

## Vliv nastavení parametrů laboratorní děrovací stolice na rozměry vyděrovaného polotovaru oceli 4130

### Effect of Setting of Laboratory Piercing Parameters on Dimensions of Hollow Semi-product the 4130 Steel

Ing. Roman Noga<sup>1</sup>; doc. Ing. Petr Jonšta, Ph.D.<sup>1</sup>; Ing. Miroslav Liška, CSc.<sup>1</sup>; Ing. Rostislav Turoň<sup>2</sup>; Ing. Radek Jurča<sup>2</sup>

<sup>1</sup> MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Pohraniční 693/31, 703 00 Ostrava-Vítkovice, Česká republika

<sup>2</sup> TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Průmyslová 1000, Staré Město, 739 61 Třinec, Česká republika

*Předložený článek se zabývá zkouškami děrovatelnosti oceli 4130 na univerzální laboratorní děrovací stolici. Sledován byl zejména vliv nastavení děrovací stolice pro kosé válcování na dosažené rozměry vyděrovaného polotovaru. K experimentům byly použity vzorky o průměru 50 mm a délce 200 mm. Na základě získaných zkušeností z předchozích experimentálních zkoušek byl upraven tvar a průměr děrovacího trnu na 38 mm. Zkoušení děrovatelnosti bylo realizováno na třech sadách vzorků při nastavení konstantního úhlu posuvu 4° a s proměnným tvářecím úhlem. Dosažené výsledky zkoušek ukázaly změnu vnějšího průměru po vyděrování v rozsahu -14 až +4 %, což v terminologii výrobců trubek představuje rozsah od tzv. rozšíření po úžení vzhledem k průměru výchozího polotovaru, resp. vzorku pro děrování.*

**Klíčová slova:** předvalky z oceli 4130; univerzální laboratorní děrovací stolice; parametry děrování; rozměry vyděrovaných vzorků

*Experimental piercing tests on laboratory piercer are currently performed in a manner analogous to the operational piercing process, with full or centrally pre-drilled samples with a circular cross-section. The versatility of the laboratory piercer offers the possibility of its classical configuration with two piercing rollers and one support roller or its modification as an elongating bench with three conical cylinders. The bench allows for the adjustment of the axes of the piercing rollers with respect to the piercing axis by means of both the feed and forming angles. It also allows the selection of piercing roller revolutions in the range up to 120 rpm and is equipped with the automatic measurement of quantities, such as piercing roller forces, torques, the force on the mandrel rod bearing, speeds of rollers and current input with respect to time during piercing. The electric resistance furnace is used for heating the samples, with the possibility of setting the heating mode and registering its course by the control computer.*

*This paper deals with tests of pierce ability of 4130 steel on universal laboratory piercer. Especially the effect of the setting of the piercing mill on the achieved dimensions of the pierced semi-product was monitored. 50 mm diameter and 200 mm length samples were used for the experiments. Based on the experience gained in previous experimental tests, the shape and diameter of the piercer mandrel diameter were adjusted. The testing of pierce ability was performed on three sets of samples, with a constant displacement angle of 4° and a variable forming angle. The results of the tests showed a change in the outer diameter after piercing in the range of -14 and 4%, which in the terminology of tube manufacturers represents the range from the so-called extension to the reduction with respect to the diameter of the starting semi-product, or the sample for piercing.*

**Key words:** semi-products made of the 4130 steel; universal laboratory piercing mill; piercing parameters; hollow samples dimensions

#### 1. Zkoušky děrovatelnosti při kosém válcování

Klasická zkouška děrovatelnosti je charakterizována rozdílným stlačením průřezu původně kuželového vzorku při průchodu mezi válci bez použití děrovacího trnu. Popis mechanismu vzniku dutiny na základě rozboru stavu napjatosti při deformaci mezi děrovacími válci, především na základě prací ruských autorů, publikoval

O. Pejčoch a B. Pošta [1, 2]. Ve stručnosti lze shrnout, že se při děrování jedná o speciální stav napjatosti způsobený kombinací tlaku vyvozeného na materiál děrovacími válci a nerovnoměrnosti deformace. Ve středu provalku působí objemové schéma tříosé napjatosti se dvěma hlavními tahovými napětími tahovými. Ty v daném průřezu působí kolmo na hlavní tlakové napětí způsobené tlakem válců a v ose provalku způsobují v podstatě křehké porušení materiálu bez vyvolání plastické deformace.

