

## Struženje navarov z orodji podjetja Walter

### The Turning of Overlays Using Tools Produced by the Company Walter

Milan Brožek

Tehnologija navarjanja se v praksi uporablja za oblikovanje površinskih plasti s specifičnimi lastnostmi v primeru na novo narejenih sestavnih delov oziroma pri popravilih obrabljenih funkcijskih ploskev sestavnih delov. Pri veliki večini sestavnih delov je glede na želeno obliko, izmero in površino navarjenega predmeta te treba tudi obdelati. Takšna obdelava ima v primerjavi z obdelovanjem vlečenih ali valjanih polizdelkov nekatere posebnosti. Zaradi optimizacije rezalnih razmer se po navadi izhaja iz rezultatov dolgoročnih preskusov obstojnosti orodja. Pri njih se eksperimentalno ugotavlja časovna odvisnost obrabljenosti orodja pri različnih stopnjah rezalne hitrosti za vsako kombinacijo materialov navarjenega predmeta in orodja. Iz te odvisnosti se za mejno velikost obrabljenosti orodja določi odvisnost obstojnosti orodja za rezalno hitrost. Tako ugotovljene odvisnosti  $T - v_c$  so izhodiščne vrednosti za lastno optimizacijo rezalnih razmer. Ta pa se najpogosteje izvaja po kriteriju najmanjših proizvodnih stroškov. Optimalen izračun obsega vse osnovne gospodarske kazalnike obrata. Sestavni del izvedenih preskusov je merjenje trdote navara HRC (po Rockwellu) in hrapavosti  $R_a$  in  $R_r$  obdelane površine. V prispevku so podrobno objavljeni rezultati obstojnostnih preskusov orodja, narejenih pri obdelavi navara žice C 508 ob uporabi orodja podjetja Walter. V preskuse je bilo uvrščenih šest tipov materiala orodja v obliki izmenljivih ploščic, od katerih se lahko trije priporočijo kot primerni za obdelavo takšnega tipa navarjenega predmeta. Najboljši rezultati so bili doseženi z uporabo orodja WNMG 080412 WTA 13 (HC K 10). Pri preskusih je bilo ugotovljeno, da se hrapavost obdelane površine v poteku obdelave postopoma počasi povečuje, pri čemer na koncu obratovalne dobe orodja prihaja do očitnega poslabšanja.

© 2002 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

**(Ključne besede: struženje navarov, hrapavost površin, pogoji rezanja, ploščice ostrilne)**

Surfacing technology is used to produce layers with special properties for new parts or worn out functional surfaces. For many parts it is necessary to machine them to fulfill the requirements for shape, size and roughness. But the machining of overlays is, in comparison with the machining of drawn or rolled semi-products, specialized. Usually, the optimization of the cutting conditions comes from long-term tool-life test results. For these tests we have experimentally determined time dependences of tool wear at different cutting speeds for every combination of overlay and cutting materials. These dependences are the basis for the determination of the relationship between tool-life and cutting speed for the limit of tool wear. The relationships between cutting speed and tool-life determined in this way are the initial values for one's own optimization of the cutting conditions. It is usual for the optimum to be determined for the minimum machining costs criterion. In the calculation all the economic indexes of the workshop are included. Measuring of the overlay hardness, HRC, and the overlay surface roughness,  $R_a$  and  $R_r$  after machining was also part of the tests. In this article we publish the results of long-term tool-life tests, made during the turning of an overlay made by welding wire C 508 using a tool from the firm Walter. In the tests we used six types of tool material in the form of inserts. Three of them can be recommend for the turning of this overlay. The best results were achieved using the WNMG 080412 WTA 13 (HC K 10) insert. During the tests we found that the roughness of the turned surface slowly increases and that extensive deterioration occurs at the end of the tool-life.

© 2002 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

**(Keywords: overlays turning, surface roughness, cutting conditions, inserts)**

#### 0 UVOD

Navarjanje je z vidika razdelitve tehnologije gradnje strojev uvrščeno v varjenje. Izhaja iz njegovih teoretičnih osnov, pri čemer so nekateri znaki skladni,

#### 0 INTRODUCTION

In terms of engineering technology, surfacing is classed together with welding. This is based on theoretical considerations: some aspects are the same,

drugi spet bolj ali manj drugačni. S postopnim razvojem se je iz navarjanja razvila samostojna stroka, ki se še posebej v zadnjih letih hitro razvija.

Tehnologija navarjanja se v praksi uporablja tako v proizvodnji novih sestavnih delov, za oblikovanje površinskih plasti s specifičnimi lastnostmi, kakor pri popravilih obrabljenih funkcijskih ploskev sestavnih delov. V obeh primerih lahko uporaba primernega navara prinese očitne snovne in energijske prihranke, zmanjšanje težavnosti dela in v veliko primerih tudi podaljšanje dobe trajanja navarjenega sestavnega dela.

Razvoj obeh zgoraj navedenih področij se lahko utemeljuje s številnimi prispevki, ki so bili objavljeni v strokovni literaturi, znanstvenih revijah, na konferencah ipd. Tehnologija navarjanja se uporablja v različnih panogah gospodarstva, npr. v metalurgiji, jedrski energetiki, medicini, prometu, rokovanju z materialom, petrokemiji, pa tudi pri popravilih stiskalnic za opeko, starih kulturnih spomenikov in v drugih panogah. Očitno razširitev je navarjanje doseglo v kmetijstvu, kjer se uporablja v obeh zgoraj navedenih smereh, in to tako pri proizvodnji novih sestavnih delov (npr. navari, odporni proti obrabi na funkcijskih ploskvah plužnih rezil) kakor pri popravilih sestavnih delov, ki so obrabljeni zaradi delovanja (npr. navari vreten, zatičev ipd.) ([1], [5], [6] in [9]).

Velik pomen pripisujejo tehnologiji navarjanja tudi proizvajalci dodajanih materialov. Praktično vsa podjetja ponujajo v svoji zalogi navadno tudi posebne navarjene materiale ([1] in [10]).

V nekaterih primerih je mogoče sestavni del z navarjeno površino uporabiti brez dodatnih posegov, drugje je treba navar izravnati, nekje pa je zopet nujno potrebno navarjeno površino iverasto obdelati. Razlogi za mehansko obdelavo navara so predvsem zahteve po obliki in izmerah sestavnih delov, morebitno hrapavost površine izdelka.

Navari pa imajo v primerjavi z vlečenimi ali valjanimi polizdelki nekatere različne lastnosti, ki izhajajo iz značaja tehnologije navarjanja, predvsem:

- površina navara je neravna – zaradi tega nastopa prekinjevano rezanje, kar povča obremenitev rezalnega robu,
- kemična sestava navarjenega materiala se pod vplivom segrevanja in mešanja navarjenega ter osnovnega materiala pri navarjanju razlikuje od kemične sestave navarjene plasti,
- lastnosti navara so občutljive na razmere pri hlajenju po navarjanju – to povzroča spremembe mehanskih lastnosti in njihovo večjo razpršitev.

Do sedaj še niso bili objavljeni povzeti normativi o obdelavi navarov in pri iskanju rezalnih pogojev moramo izhajati iz posamezno objavljenih informacij ali pa iz rezultatov lastnih preskusov. V nekaterih objavljenih prispevkih pa žal niso navedeni potrebni podatki. Avtorji so se na primer omejili samo na ugotovitev, da “je bil navar obdelan”, vendar niso

some are more or less different. Today, the surfacing has become a separate field of engineering that has developed very rapidly in recent years.

Surfacing technology is used in practice for both the production of new parts with laxers that have specific properties, and for the renovation of worn out surfaces. In both cases the use of a suitable overlay may result in savings in terms of material, power and work, and in many cases in an increase of the overlay's service life.

The development of both the above-mentioned fields is evidenced by the number of contributions in special literature, scientific journals, and at conferences, etc. Surfacing technology is used in many different fields, e.g. metallurgy, nuclear-power supply, medicine, traffic, materials handling, petrochemistry, renovation of brick moulding presses, old cultural monuments and other fields. Surfacing is also often employed in agriculture, where surfacing is used for the production of new part, e.g. wear-resistant overlays on the functional surfaces of plough shares, and for the renovation of worn out in-service parts, e.g. overlays on shafts, pins, etc. ([1], [5], [6] and [9]).

Manufacturers of filler materials are also involved in surfacing technology. In practice, all such firms offer conventional and special filler materials in their range ([1] and [10]).

In some cases it is possible to use the part with an overlay without any additional finish, but sometimes it is necessary to machine the welded-on surface. The reasons for the additional machining of the overlay are based on the requirements for the shape and size of the part, and on the surface roughness.

The overlays have, in comparison with drawn or rolled semi-products, some different properties, which follow from the principle of surfacing technology. These are as follows:

- major unevenness of the overlay surface – the cutting changes in the zone of the interrupted cut, which taxes the tool heavily,
- the chemical composition of the overlay is different from the chemical composition of the wire for welding owing to loss by burning and by mixing of the basic and the wire materials,
- the overlay properties are sensitive to the cooling conditions after surfacing – it affects changes to the mechanical properties and so introduces significant scatter in their range of values.

So far there have been no complete standards published, and so when deciding on cutting conditions it is necessary to start with partial published information or with the results of one's own tests. But in some published information the necessary data is not included. The authors only state that “the overlay was machined”, and do not

navedli morebitnih pogojev za to obdelavo. Zato je uporaba teh rezultatov v praksi problematična [1].

