabljeno metodologijo dela, povzetek rezultatov in osnovne sklepe.
- Uvod, v katerem naj bo pregled novejšega stanja in zadostne informacije za razumevanje ter pregled rezultatov dela, predstavljenih v članku.
- Teorija.
- Eksperimentalni del, ki naj vsebuje podatke o postavitvi preskusa in metode, uporabljene pri pridobitvi rezultatov.
- Rezultati, ki naj bodo jasno prikazani, po potrebi v obliki slik in preglednic.
- Razprava, v kateri naj bodo prikazane povezave in posplošitve, uporabljene za pridobitev rezultatov. Prikazana naj bo tudi pomembnost rezultatov in primerjava s poprej objavljenimi deli. (Zaradi narave posameznih raziskav so lahko rezultati in razprava, za jasnost in preprostejše bralčevo razumevanje, združeni v eno poglavje.)
- Sklepi, v katerih naj bo prikazan en ali več sklepov, ki izhajajo iz rezultatov in razprave.
- Literatura, ki mora biti v besedilu oštevilčena zaporedno in označena z oglatimi oklepaji [1] ter na koncu članka zbrana v seznamu literature. Vse opombe naj bodo označene z uporabo dvignjene številke¹.

Oblika članka

Besedilo naj bo pisano na listih formata A4, z dvojnimi presledki med vrstami in s 3 cm širokim robom, da je dovolj prostora za popravke lektorjev. Najbolje je, da pripravite besedilo v urejevalniku Microsoft Word. Hkrati dostavite odtis članka na papirju, vključno z vsemi slikami in preglednicami ter identično kopijo v elektronski obliki.

Prosimo, da ne uporabljate urejevalnika LaTeX, saj program, s katerim pripravljamo Strojniški vestnik, ne uporablja njegovega formata. V urejevalniku LaTeX oblikujte grafe, preglednice in enačbe in jih stiskajte na kakovostnem laserskem tiskalniku, da jih bomo lahko presneli.

Enačbe naj bodo v besedilu postavljene v ločene vrstice in na desnem robu označene s tekočo številko v okroglih oklepajih

Enote in okrajšave

V besedilu, preglednicah in slikah uporabljajte le standardne označbe in okrajšave SI. Simbole fizikalnih veličin v besedilu pišite poševno (kurzivno), (npr. v , T , n itn.). Simbole enot, ki sestojijo iz črk, pa pokončno (npr. ms^{-1} , K, min, mm itn.).

Vse okrajšave naj bodo, ko se prvič pojavijo, napisane v celoti v slovenskem jeziku, npr. časovno spremenljiva geometrija (CSG).

Papers submitted for publication should comprise:

- Title, Abstract, Main Body of Text and Figure Captions in Slovene and English,
- Bilingual Tables and Figures (graphs, drawings or photographs),
- List of references and
- Information about the authors.

Since 1992, the Journal of Mechanical Engineering has been published bilingually, in Slovenian and English. The two texts must be compatible both in terms of technical content and language. Papers should be as short as possible and should on average comprise 8 typed pages. In exceptional cases, at the request of the authors, speciality papers may be written only in Slovene, but must include an English abstract.

The format of the paper

The paper should be written in the following format:

- A Title, which adequately describes the content of the paper.
- An Abstract, which should be viewed as a miniversion of the paper and should not exceed 250 words. The Abstract should state the principal objectives and the scope of the investigation, the methodology employed, summarize the results and state the principal conclusions.
- An Introduction, which should provide a review of recent literature and sufficient background information to allow the results of the paper to be understood and evaluated.
- A Theory
- An Experimental section, which should provide details of the experimental set-up and the methods used for obtaining the results.
- A Results section, which should clearly and concisely present the data using figures and tables where appropriate.
- A Discussion section, which should describe the relationships and generalisations shown by the results and discuss the significance of the results making comparisons with previously published work. (Because of the nature of some studies it may be appropriate to combine the Results and Discussion sections into a single section to improve the clarity and make it easier for the reader.)
- Conclusions, which should present one or more conclusions that have been drawn from the results and subsequent discussion.
- References, which must be numbered consecutively in the text using square brackets [1] and collected together in a reference list at the end of the paper. Any footnotes should be indicated by the use of a superscript¹.

The layout of the text

Texts should be written in A4 format, with double spacing and margins of 3 cm to provide editors with space to write in their corrections. Microsoft Word for Windows is the preferred format for submission. One hard copy, including all figures, tables and illustrations and an identical electronic version of the manuscript must be submitted simultaneously.

Please do not use a LaTeX text editor, since this is not compatible with the publishing procedure of the Journal of Mechanical Engineering. Graphs, tables and equations in LaTeX may be supplied in good quality hard-copy format, so that they can be copied for inclusion in the Journal.

Equations should be on a separate line in the main body of the text and marked on the right-hand side of the page with numbers in round brackets.

Units and abbreviations

Only standard SI symbols and abbreviations should be used in the text, tables and figures. Symbols for physical quantities in the text should be written in Italics (e.g. v , T , n , etc.). Symbols for units that consist of letters should be in plain text (e.g. ms^{-1} , K, min, mm, etc.).

All abbreviations should be spelt out in full on first appearance, e.g., variable time geometry (VTG).

Slike

Slike morajo biti zaporedno oštevilčene in označene, v besedilu in podnaslovu, kot sl. 1, sl. 2 itn. Posnete naj bodo v kateremkoli od razširjenih formatov, npr. BMP, JPG, GIF. Za pripravo diagramov in risb priporočamo CDR format (CorelDraw), saj so slike v njem vektorske in jih lahko pri končni obdelavi preprosto povečujemo ali pomanjšujemo.