Ve srovnání s jinými zkouškami tvařitelnosti, nebo i s technologickými zkouškami děrovatelnosti s čistě válcovými vzorky, umožňují kuželové vzorky vyhodnotit velikost kritických úběrů, při kterých vzniká dutina, a tím získat základní parametry pro seřízení děrovací stolice a nastavení děrovacího trnu [3, 4].

Vyhodnocení kuželových vzorků děrovatelnosti je ovšem mimořádně obtížné, neboť vyžaduje vysoce profesionální zařízení a zkušenosti při ultrazvukovém šetření, nebo použití nákladných metod rentgenového nebo metalografického stanovení místa vzniku porušení.

Zkoušky děrovatelnosti na ULDS (obr. 1) jsou v současné době prováděny způsobem analogickým provoznímu děrovacímu procesu [5, 6], a to s použitím plných, případně centrálně předvrtaných vzorků kruhového průřezu. Univerzálností děrovací stolice se rozumí její klasická konfigurace se dvěma děrovacími a jedním opěrným válcem nebo její úprava na elongovací stolici se třemi kuželovými válci. Stolice umožňuje nastavení os děrovacích (děrovacích) válců vzhledem k ose děrování jednak pomocí změny úhlu posuvu a jednak pomocí změny tvářecího úhlu. Umožňuje dále volbu frekvence otáček děrovacích válců v rozsahu 0 až 120 min<sup>-1</sup> a je vybavena automatickým měřením veličin, jako jsou síly působící na děrovací válec, krouticí momenty, síla na ložisko trnové tyče, frekvence otáček válců a příkon elektrického proudu v závislosti na čase při vlastním děrování. Pro ohřev vzorků slouží elektrická odporová pec s možností nastavení režimu ohřevu a registrace jeho průběhu řídicím počítačem.

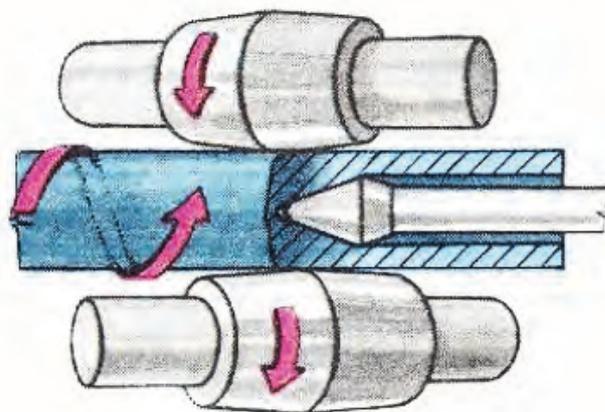


Obr. 1 Univerzální laboratorní děrovací stolice  
Fig. 1 Universal laboratory piercing mill

## 2. Podmínky laboratorního děrování na laboratorní děrovací stolici

Je známo, že Mannesmannův princip tvaru a uspořádání válců děrovací stolice představuje sestavu dvou kuželových (děrovacích) válců a opěrného válce v děrovací stolici (obr. 2). Osy děrovacích válců jsou mimoběžné jak vůči sobě, tak vůči ose válcování (děrování), která odpovídá směru pohybu děrovacího

kusů děrovacích válců. Mimoběžnost os děrovacích válců je definovaná úhlem posuvu  $\alpha$ , který svírají průměty os válců s průmětem osy děrování v nárysne rovině a jeho velikost se udává mezi 3 až 7° (nejčastěji 3 – 4°) [2, 7]. Za tvářecí úhel  $\beta$  se považuje úhel, který svírají průměty os děrovacích válců s průmětem osy děrování v půdorysné rovině. V základním postavení děrovacích válců je úhel  $\beta = 0$  a jeho změny souvisejí s požadavkem na výraznější změny vnějšího průměru vyděrovávaného dutého polotovaru oproti výchozímu průměru děrovací vsázky. Dle [2] platí, že vnější průměr vyděrovávaného předvzorku se přibližně rovná průměru výchozí vsázky, případně bývá o 2 – 4% menší, výjimečně až o 10% menší u menších průměrů. Při omezeném rozsahu průměrů vstupní vsázky současné požadavky tyto rozsahy přesahují.