Na naši katedri se s problematiko obdelave različnih tipov navarov z različnimi rezalnimi materiali ukvarjamo že vrsto let. V tem obdobju smo preskusili orodja iz karbidnih trdnin, kubičnega borovega nitrida in rezalne keramike ([1] do [4]). Namen izvedenih preskusov je, da na osnovi dolgotrajnih preskusov obstojnosti orodja pridobimo temelje za določitev optimalnih rezalnih parametrov za struženje navarjenih plasti. V naslednjem prispevku so povzeti rezultati preskusov, narejenih z orodji podjetja Walter.

## 1 TEORIJA

### 1.1 Preskusi obstojnosti

Eden od temeljev, potrebnih za izvedbo optimizacije rezalnih razmer je poznavanje odvisnosti med obstojnostjo in rezalnimi parametri:  $T = f(v_c)$  oziroma  $T = f(v_c, f, a_p)$ . Ta spada med najpomembnejše odvisnosti teorije rezanja. Iz teh matematičnih razmerij izhajamo tako pri izbiri optimalnih rezalnih parametrov z vidika varčnosti postopka obdelave kakor tudi pri ugotavljanju rezalnih sposobnosti materiala orodja in obdelovalnosti obdelovanega materiala ipd. [8].

Odvisnost obstojnosti od rezalne hitrosti ugotavljamo eksperimentalno, s t.i. obrabnimi preskusi. V bistvu razlikujemo dva osnovna tipa teh preskusov – dolgotrajne in kratkotrajne.

Postopek pri dolgotrajnih preskusih je naslednji [7]:

- določimo časovni potek obrabe (sl. 1), npr.  $VC = f(t)$ , za različne rezalne hitrosti  $v_{c1}, v_{c2}, v_{c3}, \dots$  (drugi parametri so nespremenljivi),
- določimo dopustno obrabo, npr.  $VC_{adm}$  in iz značilnih krivulj obrabe odberemo vrednosti obstojnosti za posamezne rezalne hitrosti in

publish the machining conditions. Making use of such results is problematic [1].

In our department we have engaged in the problems of machining various overlay types using various cutting materials for a number of years. During this time we have tested tools with cemented carbides, cubic boron nitride and ceramics ([1] to [4]). The aim of the long-term tool-life tests was to determine the basis for finding the optimum cutting conditions for the turning of overlays. In this paper we present the results of tests made using Walter tools.

## 1 THEORY

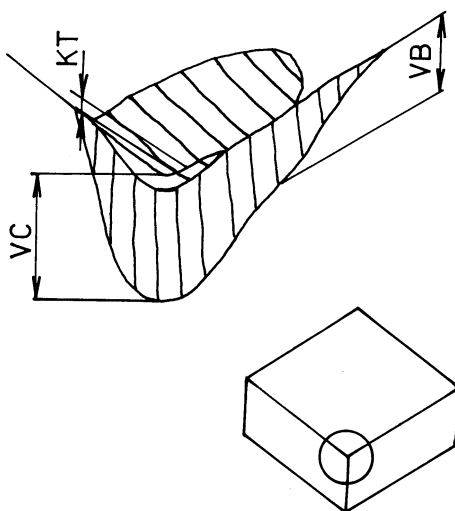
### 1.1 Tool-life tests

Knowledge of the relationship between tool-life and cutting conditions  $T = f(v_c)$ , resp.  $T = f(v_c, f, a_p)$  is one of the basic elements needed for optimizing the cutting conditions. This relationship is one of the most important relationships in cutting theory. These equations are the basis both for the selection of the optimum cutting conditions, from the point of view of cutting economy, and for the determination of the cutting property of the tool material and the machinability of the machined material, etc. [8].

The relationship tool-life to cutting speed is determined experimentally by so-called durability tests. In principle, we distinguish two basic classes of these tests: long-term and short-term tests.

The procedure for the long-term tests is as follows [7]:

- we determine the time course wear (Fig. 1), e.g.  $VC = f(t)$  for different cutting speeds  $v_{c1}, v_{c2}, v_{c3}, \dots$  (the other parameters are constant),
- we determine the terminal flank wear, e.g.  $VC_{adm}$ , and from the characteristic wear curves we read the tool-life values relevant to single cutting



Sl. 1. Shema merjenja obrabe rezalnega robu orodja  
Fig. 1. Measuring diagram of tool edge wear

- meritve,
- vrednosti obstojnosti, ki ustrezajo posameznim rezalnim hitrostim, prenesemo v logaritemske koordinate  $T - v_c$  (primer na sl. 7).

Zaradi večje natančnosti ugotovljenih odvisnosti je treba ves postopek izpeljati večkrat, da bo vsaj delno izločen vpliv nepričakovanih naključnih pojavov, ki povzročijo razpršitev vrednosti obstojnosti. Rezultati, pridobljeni z dolgotrajnimi preskusi, so razmeroma natančni, vendar zelo dragi zaradi porabe časa in materiala.

## 1.2 Optimizacija rezalnih parametrov

Optimizacija rezalnih parametrov predstavlja enega od najpomembnejših členov vse optimizacije proizvodnega procesa (optimizacija tehnoloških postopkov, orodij, strojev, strege ipd.). Optimalni rezalni parametri so tesno povezani z gospodarskimi, količinskimi oziroma kakovostnimi vidiki proizvodnje in vplivajo tako na ceno posameznih sestavnih delov kakor tudi na ves izdelek.

Optimizacijo rezalnih parametrov razumemo kot določitev optimalnih rezalnih razmer s poudarkom na tehničnih in organizacijskih omejitvah in kriterijih optimalnega poteka oziroma rezultata rezalnega postopka.

Obdelovalni postopek lahko presojamo z različnimi merili optimalnosti glede na zahtevo njegovega poteka oziroma rezultata.

Za izračun se lahko uporabijo tile kriteriji:

- kriterij najmanjših proizvodnih stroškov,
- kriterij najmanjše produktivnosti,
- kriterij največjega dobička.

Kot najpomembnejši od vseh kriterijev se šteje kriterij najmanjših proizvodnih stroškov [8].

Grafično je kriterij najmanjših proizvodnih stroškov ponazorjen na sliki 2. Člen  $K_1/n$ , ki pada z rezalno hitrostjo, izraža stroške za delovanje stroja, člen  $K_2/n \cdot T$ , ki se povečuje z rezalno hitrostjo, izraža stroške za uporabo orodja. Člen  $K$  izraža stroške, ki so neodvisni od rezalne hitrosti (npr. vpenjanje in izpenjanje obdelovanca, merjenje ipd.), katerih velikost pa ne vpliva na izračun [1].

S slike 2 je očitno, da ima kakršenkoli odmik od optimalne rezalne hitrosti k manjšim ali večjim vrednostim za posledico povečanje stroškov za obdelavo želene dolžine navara. Iz oblike krivulje skupnih stroškov lahko presodimo velikost rasti stroškov ob neupoštevanju optimalne rezalne hitrosti. Najpogostejši nujni razlog odmika je uporaba obdelovalnega stroja s stopenjsko spremembo vrtljajev, na katerem ni mogoče natančno nastaviti vrtljajev, ki bi ustrezali izračunani optimalni rezalni hitrosti. Zato, če je to le mogoče, uporabljamo obdelovalne stroje z večjim številom stopenj vrtljajev ali moderne obdelovalne stroje z brezstopenjskim spreminjanjem vrtljajev.

speeds and measurements,

- we plot the tool-life values of single cutting speeds using logarithmic coordinates  $T - v_c$  (cf Fig. 7).

For an increase in accuracy it is necessary to repeat the whole process in order to eliminate at least some of the influence of unforeseeable random events that induce scattering when determining tool-life values. The results acquired by long-term tests are relatively accurate, but in terms of time and material they are very expensive.

## 1.2 Optimization of the cutting conditions

Optimization of the cutting conditions is one of the most important elements in the manufacturing process (optimization of the technological process, of the tools, of the machines, of the handling etc.). Optimum cutting conditions are closely connected with the economic, quantitative and qualitative aspects, and in this way they affect the price of individual parts, and so the price of the whole product.

Optimization of the cutting conditions is understood as the determination of the optimum cutting conditions with regard to technical limitation, organizational limitation and the criterion of optimum course of the cutting process result.

It is possible to consider the cutting process according to different criteria, the requirement on this course is the result.

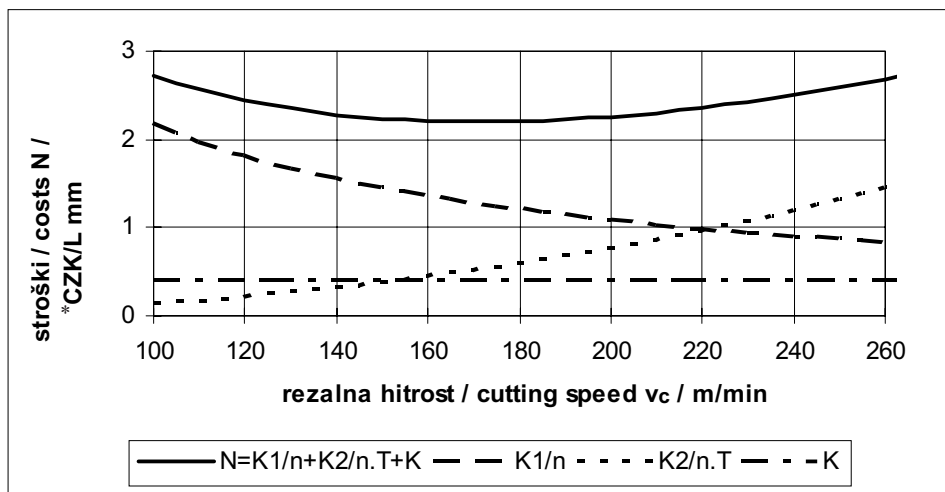
For the calculation it is possible to use the following criteria:

- the criterion of minimum production costs,
- the criterion of maximum productivity,
- the criterion of maximum profit.

