

# Vlečenje žice iz orodnega jekla Č. 4650

UDK: 669.15-194.3:669-124.4  
ASM/SLA: TS, F28

Arzenšek B., Kosec L., Kos I., Godec A.



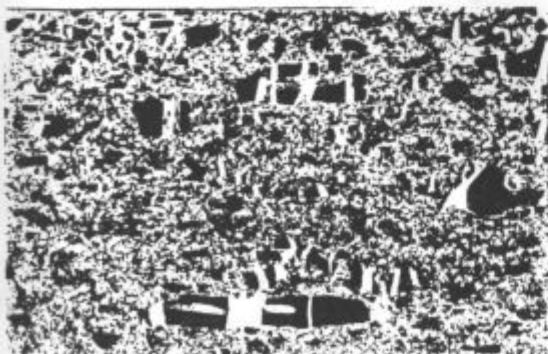
Ugotavljali smo preoblikovalne sposobnosti jekla Č.4650 z namenom, da bi ugotovili, ali ga lahko vlečemo v obliki žice. Njegovo preoblikovalnost smo preizkušali s stiskanjem valjčkov in vlečenjem žice. Ugotavljali smo vpliv temperature, priprave površine žice in mazivne prevleke.

## 1. UVOD

Uporaba orodnih jekel v tankih dimenzijah, premera pod 8 mm, je velika, zato si vsak proizvajalec jekel želi, da bi jih izdeloval tudi v tankih dimenzijah. Najprimernejši način izdelave tankih dimenzij jekla je vlečenje žice.

Eno od takih jekel je jeklo Č.4650, ki ga poznamo tudi pod oznako OCR 12 sp. V svoji sestavi ima predvsem 2,1 % C, 11,5 % Cr in 0,70 % W, uporabljamo pa ga za izdelavo kvalitetnih orodij z visoko obrabno obstojnostjo in dobrimi rezilnimi sposobnostmi. Značilno zanj je, da ima zelo slabe preoblikovalne sposobnosti, zato ga pri sobni temperaturi ne moremo vleči. Zaradi svojih slabih preoblikovalnih sposobnosti se pri vlečenju v hladnem pretrga že pri majhnih deformacijah. Vzrok za njegovo slabo preoblikovalnost so veliki poligonalni primarni karbidi v feritni matici z drobnimi karbidi, ki med preoblikovanjem pokajo. Pokanje karbidov povzroča nastanek mikro razpok, ki so vidne na mikro posnetku preizkušane jekla na sliki 1.

Omenjene mikro razpoke pri nadaljnjem hladnem preoblikovanju naraščajo do pretрга žice, ker jih feritna matica zaradi svojih preslabih preoblikovalnih sposobnosti med nadaljnjim preoblikovanjem ne zapolnjuje.



Slika 1  
Mikrostruktura jekla Č.4650 po vlečenju v hladnem stanju  
Fig. 1  
Microstructure of Č.4650 steel, as cold drawn.

Preoblikovalne sposobnosti feritne matice, in s tem tudi jekla, se z naraščajočo temperaturo preoblikovanja precej izboljšajo, zato smo preoblikovalne sposobnosti jekla ugotavljali pri povišanih temperaturah.

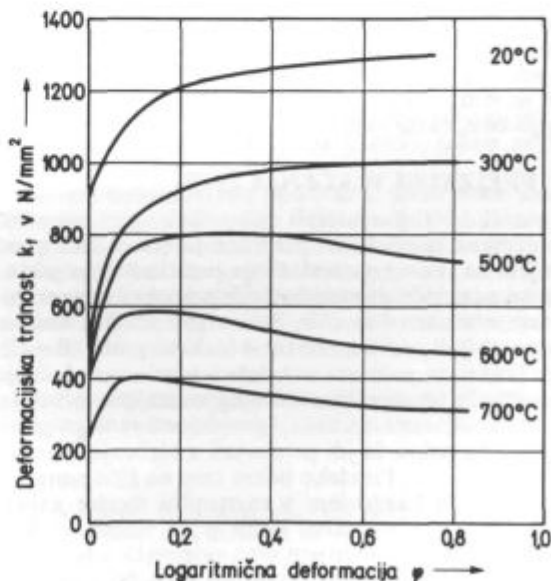
Cilj raziskave je bil, da bi ugotovili, pri katerih temperaturah ima jeklo dovolj dobre preoblikovalne sposobnosti za vlečenje žice. Da bi to ugotovili, smo jeklo preizkušali pri različnih temperaturah, od sobne do 750° C:

- s stiskanjem valjčkov in
- z vlečenjem žice.

## 2. PREIZKUSI STISKANJA

Vpliv temperature na preoblikovalne sposobnosti jekla smo ugotavljali s krivuljami tečenja in iz oblike valjčkov po stiskanju.

Preizkuse stiskanja smo naredili na valjčkih, višine 12 in premera 10 mm, na preizkuševalnem stroju Instron. Hitrost preizkušanja je bila 200 mm/min., temperature stiskanja pa 20, 150, 300, 450, 600 in 700° C. Ogrevanje valjčkov je bilo induktivno. Vse valjčke smo



Slika 2  
Deformacijske trdnosti jekla Č.4650 pri različnih temperaturah  
Fig. 2  
Deformation strength of Č.4650 steel at various temperatures.

stiskali približno do enakih deformacij, do logaritmične deformacije  $\varphi = 1,1$  (do višine 4 mm), kar ustreza vlečenju žice iz premera 8 do 4,6 mm. Med stiskanjem smo registrirali sile stiskanja, iz njih pa izračunali deformacijske trdnosti —  $k_f$ . Primeri deformacijskih trdnosti — krivulje tečenja-jekla pri različnih temperaturah stiskanja so prikazane na sliki 2.

Iz višin deformacijskih trdnosti vidimo, da so preoblikovalne napetosti za omenjeno jeklo pri temperaturi 700° C skoraj štirikrat manjše kot pri temperaturi 20° C. Ker iz poteka krivulj tečenja ne moremo ugotoviti, kako velike deformacije prenese jeklo brez porušitve pri posameznih temperaturah stiskanja, smo pregledali tudi površine valjčkov po stiskanju, ki so prikazane na sliki 3.



Slika 3  
Površine valjčkov iz jekla Č.4650 po stiskanju pri različnih temperaturah  
Fig. 3  
Surface of cylinders of Č.4650 steel after compression at various temperatures.

Pri pregledu površin valjčkov po stiskanju smo ugotovili, da je jeklo med stiskanjem pokalo pri vseh temperaturah pod 700° C. Pri temperaturi 600° C je bilo razpok malo, bile pa so zelo izrazite. Pri nižjih temperaturah so bile manj izrazite, po številu pa jih je bilo več. Drugače je bilo pri temperaturi 700° C, kjer površine valjčkov niso razpokale.

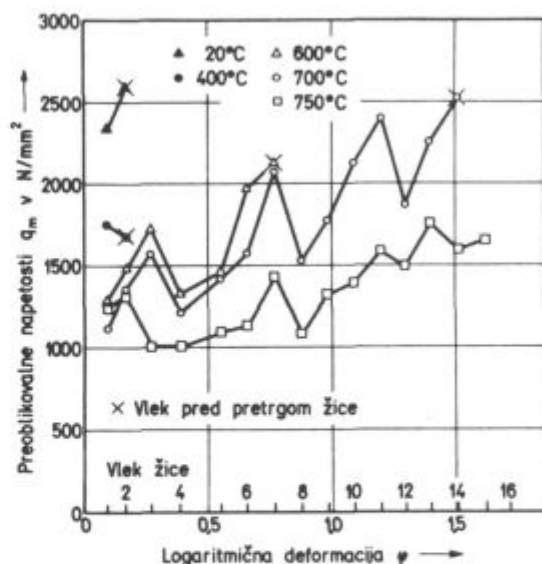
Iz površin valjčkov po stiskanju smo ugotovili, da jeklo Č.4650 ne prenese večjih deformacij pri preoblikovanju do temperature 600° C, pri temperaturi 700° C pa ima dobre preoblikovalne sposobnosti.