Obr. 2 Schéma Mannesmannova děrování  
Fig. 2 Scheme of the Mannesmann piercing

## 3. Experimentální materiál a nastavení parametrů děrování

Materiálem vzorků určených k děrování byla ocel označovaná 4130 podle normy ASTM A519. Jedná se o středně uhlíkovou ocel k zušlechťování, s obsahem uhlíku okolo 0,3 %, legovanou 0,5 % Mn, 1 % Cr a 0,2 % Mo.

Rozevřením vstupních vzorků (kruhových špalků) byl  $\phi$  50 mm a délka 187 mm. Nastavení parametrů laboratorního děrování bylo následující:

- teplota ohřevu a děrování 1290 °C,
- rychlost otáčení válců děrovacího stroje 120 min<sup>-1</sup>,
- úhel posuvu  $\alpha = 4^\circ$ ,
- tvářecí úhel  $\beta = +2$  až  $-2^\circ$ , odstupňovaný po 0,5°,
- úběr ve válcovací mezeře ve vazbě na tvářecí úhel: 7 mm při  $\beta = 0 - 1^\circ - 2^\circ$ ; 5,5 mm při  $\beta = 0 -$  až  $-2^\circ$ ; 5,5 až 3,5 mm při  $\beta = 0 -$  až  $-2^\circ$  (snižující se s rozevíráním úhlu).

Pro účely zkoušek děrovatelnosti označujeme kladnými hodnotami rozevírání úhlu  $\beta$  ze strany vstupu polotovaru do děrovací stolice a zápornými hodnotami naopak jeho svírání.

Průměr děrovacího trnu byl 38 mm, délka 63 mm, pozice špičky trnu byla 22 mm před rovinou průchodu; tvar trnu odpovídal návrhu společnosti MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. (MMV).

Cílem experimentů bylo vymezení limitů tzv. úžení a rozšíření materiálu při děrování, resp. dosažitelné celkové deformace a změny vnějšího průměru a tloušťky stěny v závislosti na velikosti tvářecího úhlu.

#### 4. Vyhodnocení provedených experimentů

Celkem bylo vyděrováno 13 vzorků s poměrně vysokou úspěšností. U několika vzorků došlo k nepříjemnému, ale častému typickému jevu, kdy při děrování vzorku na polotovaru s malou tloušťkou stěny dochází při průchodu zadního, tj. hlavového konce vzorku rovinou průchodu k porušení plynulosti průchodu již vyděrovaného vzorku válcovací mezerou. V těchto případech se po vyděrování vzorek deformuje (smáčkne) mezi pracovním a opěrným válcem. Tento problém nastává po doděrování vzorků s malou tloušťkou stěny. V těchto případech se hodnotily rozměry vzorků po vyděrování pouze na předním patním konci a ve středu délky.

Vyděrované laboratorní vzorky lze pro účely podrobnějšího hodnocení rozdělit do tří experimentálních sad.

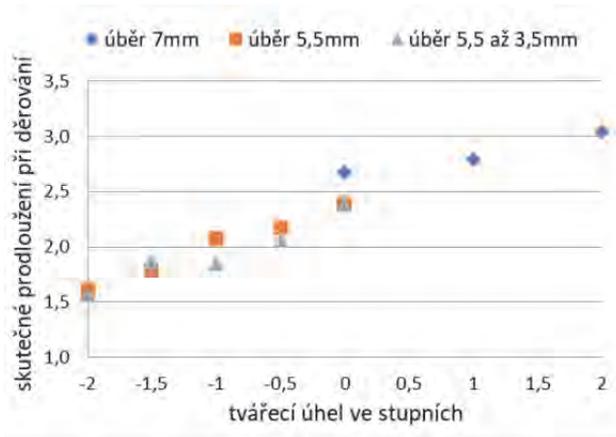
Prvou sadu tvořily tři vzorky děrované při stejném nastavení mezery mezi válci s úběrem průměru ve válcovací mezeře 7 mm a při třech nastaveních tvářecího úhlu  $\beta = 0, 1$  a  $2^\circ$ , což prakticky představuje rozevření úhlu os válců s osou děrování ze strany vstupu materiálu do děrovací stolice.