The criterion of minimum production costs is considered as the most important [8].

The criterion of minimum production costs is graphically represented in Fig. 2. Line  $K_1/n$ , decreases when the cutting speed increases, this represents machine-tool service costs; line  $K_2/n \cdot T$ , increases when the cutting speed increases, this represents tool service costs. Line  $K$  represents costs that do not depend on the cutting speed (e.g. workpiece clamping, size measuring etc.), which have no influence on the calculation [1].

From Fig. 2 it follows that any kind of deviation from the optimum cutting speed to lower or higher values results in an increase in the machining costs of a given overlay length. From the form of the total costs line it is possible to judge how the costs grow when the optimum cutting speed is not achieved. The most common reason for deviation is the use of a machine-tool with a speed that changes in steps, when it is not possible to set the exact spindle revolutions according to the calculated optimum cutting speed. If possible, therefore, we use machine-tools with more revolution steps or modern machine-tools with stepless speed variation.



\*CZK - češka krona (denarna enota) / czech crown (monetary unit)

Sl. 2. Grafična ponazoritev kriterija najmanjših stroškov proizvodnje  
Fig. 2. Graphical representation of the minimum machining costs criterion

Matematično je mogoče kriterij proizvodnih stroškov pri enozmenskem delu in operaciji na namenskem stroju, ob uporabi orodij z izmenljivimi ploščicami, izraziti z enačbo:

$$N = \min \left( \frac{K_1}{n} + \frac{K_2}{n.T} + K \right) \quad (1),$$

kjer sta  $n = f(v_c)$ ,  $T = f(v_c)$ .

Posamezne stroškovne postavke se izračunajo iz naslednjih enačb:

$$K_1 = \frac{L}{f} \cdot N_s C_m$$

$$K_2 = \frac{L}{f} \cdot (t_{102} \cdot N_{102} C_m + N_n T)$$

$$N_s C_m = k_c \cdot \frac{T_{j0}}{60} \left( 1 + \frac{R_d}{100} \right) + \frac{N_{hs}}{60}$$

$$N_{hs} = O_s \cdot k_{us} + C_E$$

$$O_s = \frac{C_s}{Z_s \cdot C_f}$$

$$N_n T = \frac{C_d \cdot z_d}{z_b \cdot S_b} + (1 + k_{ut}) \cdot \frac{C_{tn}}{z_o}$$

kjer je pomen simbolov podan v preglednici 1.

Grafični rezultat izračuna je prikazan na sliki 2. Računalniški program omogoča, ob kakršnikoli spremembi katere od zgoraj navedenih veličin, zelo hiter izračun spremenjenih optimalnih rezalnih parametrov.

## 2 EKSPERIMENTALNI DEL

### 2.1 Osnovni in navarjeni material

Preskusni vzorci za navarjanje so bili narejeni iz jekla 14 220 (po ČSN 41 4220). Kemična sestava jekla po normi je: C = 0,14 – 0,19, Si = 0,17 – 0,37, Mn = 1,10 – 1,40, Cr = 0,8 – 1,4,  $P_{maks} = 0,035$ ,  $S_{maks} = 0,035$ ; kemična sestava po analizi pa je bila:

The minimum machining costs criterion during single-shift operation, single-machine operation and using tools with inserts can be expressed mathematically with equation:

where  $n = f(v_c)$ ,  $T = f(v_c)$ .

The single costs are calculated from following equations:

where the symbols are identified in Tabel 1.

The graphical result of this calculation is in Figure 2. The PC program enables the rapid calculation of changed optimum cutting conditions for any change of the above-mentioned inputs.

## 2 EXPERIMENTAL SECTION

### 2.1 Basic and welded-on materials

The test samples for surfacing were made from the steel 14 220. The nominal percentage composition of the steel (according to ČSN 41 4220) is: C = 0.14 – 0.19, Si = 0.17 – 0.37, Mn = 1.10 – 1.40, Cr = 0.8 – 1.4,  $P_{maks} = 0.035$ ,  $S_{maks} = 0.035$ ; the composition according to the analysis



Preglednica 1. Pomen simbolov v enačbi (1) (simboli so uporabljeni po [8])  
 Table 1. Symbols used in equation (1) (the symbols are used according to [8])

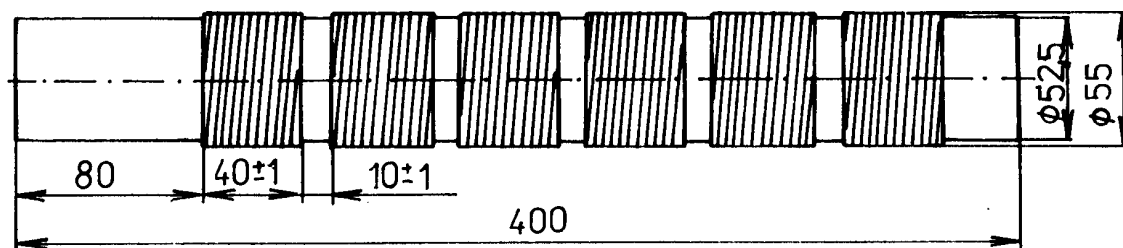
$L$	dolžina obdelave / section length, mm	$n$	vrtljaji / revolutions, $\text{min}^{-1}$
$D$	premer dela po navarjenju / section diameter after surfacing, mm	$v_c$	rezalna hitrost / cutting speed, $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$
$f$	podajanje / feed, $\text{mm}\cdot\text{rev}^{-1}$	$T$	obstoynost orodja / tool life, min
$k_c$	dodatek za delo v izmenah / addition to shift time, -	$T_{fo}$	urna postavka delavca / workman's wages tariff, $\text{CZK}\cdot\text{h}^{-1}$
$R_d$	stroški režije obrata / shop overhead, %	$k_{us}$	koeficient vzdrževanja in popravila strojev / machine maintenance and repair coefficient, -
$C_E$	stroški energije / electrical energy costs, $\text{CZK}\cdot\text{h}^{-1}$	$C_s$	nabavna cena stroja / machine price, CZK
$Z_s$	obratovalna doba stroja / machine service life, leto / year	$C_f$	razpoložljive ure / time fund, $\text{ura}\cdot\text{leto}^{-1}$ / $\text{h}\cdot\text{year}^{-1}$
$t_{102}$	čas za zamenjavo ploščic / insert changing time, min	$N_{102Cm}$	ali / here = $N_{sCm}$ (ali je strugar ali hkrati tudi skrbi za stroj / turner is also tool setter)
$C_d$	cena ploščic / insert price, CZK	$z_d$	število ploščic v držalu / insert number on toolholder, -
$z_b$	število rezalni robov ploščice / number of cutting edges on the insert, -	$s_b$	izkoristek ploščice / insert utilization factor, -
$k_{ut}$	koeficient vzdrževanja orodja / tool maintenance coefficient, -	$C_m$	stroški držala / toolholder price, CZK
$z_o$	domnevno število obrabljenih robov / supposed number of cutting edges worn out, -		

$C = 0,156$ ,  $Si = 0,32$ ,  $Mn = 1,18$ ,  $Cr = 0,97$ ,  $Ni = 0,04$ .  $Mo = 0,034$ ,  $V = 0,009$ ,  $P = 0,014$  and  $S = 0,008$ . Jeklo 14 220 približno ustreza npr. jeklu TYPE 5 po normi ISO 683/11, jeklu 16MnCr5 (po normi EN 10084), jeklu 16MnCr5 (DIN 17 210), jeklu 18ChG (GOST 4543), jeklu 16MC5 (NF A 35-551) ali jeklu Gr. 5120 (ASTM A506). To jeklo je bilo izbrano glede na njegovo uporabo pri gradnji kmetijskih strojev. Za preskuse so bile uporabljene palice z navari s premerom 55 mm in z dolžino 400 mm. Oblika in dimenzije preskusnih palic so razvidne s slike 3.