Pri označevanju osi v diagramih, kadar je le mogoče, uporabite označbe veličin (npr. t , v , m itn.), da ni potrebno dvojezično označevanje. V diagramih z več krivuljami, mora biti vsaka krivulja označena. Pomen oznake mora biti pojasnjen v podnapisu slike.

Vse označbe na slikah morajo biti dvojezične.

Za vse slike po fotografskih posnetkih je treba priložiti izvirne fotografije ali kakovostno narejen posnetek. V izjemnih primerih so lahko slike tudi barvne.

Preglednice

Preglednice morajo biti zaporedno oštevilčene in označene, v besedilu in podnaslovu, kot preglednica 1, preglednica 2 itn. V preglednicah ne uporabljajte izpisanih imen veličin, ampak samo ustrezne simbole, da se izognemo dvojezični podvojitvi imen. K fizikalnim veličinam, npr. t (pisano poševno), pripišite enote (pisano pokončno) v novo vrsto brez oklepajev.

Vsi podnaslovi preglednic morajo biti dvojezični.

Seznam literature

Vsa literatura mora biti navedena v seznamu na koncu članka v prikazani obliki po vrsti za revije, zbornike in knjige:

- [1] Tarng, Y.S., Y.S. Wang (1994) A new adaptive controller for constant turning force. *Int J Adv Manuf Technol* 9(1994) London, pp. 211-216.
- [2] Čuš, F., J. Balič (1996) Rationale Gestaltung der organisatorischen Abläufe im Werkzeugwesen. *Proceedings of International Conference on Computer Integration Manufacturing*, Zakopane, 14.-17. maj 1996.
- [3] Oertli, P.C. (1977) Praktische Wirtschaftskybernetik. *Carl Hanser Verlag*, München.

Podatki o avtorjih

Članku priložite tudi podatke o avtorjih: imena, nazive, popolne poštno naslove, številke telefona in faksa ter naslove elektronske pošte.

Sprejem člankov in avtorske pravice

Uredništvo Strojniškega vestnika si pridržuje pravico do odločanja o sprejemu članka za objavo, strokovno oceno recenzentov in morebitnem predlogu za krajšanje ali izpopolnitev ter terminološke in jezikovne korekture.

Avtor mora predložiti pisno izjavo, da je besedilo njegovo izvirno delo in ni bilo v dani obliki še nikjer objavljeno. Z objavo preidejo avtorske pravice na Strojniški vestnik. Pri morebitnih kasnejših objavah mora biti SV naveden kot vir.

Rokopisi člankov ostanejo v arhivu SV.

Vsa nadaljnja pojasnila daje:

Uredništvo
STROJNIŠKEGA VESTNIKA
p.p. 197
1001 Ljubljana
Telefon: (01) 4771-757
Telefaks: (01) 2518-567
E-mail: strojniksi.vestnik@fs.uni-lj.si

Figures

Figures must be cited in consecutive numerical order in the text and referred to in both the text and the caption as Fig. 1, Fig. 2, etc. Figures may be saved in any common format, e.g. BMP, GIF, JPG. However, the use of CDR format (CorelDraw) is recommended for graphs and line drawings, since vector images can be easily reduced or enlarged during final processing of the paper.

When labelling axes, physical quantities, e.g. t , v , m , etc. should be used whenever possible to minimise the need to label the axes in two languages. Multi-curve graphs should have individual curves marked with a symbol, the meaning of the symbol should be explained in the figure caption.

All figure captions must be bilingual.

Good quality black-and-white photographs or scanned images should be supplied for illustrations. In certain circumstances, colour figures may be considered.

Tables

Tables must be cited in consecutive numerical order in the text and referred to in both the text and the caption as Table 1, Table 2, etc. The use of names for quantities in tables should be avoided if possible: corresponding symbols are preferred to minimise the need to use both Slovenian and English names. In addition to the physical quantity, e.g. t (in Italics), units (normal text), should be added in new line without brackets.

All table captions must be bilingual.

The list of references

References should be collected at the end of the paper in the following styles for journals, proceedings and books, respectively:

- [1] Tarng, Y.S., Y.S. Wang (1994) A new adaptive controller for constant turning force. *Int J Adv Manuf Technol* 9(1994) London, pp. 211-216.
- [2] Čuš, F., J. Balič (1996) Rationale Gestaltung der organisatorischen Abläufe im Werkzeugwesen. *Proceedings of International Conference on Computer Integration Manufacturing*, Zakopane, 14.-17. maj 1996.
- [3] Oertli, P.C. (1977) Praktische Wirtschaftskybernetik. *Carl Hanser Verlag*, München.

Author information

The following information about the authors should be enclosed with the paper: names, complete postal addresses, telephone and fax numbers and E-mail addresses.

Acceptance of papers and copyright

The Editorial Committee of the Journal of Mechanical Engineering reserves the right to decide whether a paper is acceptable for publication, obtain professional reviews for submitted papers, and if necessary, require changes to the content, length or language.

Authors must also enclose a written statement that the paper is original unpublished work, and not under consideration for publication elsewhere. On publication, copyright for the paper shall pass to the Journal of Mechanical Engineering. The JME must be stated as a source in all later publications.

Papers will be kept in the archives of the JME.

You can obtain further information from:

Editorial Board of the
JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING
P.O.Box 197
1001 Ljubljana, Slovenia
Telephone: +386 (0)1 4771-757
Fax: +386 (0)1 2518-567
E-mail: strojniksi.vestnik@fs.uni-lj.si