Druhá sada se děrovala s menším úběrem 5,5 mm a u pěti vzorků byl tvářecí úhel  $\beta$  nejdříve 0 a poté se postupně po  $0,5^\circ$  ze strany vstupu do stolice svíral.

Třetí sada čtyřmi vzorky navázala na pozici tvářecího úhlu  $\beta = 0^\circ$  s úběrem 5,5 mm a dále se u dalších vzorků při svírání po  $0,5^\circ$  zároveň zmenšoval úběr z původních 5,5 na 3,5 mm.

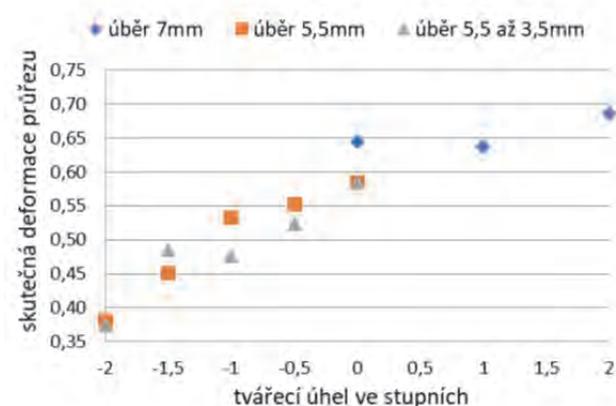
Dopad popsáných úprav děrovacích podmínek na dosažené rozměry vzorků po děrování lze sledovat v grafickém znázornění na obr. 3 až 6.

Výsledky děrování jsou znázorněny jako závislost celkového prodloužení vyděrovaných vzorků v poměru k délce výchozího špaluku na tvářecím úhlu  $\beta$  a velikosti úběru (obr. 3) nebo jako deformace průřezu, což je poměr mezi plochou průřezu po a před děrováním, závislého rovněž na tvářecím úhlu  $\beta$  a velikosti úběru (obr. 4) U všech tří pokusných sad je vidět, jak změny tvářecího úhlu  $\beta$  (polohy os válců) ovlivňují velikost deformace, ke které dochází při děrování. Z obr. 4 je zároveň vidět, že největší dosažená deformace při děrování u provedeného laboratorního programu přesáhla poměr průřezu 0,65, což odpovídá trojnásobnému prodloužení výchozího špaluku.



Obr. 3 Prodloužení experimentálních vzorků při děrování v závislosti na úběru a tvářecím úhlu

Fig. 3 Elongation of experimental specimens during piercing depending on material removal and forming angle

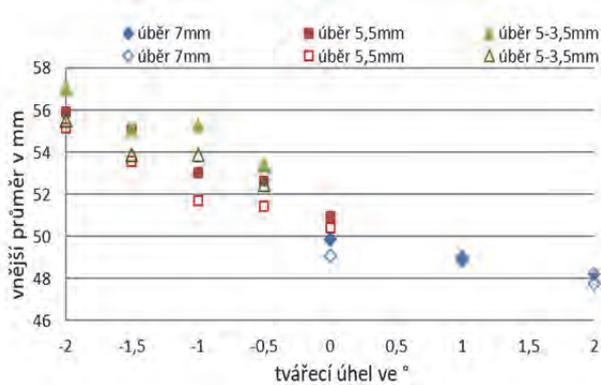


Obr. 4 Deformace průřezu při děrování v závislosti na úběru a tvářecím úhlu; střed délky vzorku

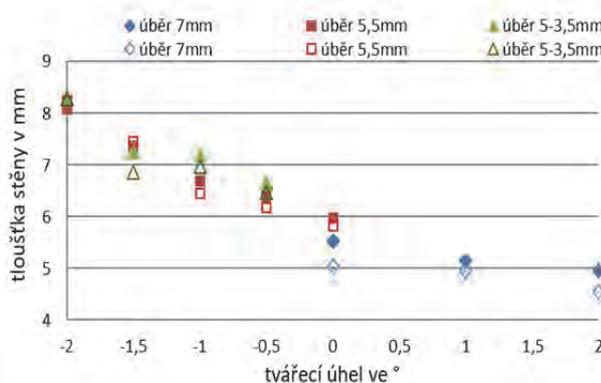
Fig. 4 Cross-section deformation during piercing depending on material removal and forming angle; middle of the sample length