Navar je bil izdelan z uporabo pulznega MIG/MAG varjenja v zaščitni atmosferi ogljikovega dioksida ( $\text{CO}_2$ ) z žico C 508. Deklarirana kemična sestava žice je:  $C = 0,3$ ,  $Si = 1,1$ ,  $Mn = 1,0$ ,  $Cr = 1,0$  [10]; kemična sestava po analizi:  $C = 0,302$ ,  $Si = 1,13$ ,  $Mn = 1,01$ ,  $Cr = 1,03$ ,  $Ni = 0,03$ ,  $Mo = 0,007$ ,  $V = 0,005$ ,  $P = 0,018$  and  $S = 0,008$  (material C 508 približno ustreza npr. materialu OK AUTROD 13.89 podjetja ESAB ali materialu FOX DUR 250 IG podjetja Böhler [10]), s premerom 1,2 mm. Uporabljen je bil avtomat za navarjanje NVE 301 z virom varilnega toka Kv 200 in pozicionirno napravo PSH 02.

is:  $C = 0.156$ ,  $Si = 0.32$ ,  $Mn = 1.18$ ,  $Cr = 0.97$ ,  $Ni = 0.04$ .  $Mo = 0.034$ ,  $V = 0.009$ ,  $P = 0.014$  and  $S = 0.008$ . The steel approximates, for example, to the steel TYPE 5, according to the standard ISO 683/11, to the steel 16MnCr5, according to the standard EN 10084, to the steel 16MnCr5 (DIN 17 210), to the steel 18ChG (GOST 4543), to the steel 16MC5 (NF A 35-551) or to the steel Gr. 5120 (ASTM A506). This steel was chosen because it is used widely in agricultural machinery. For the tests we used rods with overlays of 55-mm diameter and 400-mm length. The shapes and dimensions of the tested rods with overlays are evident in Fig. 3.

The overlay was deposited pulsed MAG surfacing under a carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) shield using C 508 wire. The nominal percentage composition of the wire is:  $C = 0.3$ ,  $Si = 1.1$ ,  $Mn = 1.0$ ,  $Cr = 1.0$  [10], the composition according to the analysis is:  $C = 0.302$ ,  $Si = 1.13$ ,  $Mn = 1.01$ ,  $Cr = 1.03$ ,  $Ni = 0.03$ ,  $Mo = 0.007$ ,  $V = 0.005$ ,  $P = 0.018$  and  $S = 0.008$  (the material C 508 approximates, for example, to the material OK AUTROD 13.89 of the firm ESAB or to the material FOX DUR 250 IG of the firm Böhler [10]), 1.2-mm diameter. The NVE 301 automatic welder, the Kv 200 power supply and the positioner PSH 02 were used.



Sl. 3. Oblika in izmere preskusnih palic z navari  
 Fig. 3. Shapes and dimensions of tested rods with overlays

Žico C 508 proizvajalec priporoča za pulzno navarjanje (predvsem valjanih) površin sestavnih delov z manjšimi premeri (min. 20 mm). Navarjanje je potekalo pod pogoji, ki so običajni v praksi (pregl. 2). Povprečna trdota navarjene plasti je bila 44 HRC.

## 2.2 Material orodja

V celoti smo preskusili šest rezalnih materialov podjetja Walter. Vsi testirani orodni materiali so bili dobavljeni v obliki IP, vrste „trigon“. Njihova natančnejša opredelitev je očitna iz preglednice 3. Pri preskusih so bile IP pritrjene v držalo podjetja Walter, tipa PWLNR 2525 M 08.

Za vsa ta orodja so bili izvedeni orientacijski preskusi obstojnosti. Zadovoljivi rezultati so bili doseženi pri rezalnih materialih WAK 10 in WTA 13, s katerimi so bili izvedeni preskusi dolgotrajne obstojnosti. Njihov namen je bilo določiti odvisnost obstojnosti  $T$  v min - od rezalne hitrosti  $v_c$  v  $m \cdot min^{-1}$ . Na temelju rezultatov, doseženih pri drugih, v preskuse uvrščenih rezalnih materialih, lahko poudarimo, da za obdelavo navara žice C 508 niso primerni.

## 3 REZULTATI

Preskusi obstojnosti IP so bili pri obdelavi navarov izpeljani na stružnici C 11 A (najv. premer obdelovanca = 425 mm, najv. dolžina obdelovanca 1050 mm). Stružnica ima vrtljaje razdeljene v vrsti, s koeficientom 1,4. Realne vrednosti obstojnosti IP so

Preglednica 2. Parametri navarjanja  
Table 2. Surfacing parameters

Tok navarjanja / surfacing current	regulacijska stopnja / current setting	stopnja 6 step 6
napetost polkroga / voltage	V	12,5
frekvenca vibracij / vibration frequency	Hz	70
podajanje žice / wire feed	$m \cdot min^{-1}$	2,3
vrtljaji vretena pričvrščevalne priprave / positioner spindle revolutions	$min^{-1}$	5,3
pomik vozička / carriage feed	$mm \cdot rev^{-1}$	2,07
količina $CO_2$ / $CO_2$ feed rate	$l \cdot min^{-1}$	11
premer varjenca pred navarjanjem / sample diameter before surfacing	mm	52,0
premer varjenca po navarjanju / sample diameter after surfacing	mm	55,0
debelina navara / layer thickness	mm	1,5

Preglednica 3. Pregled preskušanih rezalnih materialov [10]  
Table 3. Summary of tested cutting materials [10]

Tip NOP / insert type	označitev materiala orodja / tool material	oblika orodja / chip former shape
WNMG 080404	WAP 10 / HC P 10	NM4
WNMG 080404	WAP 20 / HC P 20	NM 4
WNMA 080404	WAK 10 / HC K 10	x
WNMG 080404	WMG 20 / HC K 20 - 30	NM4
WNMA 080412	WAK 10 / HC K 10	x
WNMG 080412	WTA 13 / HC K 10	NM 5

The manufacturer recommends the wire C 508 for pulsed surfacing of worn out (especially cylindrical) parts with a small diameter (but a minimum of 20 mm). The surfacing was made under the usual conditions (Tab. 2). The mean overlay hardness was 44 HRC.

## 2.2 Tool material

Altogether we tested six tool materials from the firm Walter. All the tested tool materials were delivered in the form of “trigon” inserts. More details can be found in Tab. 3. The inserts were clamped in the PWLNR 2525 M 08 holder from Walter.

For all these tools we tested the short-term orientation tests of tool-life. For the tool materials WAK 10 and WTA 13 we obtained favourable results. Using these tool materials we made the long-term tests. The aim was to determine the relationship between tool-life  $T$  [min] and cutting speed  $v_c$  [ $m \cdot min^{-1}$ ]. On the basis of the test results of other tested tool materials it is possible to state that for the machining of a C 508 overlay these materials are not useful.

## 3 RESULT SECTION

When machining the overlay the tool-life tests were made on C 11 A lathe (maximum workpiece diameter 425 mm, maximum turning length 1050 mm), enabling the gradual setting of the number of revolutions with a multiplier of 1.4. The real tool-life

bile za preskusne rezalne materiale ugotovljene pri vrtljajih  $n = 710 \text{ min}^{-1}$ ,  $n = 1\,000 \text{ min}^{-1}$  oziroma  $n = 1\,400 \text{ min}^{-1}$ . Iz rezultatov preskusov izhaja, da bi se pri obdelavi z najbližjimi višjimi oziroma nižjimi nastavljivimi vrtljaji na stružnici dosegle nerealno majhne oziroma nerealno velike vrednosti obstojnosti IP. Zaradi tega je bilo vedno izvedeno nekaj meritev pri vrtljajih  $n = 710 \text{ min}^{-1}$ ,  $n = 1\,000 \text{ min}^{-1}$  oziroma  $n = 1\,400 \text{ min}^{-1}$ . Tem vrtljajem ustreza (pri premeru obdelovanca 55 mm) rezalna hitrost  $v_c = 122,7 \text{ m.min}^{-1}$ ,  $v_c = 172,8 \text{ m.min}^{-1}$  oziroma  $v_c = 241,9 \text{ m.min}^{-1}$ . Vsi preskusi so bili izvedeni pri podajanju  $f = 0,2 \text{ mm.vrt}^{-1}$  in globini reza  $a_p = 1 \text{ mm}$ .

### 3.1 Merjenje obrabe pri rezanju

Pri preskusi je bila izmerjena obraba cepilne ploskve orodja (parameter  $VC$  v mm, ki je bila z vidika obrabljenosti pri rezanju prevladujoča) in hrapavost dokončane površine (parametri  $R_a$  v  $\mu\text{m}$  a  $R_t$  v  $\mu\text{m}$ ) v odvisnosti od trajanja obdelave. Obraba pri rezanju je bila izmerjena z orodjarskim mikroskopom. Pri preskusi je bila izbrana mejna vrednost  $VC_{adm} = 0,8 \text{ mm}$ . Pri prekoračitvi te vrednosti je prišlo do zelo naglega povečanja obrabe in takšna obdelava ni bila varčna.

Časovna odvisnost obrabe cepilne ploskve IP iz materiala WNMA 080412 WAK pri rezalni hitrosti  $v_c = 172,8 \text{ m.min}^{-1}$  je prikazana na sliki 4.

### 3.2 Meritev hrapavosti obdelane površine

Hrapavost obdelane površine je bila izmerjena z napravo SURFTEST 301 podjetja MITUTOYO. Rezultati merjenja hrapavosti obdelane površine za tri preskušane orodne materiale so navedeni v nadaljevanju.