Iz površin valjčkov po stiskanju in deformacijskih trdnosti smo ugotovili, da temperatura preoblikovanja jekla zelo vpliva na preoblikovalne sposobnosti jekla ter da so temperature, kjer lahko pričakujemo uspešno vlečenje žice, okoli 700° C.

### 3. PREIZKUSI VLEČENJA ŽICE

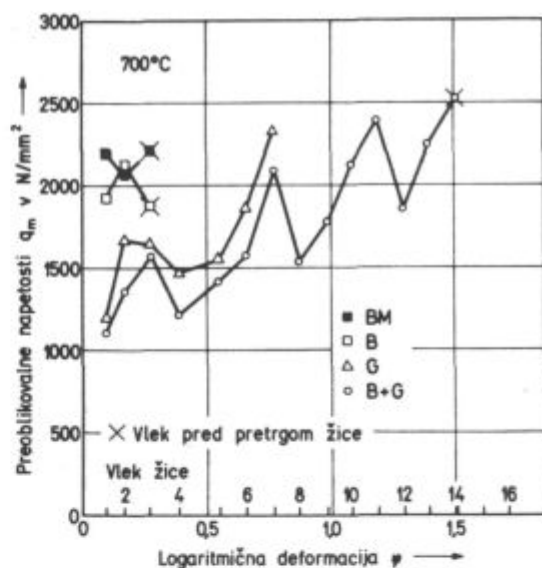
S preizkusi vlečenja smo ugotavljali vpliv temperature, mazivne prevleke in priprave površine žice pred vlečenjem na sposobnosti vlečenja preizkušane jekla.

Preizkuse vlečenja smo naredili pri sobni temperaturi in temperaturah 400, 600, 700 in 750° C. Kot mazivo smo uporabljali prevleko baker + luskasti grafit (B + G), ki je iz literature poznana kot dobro mazivo za vlečenje pri povišanih temperaturah. Poleg omenjene prevleke smo ugotavljali tudi mazivne sposobnosti samega grafita in samega bakra in jih primerjali z vlečenjem nemazanih površin žice. Prevleko bakra smo na žico nanegli s cementacijskim bakrenjem v raztopini modre galice, grafit pa z vlečenjem skozi grafit pred vlečno votlico. Površine žic pred bakrenjem smo pripravili z luženjem (L) ali peskanjem (P). Deformacije žice pri posameznem vleku žice so bile približno 10 %, hitrosti vlečenja pa 0,24 m/s. Preizkuse vlečenja smo naredili na 3 m dolgih koncih žice, ki smo jih pred vlečenjem ogrevali v elektrouporovni žarilni peči.



Slika 4  
Preoblikovalne napetosti jekla Č.4650 pri različnih temperaturah vlečenja, pri mazivni prevleki baker + grafit na peskani površini žice

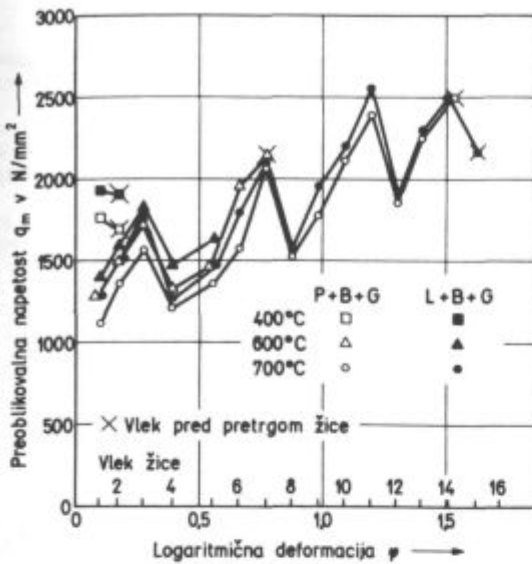
Fig. 4  
Working stresses of Č.4650 steel at various temperatures of drawing, using lubrication coating of copper + graphite on the sand-blasted surface of wire.