V dalších grafech jsou uvedeny měřené rozměry nebo z nich vypočtené parametry pro přední (patní) konec vzorku pomocí plných značek a pro střed vzorku pomocí značek bez výplně. Údaje pro zadní konec (hlavu) jsou vynechány, protože nejsou k dispozici pro všechny vzorky, jak bylo zmíněno výše.

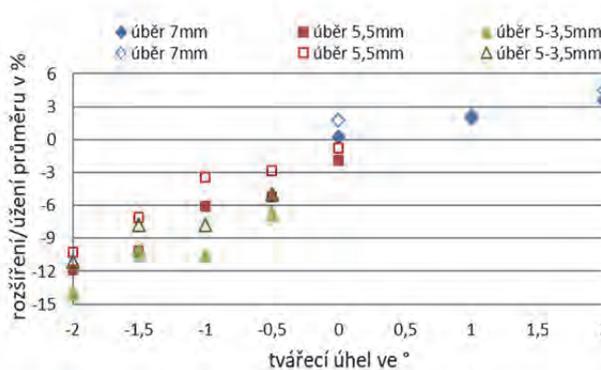
Na obr. 5 a 6 jsou zachyceny dopady úběrů a tvářecích úhlů na základní rozměrové parametry po děrování, tj. na vnější průměr a tloušťku stěny dutého polotovaru. Bez ohledu na velikost úběru, konstantní nebo mírně se zmenšující, je vidět, jak tvářecí úhel  $\beta$  z rozevřené polohy na vstupu do děrovací stolice s postupným svíráním vede jak ke zvětšení vnějšího průměru, tak ke zvětšení tloušťky stěny. Největší deformace, jak ukazuje obr. 4, byla spojena s nejmenší tloušťkou stěny i nejmenším průměrem vzorku po děrování a naopak, nejmenší deformace se zjistila při zvětšeném průměru a velké tloušťce stěny po děrování.



Obr. 5 Vliv velikosti úběru a tvářecího úhlu na vnější průměr vyděrovaného vzorku  
Fig. 5 Effect of material removal and forming angle on outer diameter of the pierced sample



Obr. 6 Vliv velikosti úběru a tvářecího úhlu na tloušťku stěny vyděrovaného vzorku  
Fig. 6 Effect of material removal and forming angle on wall thickness of the pierced sample



Obr. 7 Úžení materiálu (kladné hodnoty) a rozšíření (záporné hodnoty)  
Fig. 7 Material shrinkage (positive values) and expansion (negative values)

Obr. 7 dokumentuje dosažení mezních hodnot úžení a rozšíření při laboratorním děrování za daných podmínek. Z hlediska tvářecího úhlu představuje jeho sevření na 2° již limitní hodnotu vzhledem k úhlu kuželové vstupní části děrovacích válců a patrně i vzhledem k malému aplikovanému úběru 3,5 mm. Vzhledem k dobré tvařitelnosti zkoušené oceli by jinak bylo možno uvažovat i s vyšším potenciálem rozšiřování

při děrování, než bylo možno dosáhnout provedeným experimentem. Pokud jde o úžení, byla volba velikosti tvářecího úhlu a úběru limitována výslednou tloušťkou stěny vyděrovaného vzorku, která se přibližovala 3 mm s dopadem na výše zmíněný problém smáčknutí hlavového konce. Má se za to, že při volbě většího výchozího průměru vzorků a pomocí úprav nastavení laboratorní děrovací stolice v širších mezích (tvářecí úhel i velikost úběru) by bylo možné dosáhnout pozitivních výsledků děrování i při parametrech děrování vedoucích k vyšším hodnotám úžení, než se podařilo dosáhnout při experimentech v MMV. Příklady úspěšně vyděrovaných vzorků v celé délce jsou znázorněny na obr. 8 a 9.