Rezultati meritev časovne odvisnosti hrapavosti  $R_a$  in  $R_t$  po obdelavi navara žice C 508 z

values for the tested tool materials were reached at revolutions of  $n = 710 \text{ min}^{-1}$ ,  $n = 1\,000 \text{ min}^{-1}$ , and  $n = 1\,400 \text{ min}^{-1}$ . From the test results it follows that the machining at the next higher and the next lower revolutions would result in unreasonably low and high tool-life values. Therefore, we made measurements at revolutions  $n = 710 \text{ min}^{-1}$ ,  $n = 1\,000 \text{ min}^{-1}$  and  $n = 1\,400 \text{ min}^{-1}$ . The corresponding cutting speeds were then (at a workpiece diameter of 55 mm)  $v_c = 122.7 \text{ m.min}^{-1}$ ,  $v_c = 172.8 \text{ m.min}^{-1}$  and  $v_c = 241.9 \text{ m.min}^{-1}$ . All tests were made at a feed  $f = 0.2 \text{ mm.rev}^{-1}$  and a depth of cut  $a_p = 1 \text{ mm}$ .

### 3.1 Chip wear measurement

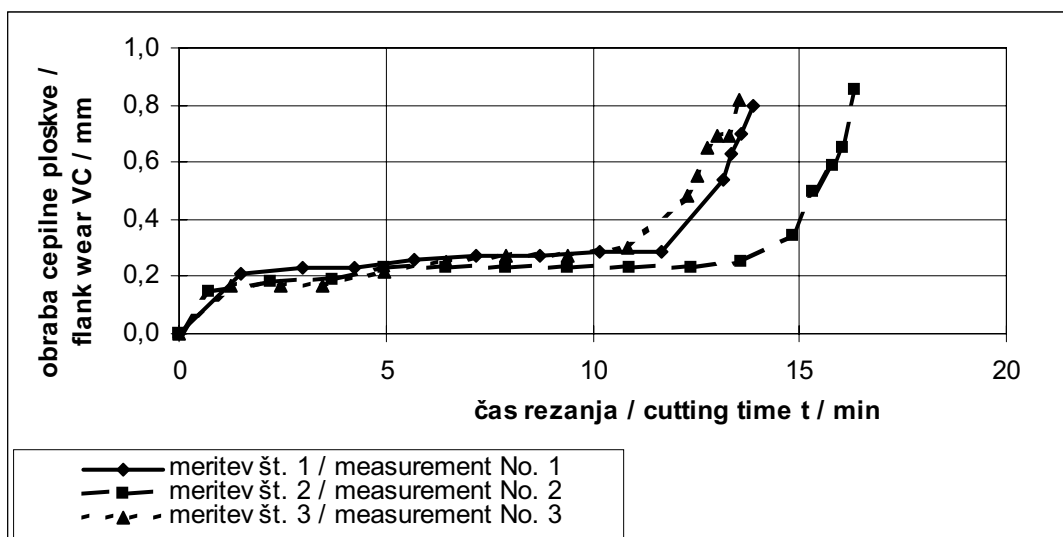
We measured the flank wear (parameter  $VC$  [mm]), which was, from the point of view of chip wear, dominant, and the machined surface roughness (parameters  $R_a$  [ $\mu\text{m}$ ] and  $R_t$  [ $\mu\text{m}$ ]) related to the machining time. The chip wear was measured using a toolmaker's microscope. The limit value was  $VC_{adm} = 0.8 \text{ mm}$ . Exceeding this limit resulted in a large increase in the wear, and the cutting was uneconomical.

The flank wear of the insert WNMA 080412 WAK 10 related to the time can be seen in Fig. 4, for a cutting speed  $v_c = 172.8 \text{ m.min}^{-1}$ .

### 3.2 Machined surface roughness measurements

The surface roughness of the machined surface was measured using the SURFTEST 301 apparatus from MITUTOYO. The results of the roughness measurements for the three tested tool materials are shown below.

The surface roughness measurement results  $R_a$  and  $R_t$  after machining the overlay from C 508 wire



Sl. 4. Časovni potek obrabe pri 1., 2. in 3. meritvi (WNMA 080412 WAK 10)  
Fig. 4. Wear versus time during measurement No. 1, 2 and 3 (WNMA 080412 WAK 10)



rezalnim materialom WNMA 080404 WAK 10 so prikazani na sliki 5 ( $R_a, v_c = 172,8 \text{ m.min}^{-1}$ ) in sliki 6 ( $R_t, v_c = 172,8 \text{ m.min}^{-1}$ ).

with the tool material WNMA 080404 WAK 10 related to the time are illustrated in Fig. 5 ( $R_a, v_c = 172.8 \text{ m.min}^{-1}$ ) and Fig. 6 ( $R_t, v_c = 172.8 \text{ m.min}^{-1}$ ).

### 3.3 Ovrednotenje preskusov

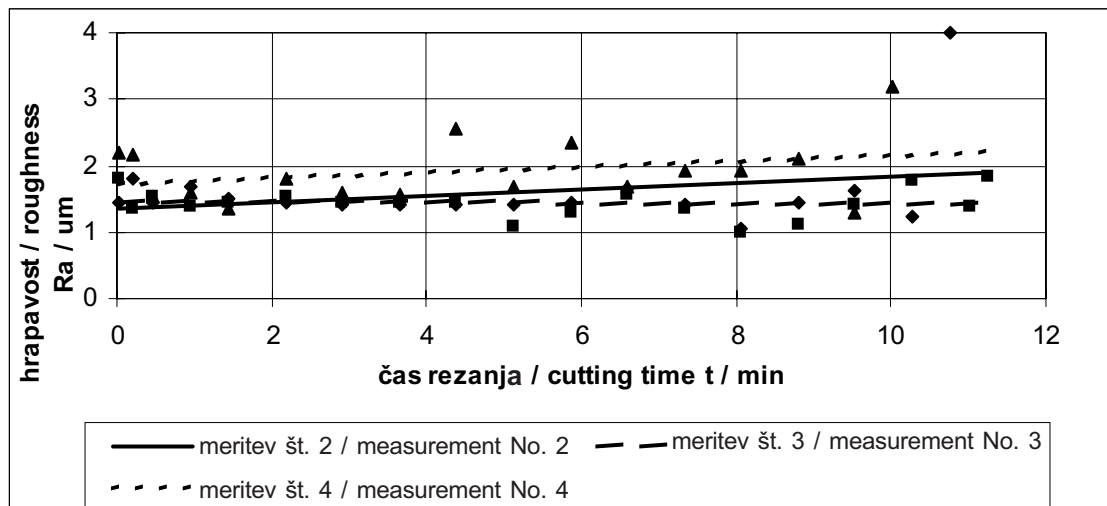
Iz krivulje časovne odvisnosti obrabe cepilne plskovke so bili za vrednost dopustne obrabe  $VC_{adm} = 0,8 \text{ mm}$  določene vrednosti obstojnosti orodja. Te so navedene v naslednjih preglednicah: za orodje WNMA 080404 WAK 10 v pregl. 4, za WNMA 080412 WAK 10 v pregl. 5 in za WNMG 080412 WTA 13 v pregl. 6.

Z vstavitvijo izmerjenih vrednosti (Preglednice 4, 5 in 6), v logaritemski  $v_c-T$  diagram (sl. 7), smo na osnovi premic lahko ugotovili odvisnosti obstojnosti orodja  $T$  od rezalne hitrosti  $v_c$  za tri preskušene kombinacije material navara – materiala orodja (pregl. 7).

### 3.3 Tests evaluation

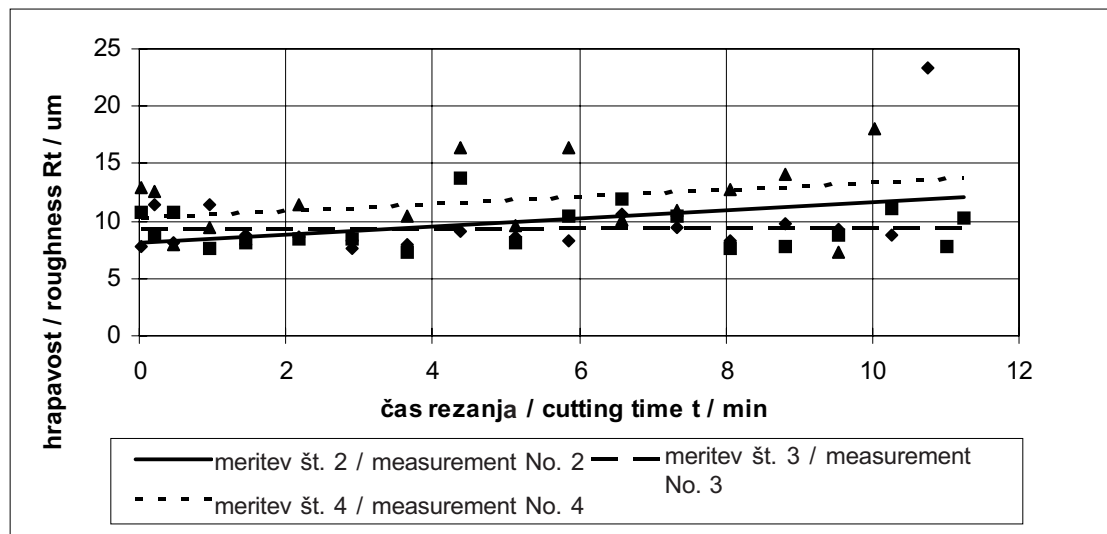
From the flank wear course related to the time we read values of the tool-life for the flank wear of  $VC_{adm} = 0.8 \text{ mm}$ . These values are shown in the following tables: for the tool WNMA 080404 WAK 10 in Tab. 4, for WNMA 080412 WAK 10 in Tab. 5 and for WNMG 080412 WTA 13 in Tab. 6.