Slika 5  
Preoblikovalne napetosti jekla Č.4650 za različne mazivne prevleke, pri temperaturi vlečenja 700° C (BM — brez mazanja, B — baker, G — grafit)

Fig. 5  
Working stresses of Č.4650 steel for various lubricating coatings at the temperature of drawing 700° C (BM — without lubrication, B — copper, G — graphite).

Med vlečenjem smo s posebej izdelano merilno celico, ki smo jo za ta namen skonstruirali in izdelali na Metalurškem inštitutu, merili vlečne sile. Iz vlečnih sil smo izračunali preoblikovalne napetosti, iz katerih smo ugotavljali vpliv temperature, mazivne prevleke in priprave površine žice na vlečenje. Omenjene preoblikovalne napetosti jekla pri različnih načinih vlečenja so



Slika 6

Preoblikovalne napetosti jekla Č.4650 za mazivno prevleko baker + grafit (B + G) na luženi (L) in peskani (P) površini žice pri različnih temperaturah vlečenja.

Fig. 6

Working stresses of Č.4650 steel for the copper + graphite lubricating coating (B + G) on pickled (L) and sand-blasted (P) surface of wire, at various temperatures of drawing.

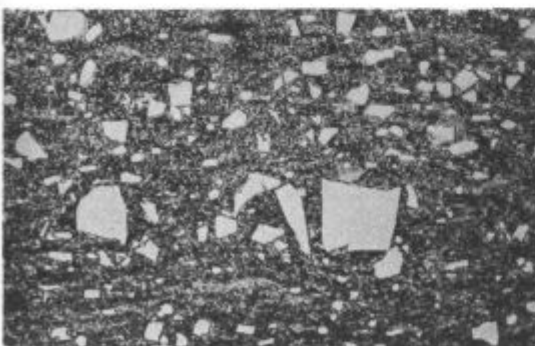
prikazane v diagramih na slikah 4, 5 in 6. Preoblikovalne napetosti jekla ( $q_m$ ) smo izračunali takole:

$$q_m = \frac{F}{\Delta A} \text{ (N/mm}^2\text{)},$$

kjer pomeni F-sila vlečenja v N in  $\Delta A$ -sprememba preseka žice v mm<sup>2</sup> pred vlečenjem in po vlečenju.

### 3.1 Vpliv temperature na vlečenje žice

Na sliki 4 vidimo, da jeklo v hladnem stanju prenese le dva vleka žice, preoblikovalne napetosti pa so zelo visoke. Podobno je tudi pri temperaturi 400° C, kjer so preoblikovalne napetosti pri drugem vleku nižje kot pri prvem, zato ker so mikro razpoke v jeklu že tako velike, da občutno vplivajo na preoblikovalne napetosti. Z naraščajočo temperaturo vlečenja se preoblikovalne napetosti jekla znižujejo, število vlekov pred pretrgom žice pa narašča. Pri temperaturi 700° C ima jeklo že dobre preoblikovalne sposobnosti, saj prenese že 14 vlekov žice.



Slika 7

Mikrostruktura jekla Č.4650 po vlečenju pri temperaturi 750° C

Fig. 7

Microstructure of Č.4650 steel after drawing at 750° C

ce. Pri temperaturi 750° C ima zelo dobre preoblikovalne sposobnosti. Preoblikovalne napetosti so zelo nizke, jeklo pa prenese 15 in več vlekov, kar pomeni vlečenje žice iz premera 8 do 4,4 mm in manj.