Obr. 8 Vzorek po ideálně povedeném děrování s nepoškozeným děrovacím trnem; nastavení úhlů  $\alpha = 4$ ,  $\beta = -1,5$ , úběr 5,5 mm, deformace 45 %, průměrné rozšíření 9 %

Fig. 8 The sample after ideal piercing with undamaged piercing mandrel; adjustment of angles  $\alpha = 4$ ,  $\beta = -1,5$ , material removal 5,5 mm, deformation 45 %, average expansion 9 %

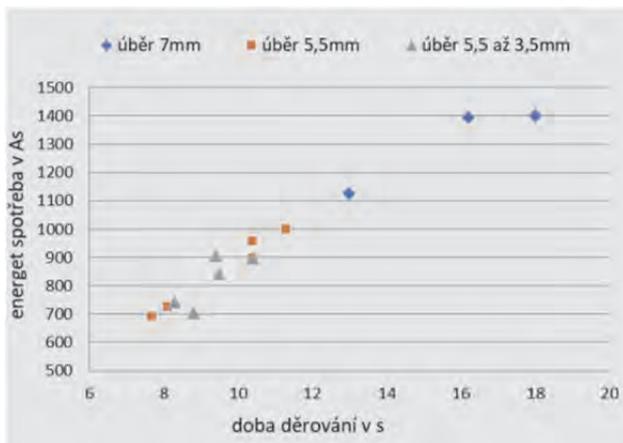


Obr. 9 Vzorek vyděrovaný s největším rozšířením cca 14 % a nejmenší deformací; nastavení úhlů  $\alpha = 4$ ,  $\beta = -2$ , úběr 3,5 mm (malý), deformace okolo 36 %, průměrné rozšíření 13 %

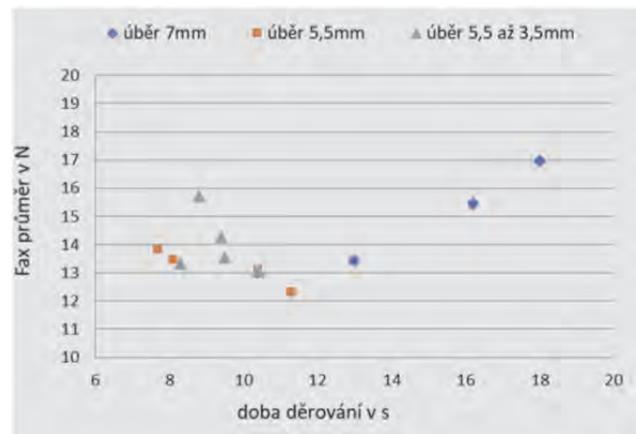
Fig. 9 Sample pierced with maximum material expansion of approx. 14 % and minimal deformation; adjustment of angles  $\alpha = 4$ ,  $\beta = -2$ , material removal 3.5 mm (small), deformation about 36 %, average expansion 13 %

Kromě rozměrových charakteristik vyděrovaných vzorků byl vyhodnocen rovněž i vliv změn tvářecího úhlu na energosilové parametry děrování. Jednoznačná závislost přímé úměrnosti se ukázala ve vztahu doby děrování a energetické spotřeby vyjádřené v Ampérsekundách [As], tedy součinem průměrného příkonu a doby děrování (obr. 10). Relace obou zmíněných parametrů se velmi podobá závislosti energetické spotřeby na deformaci při děrování (obr. 11). Takto jednoznačné vztahy se však nepodařilo zaznamenat u naměřených silových veličin (obr. 12 – 14).

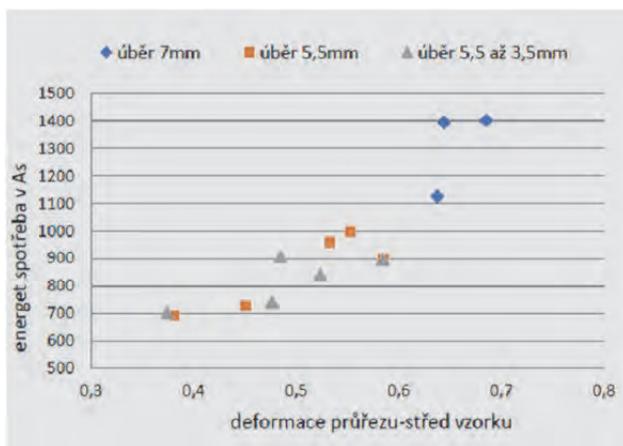
Při rostoucí době děrování vykázal krouticí moment nečekaně spíše pokles. Tlaková síla působící na děrovací trn a měřená na ložisku trnové tyče vykázala mírný vzestup s delším časem, resp. deformací při děrování, a síla působící mezi válci a děrovaným vzorkem vykázala jen malé odchylky od jakési střední hodnoty v celém rozsahu dob či deformací při děrování.



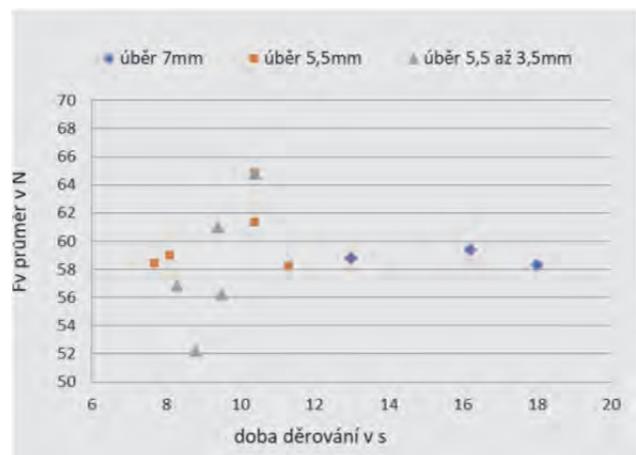
Obr. 10 Závislost energetické spotřeby na době děrování  
Fig. 10 Dependence of energy consumption on piercing time



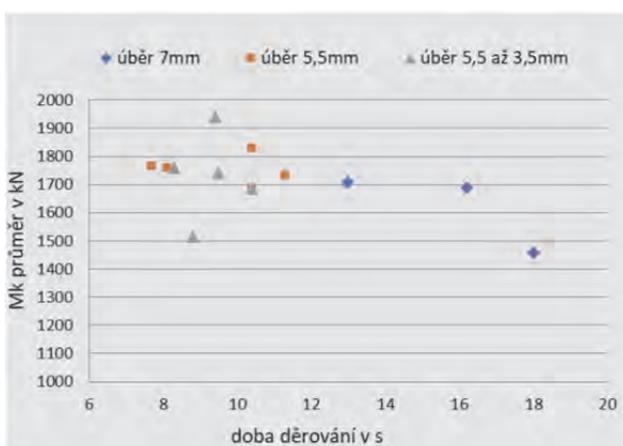
Obr. 13 Síla působící na ložisko trnové tyče v závislosti na době děrování vzorků  
Fig. 13 The force applied to the bearing of the piercer bar rod depending on the duration of piercing of the sample



Obr. 11 Závislost energetické spotřeby na deformaci při děrování  
Fig. 11 Dependence of energy consumption on deformation caused by piercing



Obr. 14 Závislost síly působící na kuželové (děrovací) válce na době děrování vzorků  
Fig. 14 Dependence of force acting on the conical (piercing) rollers at the time of sample piercing



Obr. 12 Závislost krouticího momentu na době děrování vzorků  
Fig. 12 Dependence of torque on duration of piercing of samples

## Závěr

Laboratorní děrovací stolice má, jako každé laboratorní zařízení, oproti provozním možnostem jisté výhody, ale také jistá omezení. U univerzální laboratorní děrovací stolice v MMV lze však nalézt vhodné modelové podmínky srovnatelné s provozními parametry děrování, při kterých je možné využít toto zařízení k fyzikální simulaci chování materiálu při děrování, ověřování tvarů nástrojů, např. kuželových (děrovacích) válců, děrovacích trnů atp. Výsledky uvedené v tomto článku byly zaměřeny na oblast nastavení úhlů os válců děrovací stolice.

Zvětšování velikosti tvářecího úhlu ve smyslu rozevření vstupní části pásma deformace při stejném úběru vedlo ke zmenšování vnějšího průměru i tloušťky stěny děrovaného vzorku, a celkově tedy ke zvětšování deformace při děrování.

Naopak zmenšování tvářecího úhlu, tedy svírání vstupní části pásma deformace při stejném úběru, vedlo ke zvětšování vnějšího průměru i tloušťky stěny děrovaného vzorku a celkově ke zmenšování deformace při děrování. Podobné chování vykazala experimentální sada se současným zmenšováním tvářecího úhlu i velikosti úběru ve válcovací mezeře.

Při zvolených vstupních rozměrech vzorků a parametrech děrování se dosáhlo rozšíření při děrování okolo 14 % a úžení okolo 4 %.

Prodloužení doby děrování je v přímé úměrnosti s velikostí deformace u jednotlivých děrovaných vzorků, bez výraznějšího vlivu dalšího parametru, tj. úběru, resp. mezery mezi válci. Vliv doby děrování na energosilové parametry již není zcela jednoznačný. U síly se projevuje nejprve pokles a pak růst tohoto parametru, zatímco u krouticího momentu se projevuje nejprve růst a poté jeho konstantní průběh.

## Poděkování

*Tato práce vznikla v rámci čerpání a užití institucionální podpory na Dlouhodobý a koncepční rozvoj výzkumné organizace v roce 2019, poskytovatel Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky.*

## Literatura

- [1] PEJČOCH, O. Mechanismus vzniku dutiny a podmínky optimální děrovatelnosti trubkových ocelí kosým válcováním. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské v Ostravě*, XII, řada hutnická, 1966 č. 5, čl. 270, s. 555–561.
- [2] POČTA, B. *Ocelové trubky*, 1. díl. Praha: SNTL, 1963, 413 s.
- [3] KAZUTAKE, K., MIZUNO, K. Study of Plastic Deformation in Cone-type Rotary Piercing Process Using Model Piercing Mill for Modelling Clay. *Journal of Materials Processing Technology*, 209 (2009), 4994–5001.
- [4] GUILLEAUME, C., BROSIUS, A. Simulation Methods for Skew Rolling. *Procedia Manufacturing*, 27 (2019), 1–6.
- [5] UNUCKA, P.: Laboratorní zařízení pro výzkum technologických procesů válcování bezešvých trubek. *Hutnické listy*, 65 (2012) 6, 48–52, ISSN 0018-8069.
- [6] UNUCKA, P., NOGA, R., TUROŇ, R., JURČA, R. Ověřování procesních parametrů děrování na laboratorní válcovací stolici. *Hutnické listy*, 67 (2014) 4, 36–39. ISSN 0018-8069.
- [7] KATO, K., HIRASAWA, T. Study on Plastic Deformation in Mannesmann Piercing Process Using Model Piercing Mill for Plasticine. *Journal of the Japan Society for Technology of Plasticity*, 5 (1964), 485–491.

---

## Na strojírenském veletrhu v Brně představila Liberty Ostrava nový typ důlní výztuže

*Nová huť, říjen 2019, ročník X, č. 10, s. 8*

Nový typ důlní výztuže, který byl na trh uveden po téměř ročním vývoji, má specifický tvar a vyznačuje se lepšími mechanickými vlastnostmi než stávající výztuže. Oproti dosud vyráběným výztužím jsou válcovány s přesnější tolerancí a dosahují vyšších únosností.

Důlní výztuže se používají především pro dobývání nerostných a uhelných ložisek v hlubinných dolech, ale také pro stavbu tunelů, vodovodů, teplovodů a kanalizací. Rozšířením portfolia důlních výztuží se huť snaží zvýšit svou konkurenceschopnost na strategických trzích. Zavedení nové důlní výztuže umožní posílit významné postavení hutě na regionálních trzích a v tuzemsku.

Těžba uhlí se celosvětově snižuje, takže za posledních sedm let klesla roční spotřeba důlních výztuží přibližně o polovinu. Hledají se proto nové příležitosti k uplatnění výztuží.

Výroba důlních výztuží byla v ostravské huti zahájena v roce 1961. Vyrábějí se válcováním za tepla v hrubé válcovně a dokončují se za studena stříháním a ohýbáním s maximální přesností. V Česku najdeme ostravské ocelové výztuže kromě hlubinných dolů například v pražském tunelu Blanka.