These values (Tab. 4, 5 and 6) were plotted in a logarithmic diagram for time  $T$  and cutting speed  $v_c$ . After the straight line interlining (Fig. 7) we established the equation for the relationship between tool-life  $T$  and cutting speed  $v_c$  for the three tested combinations of overlay material and tool material. (Tab. 7).



Sl. 5. Časovni potek hrapavosti  $R_a$  pri 2., 3. in 4. meritvi (WNMA 080404 WAK 10)

Fig. 5. Roughness  $R_a$  versus time during measurements No. 2, 3 and 4 (WNMA 080404 WAK 10)



Sl. 6. Časovni potek hrapavosti  $R_t$  pri 2., 3. in 4. meritvi

Fig. 6. Roughness  $R_t$  versus time during measurements No. 2, 3 and 4

### 3.4 Optimizacija rezalnih razmer

Optimizacija rezalnih razmer na osnovi kriterija najmanjših proizvodnih stroškov je bila izvedena z upoštevanjem odvisnosti navedenih v teoretičnem delu prispevka. Za izračun smo uporabili osebni računalnik. Pri izračunu smo uporabili dejanske dekonomske kazalnike stružilnega obrata in cene, veljavne v Češki republiki (stanje v februarju 2002). Računalniški program je omogočil zelo hiter izračun optimalnih rezalnih pogojev ob spremembi kateregakoli od vstopnih parametrov.

Pri izračunu, ki ga je avtor izvedel z lastnim programom [1], so bile dosežene naslednje vrednosti:  $L=40$  mm,  $D=55$  mm,  $f=0,2$  mm.rev<sup>-1</sup>,  $n=710$ ; 1 000 in 1 400 min<sup>-1</sup>,  $v_c=122,7$ ; 172,8 in 241,9 m.min<sup>-1</sup>,  $T=(2)$ , (3) in (4) v pregl. 7,  $k_c=1,1$ ,  $T_{fo}=60$  CZK.h<sup>-1</sup>,  $R_d=400$  %,  $k_{us}=1,3$ ,  $C_E=0$  (pri optimizaciji ni bila upoštevana),  $C_s=450\ 000$  CZK (vključno 22 % davka na dodano vrednost, DDV),  $\dot{Z}_s=6$  let,  $\dot{C}_f=2\ 008$  h.let<sup>-1</sup>,  $t_{102}=0,5$  min,  $z_d=1$ ,  $z_b=6$ ,  $s_b=1$ ,  $C_d=377,0$  CZK (WAK 10), 380.6 CZK (WTA 13) (vključno 22 % DDV),  $K_{ut}=0,25$ ,  $C_{tn}=3\ 035,40$  CZK,  $z_o=1\ 000$ .

### 3.4 Optimization of the cutting conditions

Optimization of cutting conditions for the minimum production costs criterion was calculated using the relations mentioned in the theoretical part of this article. The calculation was made using a PC. We used the real economic indexes of a turning shop and the prices valid in the Czech Republic (February 2002). The PC program enables a rapid calculation of the optimum cutting conditions for any change of the input parameters.

In the calculation, using the author's own program [1], the following values were used:  $L=40$  mm,  $D=55$  mm,  $f=0.2$  mm.rev<sup>-1</sup>,  $n=710$ ; 1 000 and 1 400 min<sup>-1</sup>,  $v_c=122.7$ ; 172.8 and 241.9 m.min<sup>-1</sup>,  $T=(2)$ , (3) and (4) in table 7,  $k_c=1.1$ ,  $T_{fo}=60$  CZK.h<sup>-1</sup>,  $R_d=400$  %,  $k_{us}=1.3$ ,  $C_E=0$  (it was not taken into consideration),  $C_s=450\ 000$  CZK (including 22 % value added tax, VAT),  $\dot{Z}_s=6$  years,  $\dot{C}_f=2\ 008$  h.year<sup>-1</sup>,  $t_{102}=0.5$  min,  $z_d=1$ ,  $z_b=6$ ,  $s_b=1$ ,  $C_d=377.0$  CZK (WAK 10), 380.6 CZK (WTA 13) (including 22 % VAT),  $K_{ut}=0.25$ ,  $C_{tn}=3\ 035.40$  CZK,  $z_o=1\ 000$ .

Preglednica 4. Rezultati preskusov (C 508, WNMA 080404 WAK 10)

Table 4. Test results (C 508, WNMA 080404 WAK 10)

Meritev / measurement	rezalna hitrost / cutting speed $v_c / \text{m.min}^{-1}$	obstojnost orodja / tool-life $T / \text{min}$
1	122,7	68,1
2	172,8	11,26
3	172,8	9,87
4	172,8	10,68

Preglednica 5. Rezultati preskusov (C 508, WNMA 080412 WAK 10)

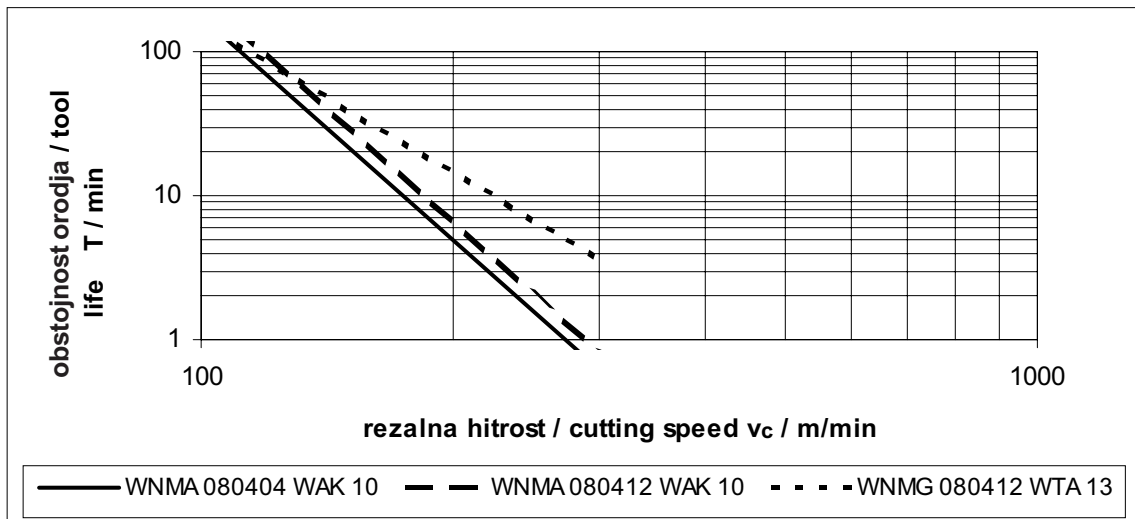
Table 5. Test results (C 508, WNMA 080412 WAK 10)

Meritev / measurement	rezalna hitrost / cutting speed $v_c / \text{m.min}^{-1}$	obstojnost orodja / tool-life $T / \text{min}$
1	172,8	13,86
2	172,8	16,26
3	172,8	13,50
4	241,9	2,33
5	241,9	2,65
6	241,9	2,17
7	241,9	2,95

Preglednica 6. Rezultati preskusov (C 508, WNMG 080412 WTA 13)

Table 6. Test results (C 508, WNMG 080412 WTA 13)

Meritev / measurement	rezalna hitrost / cutting speed $v_c / \text{m.min}^{-1}$	obstojnost orodja / tool-life $T / \text{min}$
1	172,8	21,67
2	172,8	23,72
3	172,8	29,97
4	241,9	5,75
5	241,9	6,95
6	241,9	8,37
7	241,9	11,50



Sl. 7. Odvisnost obstojnosti  $T$  od rezalne hitrosti  $v_c$  (C 508, WALTER)  
 Fig. 7.  $T - v_c$  relationship (C 508, WALTER)

Preglednica 7. Odvisnost obstojnosti  $T$  od rezalne hitrosti  $v_c$   
 Table 7.  $T - v_c$  relationship

Izmenljiva ploščica / insert	$T - v_c$	
WNMA 080404 WAK 10	$T = 3,5798 \cdot 10^{12} \cdot v^{-5,1525}$	(2)
WNMA 080412 WAK 10	$T = 6,7542 \cdot 10^{12} \cdot v^{-5,2149}$	(3)
WNMG 080412 WTA 13	$T = 1,1169 \cdot 10^9 \cdot v^{-3,4199}$	(4)

Grafični rezultat izračuna optimuma je za IP WNMA 080404 WAK 10 naveden na sliki 8, za IP WNMA 080412 WAK 10 na sliki 9 in za IP WNMG 080412 WTA 13 na sliki 10; skupaj za vse tri preskušene IP pa na sliki 11.