Vzrok za zelo dobre preoblikovalne sposobnosti jekla pri temperaturi 750° C je v feritu, ki je pri tej temperaturi dobro preoblikovalen, tako da med vlečenjem zastavlja rast mikrorazpok in jih zapolnjuje. Zato mikro razpok v vlečenem jeklu pri tej temperaturi skoraj ni (slika 7).

### 3.2 Vpliv mazivne prevleke na vlečenje žice

Iz primerjav preoblikovalnih napetosti na sliki 5 vidimo, da lahko s pravilno izbrano mazivno prevleko omogočimo vlečenje žice, kar vidimo iz števila vzdržanih vlekov pred pretrgom žice, obenem pa zelo znižamo preoblikovalne napetosti.

Prevleka baker + grafit ima dobre mazivne sposobnosti, saj so preoblikovalne napetosti te prevleke dvakrat manjše, kot pri nemazani površini žice. Podobne mazivne sposobnosti ima tudi sam grafit, baker pa je brez mazivnih sposobnosti, saj so njegove vlečne značilnosti podobne, kot pri nemazani površini žice. To nam dokazuje, da ima mazivne sposobnosti predvsem grafit, baker pa je le nosilec maziva, ki med vlečenjem poveča oprijemljivost grafita na površini žice. Iz preoblikovalnih napetosti in števila vlekov pred pretrgom žice lahko sklepamo, da sta mazivni prevleki baker + grafit in sam grafit primerni za vlečenje žice pri povišanih temperaturah.

### 3.3 Vpliv priprave površine žice na vlečenje

Na vlečenje žice vpliva tudi priprava površine žice pred vlečenjem. Preizkušali smo luženo (L) in peskano (P) površino. Iz višin preoblikovalnih napetosti na sliki 6 smo ugotovili, da je peskana površina primernejša od lužene, ker so preoblikovalne napetosti za omenjeno površino tudi do 15 % nižje kot pri luženi. Ker način priprave površine žice ne vpliva na število vlekov, ki jih žica prenese pred pretrgom, je njen vpliv na uspešnost vlečenja žice manjši, kot vpliv temperature in mazivne prevleke. Zaključimo lahko, da sta obe pripravi površine žice primerni za vlečenje žice pri povišanih temperaturah.

## 4. ZAKLJUČKI

Iz rezultatov raziskav, v katerih smo ugotavljali sposobnosti vlečenja žice iz jekla Č.4650, lahko zaključimo:

- pri temperaturah pod 700° C jeklo poka, zato pri vlečenju ne prenese večjih deformacij. Nad to temperaturo ima dobre preoblikovalne sposobnosti, zato ga lahko vlečemo tudi do tankih dimenzij;
- mazivna prevleka baker + grafit je zelo primerna za vlečenje jekla pri povišanih temperaturah. Podobne mazivne lastnosti ima tudi sam grafit;
- lužena in peskana površina žice podobno vplivata na vlečenje žice. Nekoliko nižje preoblikovalne napetosti so pri vlečenju jekla s peskano površino žice.

### Literatura

1. D. G. Fucds: Betriebsversuche zum Warm ziehrn hochfester Stachle, Stahl und Eisen 97, 1977, št. 4, str. 154—158
2. L. Kosce: Deformacija in porušitev v nekaterih dvo ali več faznih zlitinah, ŽEZB št. 1/2, Ljubljana, 1980
3. B. Arzenšek in sodelavci: Vlečenje orodnih jekel pri povišanih temperaturah — I. del, Poročilo MI, Ljubljana, 1982
4. B. Arzenšek in sodelavci: Vlečenje orodnih jekel pri povišanih temperaturah — II. del, Poročilo MI, Ljubljana, 1983

## ZUSAMMENFASSUNG

Der Werkzeugstahl Č.4650 mit der Grundzusammensetzung 2 % C, 12 % Cr und 0,7 % W besitzt im kalten Zustand schlechte Verformbarkeit. Die Ursache dafür sind größe polygonale Karbide, die während der Verformung zerbrechen und die Entstehung von Rissen verursachen was schon bei sehr kleinen Verformungsgraden zum Bruch führt. Durch die Untersuchungen sollten die Verformungseigenschaften bei höheren Temperaturen ermittelt werden um festzustellen ob dieser Werkzeugstahl bis unter 8 mm gezogen werden kann.

Die Verformungseigenschaften sind durch die Stauchversuche und mit dem Ziehen von Draht ermittelt worden, wobei auch die Ziehkraft gemessen worden ist. Die Versuche sind bei Verschiedenen Temperaturen von der Zimmertemperatur bis 750°C durchgeführt worden. Beim Ziehen ist neben der Zieh-

temperatur auch der Einfluss vom Schmierüberzug der gebeizten und Sandgestrahlten Drahtoberfläche auf die Ziehbarkeit untersucht worden.

Aus den Untersuchungsergebnissen geht hervor, dass der Stahl bei Temperaturen über 700°C gezogen werden kann. Unter dieser Temperatur reißt der Stahl schon nach einigen Zügen.

Der Schmierüberzug Kupfer + Graphit besitzt gute Schmierfähigkeit. Ähnliche Schmierfähigkeit hat auch Graphit allein. Die gebeizte und Sandgestrahlte Drahtoberfläche haben einen ähnlichen Einfluss auf die Ziehbarkeit. Bei der Sandgestrahlten Drahtoberfläche sind die Verformungsspannungen während des Ziehens von Stahl etwas niedriger als bei der gebeizten Drahtoberfläche.

## SUMMARY

Č. 4650 tool steel containing 2 % C, 12 % Cr, and 0.7 % W has very low cold workability. It is the consequence of big polygonal carbides which break during working and cause cracks that steel breaks already at small deformations. The investigation has intention to determine its workability at higher temperatures in order to find if it can be drawn below 8 mm.

The workability of steel was tested by compression tests and by drawing wires with simultaneous measuring of the pulling forces. Steel was tested at various temperatures, from the temperature of surroundings up to 750 °C. In drawing the influence of lubrication coating and the influence of pickled

and sand-blasted surface of wire on drawing were checked besides the influence of temperature.

The investigation results showed that steel can be drawn above 700 °C. Below that temperature steel breaks already after few reductions. Copper-graphite lubrication coating has good lubrication characteristics. Similar lubricability has also graphite alone. Pickled and sand-blasted surface have similar effects on drawing ability. With the sand-blasted surface of the wire the working stresses in drawing are slightly lower than it is the case with the pickled surface.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инструментальная сталь марки Č. 4650 с содержанием 2 % C, 12 % Cr и 0,7 % W имеет в холодном состоянии очень невыразительные деформационные способности. Причина такой слабой деформации представляют большие полигональные карбиды, которые во время деформации растрескиваются и являются причиной появления трещин, вследствие которых сталь, уже при незначительных деформациях, разрушается. В исследованиях определяли деформационную способность этой стали при повышенных темп-ах для того, чтобы установить, можно ли выполнять волочение этой стали в проволоку диаметров ниже 8-и мм.

Деформационную способность стали определяли испытанием на нажатие и с волочением проволоки, во время чего измеряли также тяговые усилия.

Сталь была исследована при различных темп-ах, от комнатной до 750°C. Во время волочения рядом с темп-ой

устанавливали влияние смазочного покрытия, также травленные и пескоструйные поверхности проволоки для волочения.

Из результатов исследования определено, что сталь можно растягивать при темп-ах свыше 700°C. При темп-е ниже от упомянутой сталь трескается уже после нескольких вытяжек проволоки.

Смазочное покрытие медь + графит имеют хорошие смазочные способности. Подобную смазочную способность имеет также и сам графит. Поверхность проволоки, которая подвергнута травлению и пескоструйной очистке оказывает подобные влияния на волочение проволоки. Установлено, что деформационные напряжения во время растяжения стали немного меньше при пескоструйной поверхности проволоки, чем при проволоки подвергнутой травлению.