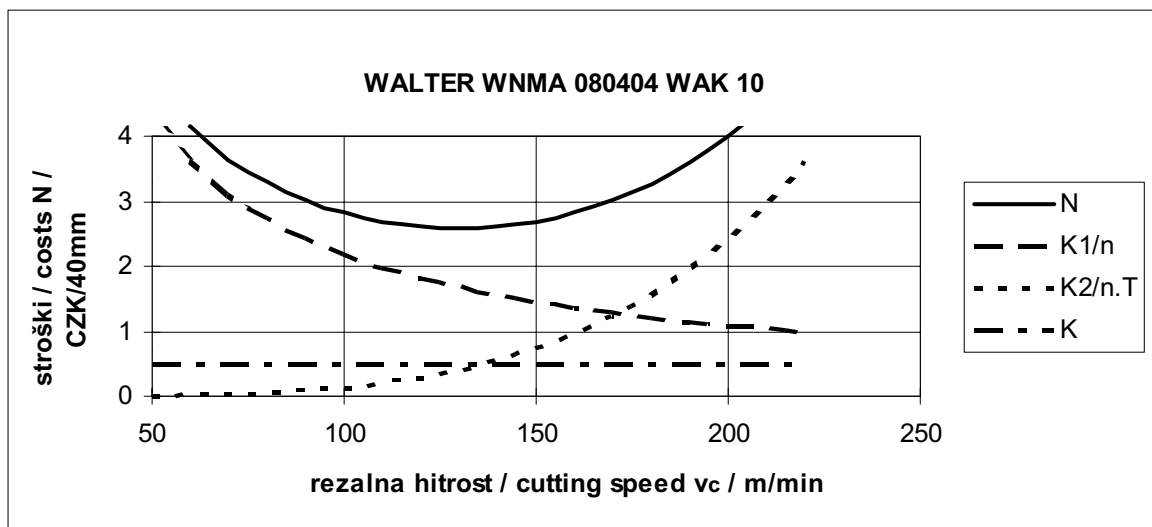
The result of the calculation is graphically represented in Fig. 8 for the insert WNMA 080404 WAK 10, in Fig. 9 for the insert WNMA 080412 WAK 10 and in Fig. 10 for the insert WNMG 080412 WTA 13, and a summary of all three tested inserts is in Fig. 11.

#### 4 RAZPRAVA

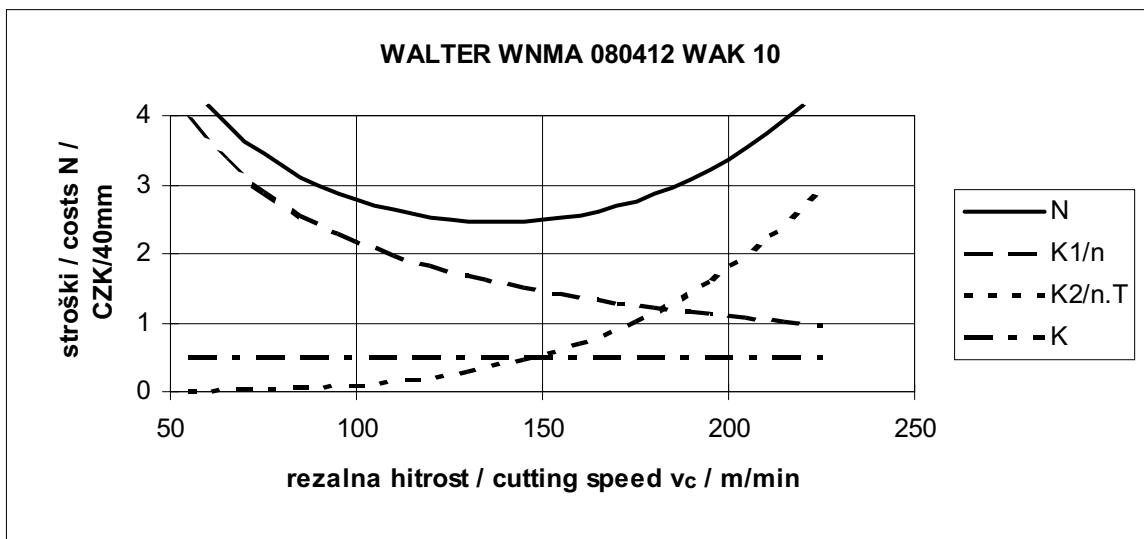
#### 4 DISCUSSION

Skupni rezultati optimizacije rezalnih razmer, izračunani na osnovi podatkov gospodarskih kazalnikov stružilnega obrata v pogojih Češke

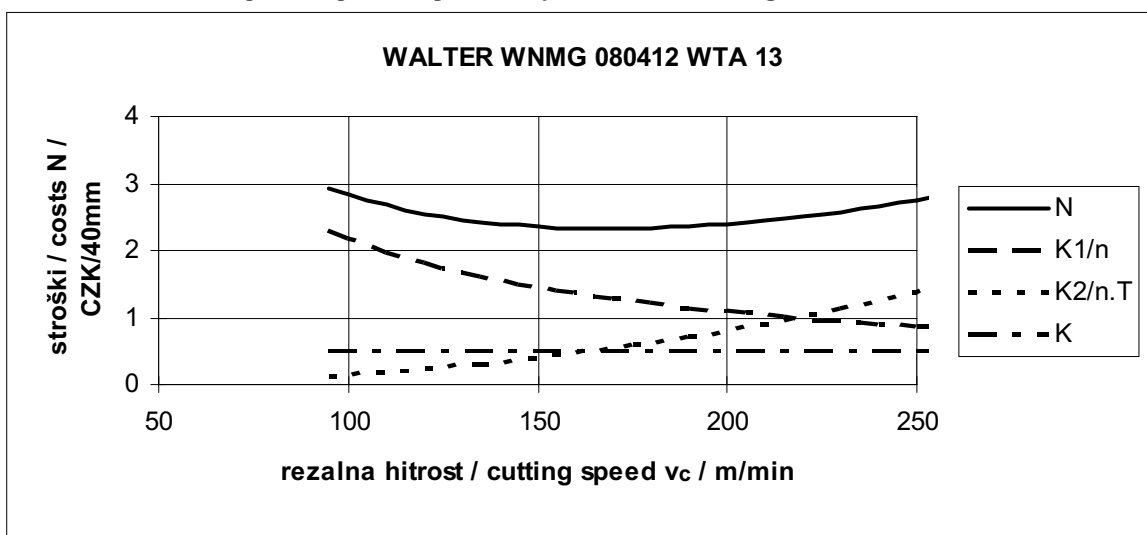
The summary of the results of the cutting-conditions optimization calculated on the basis of the economic indexes of the turning shop for the



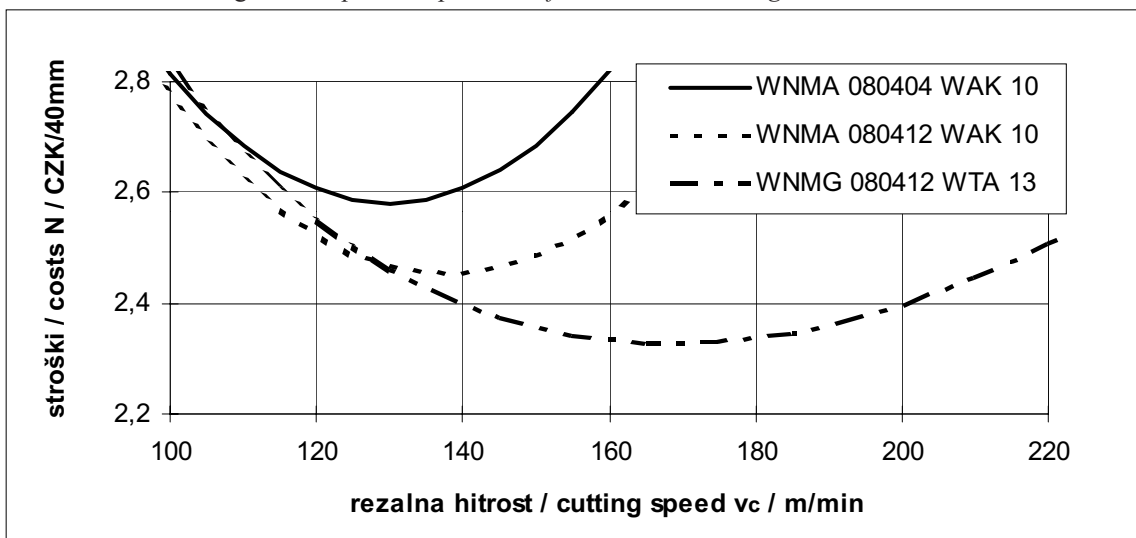
Sl. 8. Grafična ponazoritev kriterija najmanjših stroškov obdelave  
 Fig. 8. Graphical expression of minimum machining costs criterion



Sl. 9. Grafična ponazoritev kriterija najmanjših stroškov obdelave  
 Fig. 9. Graphical expression of minimum machining costs criterion



Sl. 10. Grafična ponazoritev kriterija najmanjših stroškov obdelave  
 Fig. 10. Graphical expression of minimum machining costs criterion



Sl. 11. Grafična ponazoritev kriterija najmanjših stroškov obdelave  
 Fig. 11. Graphical expression of minimum machining costs criterion

republike, so navedeni na sliki 11. S slike je očitno, da ima odvisnost skupnih stroškov od rezalne hitrosti obliko črke "U". Za stvarne razmere gospodarjenja torej vedno obstaja rezalna hitrost, pri kateri so skupni stroški za obdelavo najmanjši. Oblike krivulj za različne materiale orodij pa so različne. Iz oblike krivulje je prav tako očitno, da ima vsak odmik od optimalne rezalne hitrosti za posledico povečanje stroškov obdelave. Za obdelavo je torej najprimernejša uporaba modernih obdelovalnih strojev, ki omogočajo brezstopenjsko spremembo vrtljajev (rezalne hitrosti). Starejši stroji, ki so se do sedaj uporabljali v manjših delavnicah, te možnosti nimajo. Zato je treba v stroške za obdelavo vračunati tudi stroške zaradi neupoštevanja optimalne rezalne hitrosti.

To povečanje je odvisno od oblike krivulje odvisnosti skupnih stroškov od rezalne hitrosti. Iz grafične ponazoritve rezultatov preskusov je očitno, da bo pri ravni krivulji stroškov to povečanje manjše kakor pa pri strmi krivulji stroškov. Rezultati matematične analize tega problema za preučevane materiale orodja so navedeni v preglednici 8.

## 5 SKLEPI

V prispevku so objavljeni rezultati preskusov, ki so bili izvedeni z namenom, da bi določili uporabnost izbranih rezalnih materialov podjetja Walter za obdelavo navara, izdelanega s tehnologijo pulznega MIG/MAG varjenja žice C 508 v zaščitni atmosferi ogljikovega oksida.

V preskuse je bilo skupaj uvrščenih 6 tipov orodnih materialov. Po orientacijskih kratkoročnih preskusih so bili iz preskusov izločeni trije materiali. Preskusi dolgotrajne obstojnosti so bili izvedeni ob obdelavi navara z orodjem WAK 10 in WTA 13 v obliki IP tipa WNMA 080404 in WNMA 080412 oziroma WNMG 080412. Po obdelavi izmerjenih podatkov so bile izračunane enačbe odvisnosti obstojnosti  $T$  od rezalne hitrosti  $v_c$ . Na podlagi znanj teh odvisnosti je bila z uporabo računalniškega programa izvedena optimizacija rezalnih razmer za osnovne gospodarske kazalnike obrata in za cene, veljavne v Češki republiki. Rezultati vrednotenja izmerjenih vrednosti in optimizacije rezalnih razmer na osnovi kriterija najmanjših proizvodnih stroškov so navedeni v preglednici 9.

Preglednica 8. Povečanje stroškov zaradi neupoštevanja optimalne rezalne hitrosti  
Table 8. Costs increase resulting from a less(more)-than-optimum cutting speed

IP / inserts	rezalna hitrost cutting speed $v_{c\text{opt}} / \text{m}\cdot\text{min}^{-1}$	vrtljaji revolutions $n_{\text{opt}} / \text{min}^{-1}$	vrtljaji revolutions $n / \text{min}^{-1}$	povečanja stroškov costs increase $\Delta N / \%$
WNMA 080404 WAK 10	130,00	752,4	710	+ 0,5
			1 000	+ 19,3
WNMA 080412 WAK 10	138,10	799,2	710	+ 2,1
			1 000	+ 11,1
WNMG 080412 WTA 13	168,75	976,6	710	+ 8,5
			1 000	+ 0,1

conditions of the Czech Republic are shown in Fig. 11. It is evident that the relationship between total costs and cutting speed has the shape of the letter U. For concrete economic conditions there always exists a cutting speed for which the total machining costs are at a minimum. However, the shape of the curve for different tool materials can vary. From the shape of the curve we can see, that any kind of elevation from the optimum cutting speed results in an increase in machining costs. Therefore, it is advantageous to use modern machine-tools with a stepless speed variation. Older machine-tools in use up to this time in smaller workshops do not have this possibility. Therefore, it is necessary to include the costs increase in the machining costs when the optimum cutting speed is not achieved.

This increase depends on the shape of the curve of the relationship between total costs and cutting speed. The graphical representation shows that for a flat curve this increase will be less than for a steep one. The mathematical analysis of this problem for the tested inserts is shown in Tab. 8.

## 5 CONCLUSIONS

In this paper we present test results on the usability of tool materials from the firm Walter for machining of the overlay made by pulsed carbon dioxide shielded surfacing technology using wire C 508.

Six types of tool material were tested. After the short-term orientation tests three tool materials were eliminated. The long-term tests of the overlay machining were made using the tool materials WAK 10 and WTA 13 in the form of inserts of the type WNMA 080404, WNMA 080412 and WNMG 080412. After processing the data we calculated the equations of the relationship between tool-life  $T$  and cutting speed  $v_c$ . On the basis of these equations, using a computer program, we calculated the optimum cutting conditions for the basic economic indexes of the workshop and the prices valid in the Czech Republic. The results of the evaluated measured values and the cutting-conditions optimization at the minimum machining costs criterion are shown in Tab. 9.



Preglednica 9. Rezultati preskusov

Table 9. Test results

IP / insert	enačba obstojnosti $T$ - rezalna hitrost $v_c$ $T - v_c$ equation	rezalna hitrost cutting speed $v_{c_{opt}}$ $m \cdot min^{-1}$	obstojnost orodja tool life $T_{opt}$ min	stroški obdelave machining costs $N_{min}$ CZK.40mm <sup>-1</sup>
WNMA 080404 WAK 10	$T = 3,5798 \cdot 10^{12} \cdot v^{-5.1525}$	130,00	45,9	2,58
WNMA 080412 WAK 10	$T = 6,7542 \cdot 10^{12} \cdot v^{-5.2149}$	138,10	46,6	2,45
WNMG 080412 WTA 13	$T = 1,1169 \cdot 10^9 \cdot v^{-3.4199}$	168,75	27,0	2,33

Pri preskusih je bila prav tako izmerjena hrapavost površine, dejansko parametra hrapavosti  $R_a$  in  $R_r$ . Iz vrednotenja izmerjenih vrednosti izhajajo, da se s povečano obrabo (torej s povečanim časom delovanja stroja) oba parametra hrapavosti povečujeta. Hrapavost površine se je v vsem obdobju trajanja gibal v sprejemljivih mejah, le na koncu vsakega preskusa so se izmerjene vrednosti naglo povečale.

Na koncu lahko poudarimo, da je uporaba preskušanih orodnih materialov podjetja Walter, v obliki IP, za obdelavo navara žice C 508 primerna in ekonomsko utemeljena. Najboljši rezultati so bili doseženi z uporabo orodja WNMG 080412 WAT 13.

## ZAHVALA

Prispevek je nastal ob podpori Ministrstva za šolstvo, mladino in telesno vzgojo Češke republike v okviru rešitve raziskovalnega načrta J03/98:41300016.

Along with the tests we measured the surface roughness and the parameters  $R_a$  and  $R_r$ . From the measured values it follows that with increasing wear (and so with increasing working time of the tool) both roughness parameters increase. During the tests the surface roughness was within acceptable limits, only at the end of each test did the measured values increase significantly.

We can conclude that the use of the tested tool materials from Walter in the form of inserts is suitable for overlay machining of an overlay made from C 508 wire. The best results were achieved with using the insert WNMG 080412 WTA 13.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This paper has been supported by the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic as part of research project J03/98:413100016.

## 6 LITERATURA

## 6 REFERENCES

- [1] Brožek, M. (1995) Vybrané problémy navařování [Habilitation práce]. (Selected problems of surfacing. Inaugural dissertation). Praha, 148. - CUA. Technical Fakulty.
- [2] Brožek, M. (1997) Obrábění návaru drátu C 508 nástroji ze slinutých karbidů různých firem. (Machining of overlay made by welding wire C 508 using sintered carbide tools of different firms). *Collection of papers of International Conference DIDMATTECH '97*, Nitra, PF UK 1997, 115 - 118.
- [3] Brožek, M. (2001) Optimalizace řezných podmínek při soustružení navařených vrstev. (Optimization of cutting conditions with turning of overlays). *Proceedings 1-st. International Congress of Precision Machining*. Ústí nad Labem, UJEP 2001, 95 - 100.
- [4] Brožek, M. (2000) Soustružení návaru drátu C 508 nástroji firmy WIDIA. (Turning of overlays made by welding wire C 508 using WIDIA firm tools). *Strojírenská technologie*, V, Nr. 2, 25 - 33.
- [5] Chasuj, A., O. Morigaki (1985) Naplávka i napylenie. (Surfacing technology). Moskva, *Mašinostroenie*, 240.
- [6] Kamenarov, G., U. Pankow (1981) Über die Beeinflussung der Eigenschaften des Grundwerkstoffes bei der Instandsetzungsschweissung vergüteter Einzelteile. (Affecting of basic materials properties at repair work of heat treated parts using surfacing). *Agrartechnik*, 31, Nr. 3, 120 - 121.
- [7] Liemert, G., F. Drábek, J. Ondra, I. Vavřík (1974) Obrábění. (Machining). Praha, *SNTL* 1974, 352.
- [8] Mádl, J., I. Kvasnička (1998) Optimalizace obráběcího procesu. (Optimization of machining process). Praha, *ČVUT* 1998, 168.
- [9] Repair and maintenance welding handbook. ESAB AB, 120.
- [10] Firm literature.

Naslov avtorja: prof. dr. Milan Brožek  
Tehnična fakulteta  
Češka univerza za kmetijstvo  
Kamýcká 129  
165 21 Praga 6 - Suchdol  
Češka republika  
brozek@tf.czu.cz

Authors' Address: Prof. Dr. Milan Brožek  
Technical Faculty  
Czech University of Agriculture  
Kamýcká 129  
165 21 Praha 6 - Suchdol  
Czech Republic  
brozek@tf.czu.cz

Prejeto: 6.5.2002  
Received:

Sprejeto: 22.11.2002  
Accepted: