

SKÚŠANIE A HODNOTENIE 3D – TVÁRNOSTI DÝH

TESTING AND EVALUATION OF 3D-FORMABILITY OF VENEERS

Ján Zemiar – Jozef Fekiač

ABSTRACT

So far there are no methods elaborated for assessment and evaluation of three-dimensional (3D) formability of veneers. In the paper we present testing methods for different ways of developing of moulding force (solid tool, air) and for different ways of gripping of the test specimen during operation of moulding force. Based on the obtained results and gained knowledge, the proposed methods are mutually compared, and given methods for evaluation of 3D-formability of veneers are recommended.

Keywords: 3D-forming, deepening, formability, method of loading, veneer.

ÚVOD

Dyha, ako plošný drevný materiál je tradičným komponentom pre výrobu plošných rovinných alebo tvarovaných vrstevnatých drevných materiálov. Pri tvarovaných vyrábaných na princípe tvárnenia sa v dôsledku málo vhodných vlastností dreva v podstate využíva len dvojrozmerné (2D) tvárnenie. Trojrozmerné (3D) tvárnenie má napriek záujmu o takto vyhotovené produkty značné obmedzenie (WAGENFÜHR, BUCHELT 2004; 2005).

Pri dvoj i trojrozmernom tvárnení dýh sa v dôsledku ich malej tvárnosti, a tým aj po zmene tvaru neschopnosti si udržať novovzniknutý tvar produktu, tvárnenie spája s lepením. Lepenie pri tvárnení plní teda okrem spojovacej funkcie funkciu fixačného prostriedku novovzniknutého tvaru produktu.

Vychádzajúc z uvedených prakticky využívaných postupov budeme pod tvárnosťou dýh rozumieť ich schopnosť meniť svoj tvar účinkom vonkajších síl bez porušenia ich súdržnosti alebo tvorby nežiaducich tvarových defektov. Na rozdiel od tvárnenia kovov nejde v tomto prípade o schopnosť trvale si uchovávať novovzniknutý tvar bez prispenia fixačného prostriedku. Zmena tvaru – pretvorenie sa teda uskutočňuje na úkor pružných aj plastických deformácií.

Vzhľadom na skutočnosť, že doteraz chýba metodika hodnotenia 3D – tvárnosti dýh, stanovujeme si za cieľ vytvoriť a posúdiť metódy hodnotenia ich 3D – tvárnosti. Pre naplnenie cieľa budeme vychádzať predovšetkým z poznatkov o vlastnostiach dreva a kovov vo vzťahu k ich tvárneniu a z poznatkov o tvárnení kovov, kde tento proces má široké uplatnenie.

Pre hodnotenie tvárnosti plošných kovových materiálov (plechov) jestvuje viacero skúšok - Erichsenova, kalíškovacia podľa Schmidta, skúška hĺbením podľa Engelhardta a iné (VELES 1989). V podstate spoločným ich znakom je, že do plechu sa vtlača skúšobný nástroj – razník rôzneho tvaru – polgule, valca, spravidla až do štádia porušenia plechu.

Zisťuje sa veľkosť prehĺbenia, sila, charakter porušenia a iné parametre v závislosti na druhu skúšky. Popri vlastnom princípe skúšky dôležitú úlohu zohrávajú aj rozmery skúšobného nástroja, tvar a rozmery skúšobného telesa, jeho uloženie a ďalšie.

MATERIÁL A METODIKA

Na základe analýzy aplikovaných metód pre zisťovanie tvárnosti kovov sme pristúpili k vlastnej tvorbe skúšobnej metódy pre hodnotenie 3D – tvárnosti dýh. Pri tvorbe sme dospeli k poznatku, že skúšobná metóda môže mať viacero modifikácií. Vlastný princíp navrhovaných metód spočíva vo vtláčaní dyhy do kruhového otvoru matrice a v zisťovaní veľkosti prehĺbenia. Pod pojmom prehĺbenie budeme rozumieť maximálnu hĺbku tvárneného materiálu, t.j. maximálnu vzdialenosť medzi tvárneným materiálom pred a počas tvárnenia, pri ktorej nedošlo k porušeniu telesa.

Pri transformácii princípu do technickej podoby bolo potrebné navrhnúť predovšetkým :

- tvar a rozmery nástroja,
- tvar a rozmery skúšobného telesa,
- fixáciu skúšobného telesa počas tvárnenia.

Pri voľbe nástroja sme vychádzali z technologických aplikácií tvárnenia dekoračných materiálov pri oplášťovaní drevných konštrukčných materiálov, kde tvárnenie sa uskutočňuje prostredníctvom tuhých nástrojov (foriem) alebo pneumatically, resp. vákuovo s priamym pôsobením vzduchu na tvárnený materiál.

Pri tvárnení prostredníctvom tuhého nástroja sme ako nástroj zvolili razník s polgulovitým zaoblením o priemere 40 mm a k nemu rozmerovo zodpovedajúcu matricu. Priemer dutiny matrice bol oproti priemeru razníka zväčšený o vôľu medzi razníkom a matricou umožňujúcou voľný posuv tvárneného materiálu - dyhy. Pri voľbe rozmerov sme na rozdiel od Erichsenovej skúšky pre plechy zdvojnásobili priemer polgule, a to z dôvodu, že pri polguli priemeru 20 mm a tomu zodpovedajúcemu rozmeru dutiny matrice bolo prehĺbenie dyhy pri skúške tvárnosti veľmi malé. Chyba vznikajúca pri meraní prehĺbenia v absolútnom vyjadrení sa v takomto prípade premieta do relatívne veľkej chyby pri pomernom vyjadrení prehĺbenia.

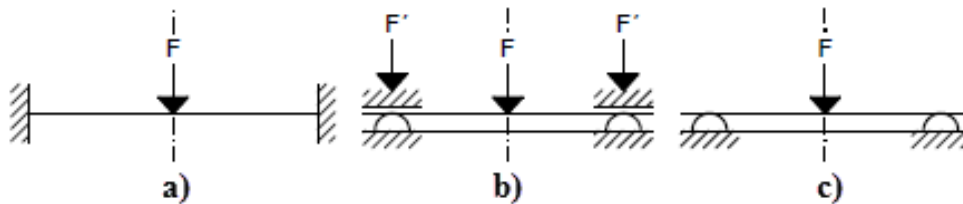
Pri pneumatickom spôsobe vyvodzovania tvárniacej sily funkciu nástroja plní stlačený vzduch. Rozmery dutiny matrice zostali totožné ako v predchádzajúcom prípade. Vzhľadom na možnosť predčasného porušenia dyhy v dôsledku jej pórovitej štruktúry bola pod povrch dyhy zo strany pôsobenia tlaku vzduchu vložená priet'azná (strečová) fólia hrúbky 10 μm .

Tvar skúšobného telesa sme zvolili kruhový. Ten vyplýval z kruhového tvaru dutiny - otvoru matrice a z požiadavky rovnakej vzdialenosti každého bodu obvodovej krivky telesa od jeho stredu. Táto požiadavka je odvodená od potlačenia vplyvu plošného tvaru telesa na vytváranie zvlnenia dyhy počas tvárnenia v určitej jeho okrajovej zóne. Priemery skúšobných telies – kotúčov sme zvolili 60 a 100 mm v závislosti na ich uložení a fixácii pri tvárnení.

Pre porovnanie výsledkov odporúčame uskutočňovať skúšky na dyhach hrúbky 0,55–0,65 mm, čo je rozpätie, v ktorom sa dyhy pre dekoračné účely najviac uplatňujú. V našom prípade za účelom overenia, posúdenia a zhodnotenia jednotlivých skúšobných metód sme experimenty uskutočnili na brezovom dreve (*Betula pendula, L.*) priemernej hrúbky 0,62 mm a priemernej vlhkosti 8,35%. Každá skúška sa uskutočnila na súbore 30-tich skúšobných telies.

Počas tvárnenia bolo skúšobné teleso uložené na matrici, pričom podľa veľkosti obvodovej prítlačnej sily (F') pôsobiacej kolmo na skúšobné teleso môžu nastať tri prípady. Skúšobné teleso môže byť (obr. 1):

- fixované – obvodová sila zabraňuje posuvu telesa v horizontálnom smere (obr. 1a),
- pridržiavané – obvodová sila umožňuje pri tvárnení posuv skúšobného telesa v horizontálnom smere (obr. 1b),
- bez prítlaku – obvodová sila nepôsobí na skúšobné teleso (obr. 1c)

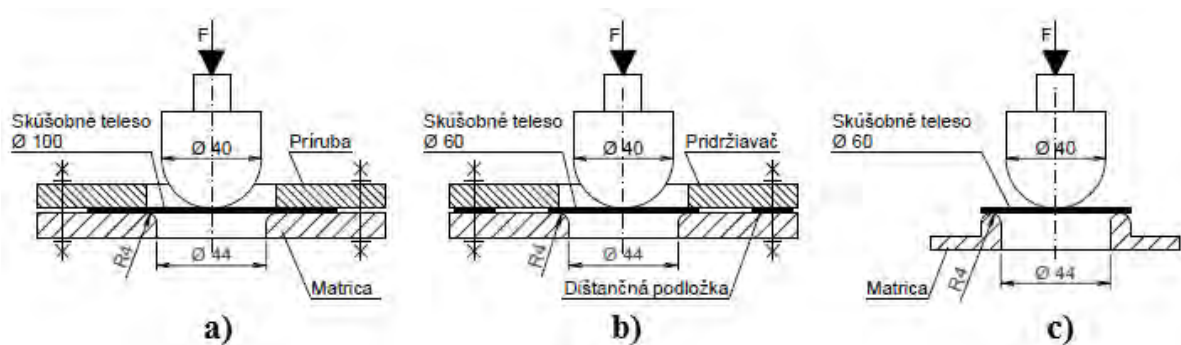


Obr. 1 Varianty pôsobenia obvodovej prítlačnej sily (F') na skúšobné teleso: a) teleso fixované, b) teleso pridržiavané, c) teleso bez prítlaku.

Fig. 1 Variations of action of peripheral contact force (F') on the test specimen: a) fixed test-specimen, b) restrained test-specimen, c) test-specimen without downforce.

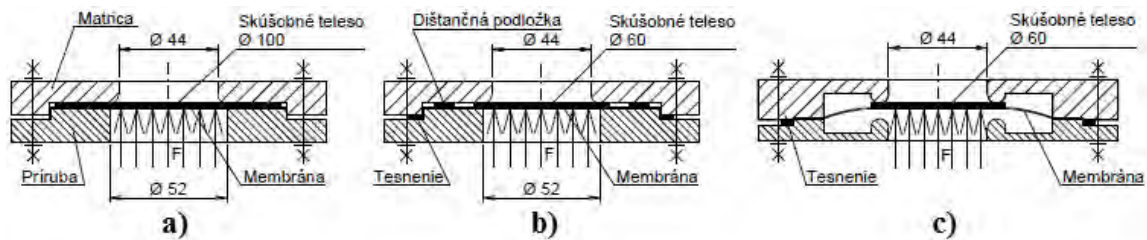
V druhom prípade intenzita pridržiavacej sily môže byť rôzna, v rozsahu od minimálnej, väčšej ako nula, po maximálnu, blížiacu sa sile zabezpečujúcej úplnú fixáciu skúšobného telesa. Poslaním pridržiavajúcej sily je zabrániť vzniku vlnenia na obvod telesa počas jeho tvárnenia. V našom prípade sme zvolili silu blízku minimálnej, čo technicky bolo riešené uchopením prítlačnej príruby nad matricou vo vzdialenosti rovnajúcej sa hrúbke skúšobného telesa – dyhy.

Schémy princípu skúšok a tvárniacich nástrojov s uvedením rozmerov podstatných funkčných častí nástroja a skúšobného telesa sú uvedené na obr.2 a 3. Obr.2 znázorňuje varianty skúšky s razníkom s polgul'ovým zaoblením a obr.3 s pneumatickým tvárnením. Varianty pri každom princípe sú odvodené od variant pôsobenia obvodovej prítlačnej sily na skúšobné teleso.



Obr. 2 Princípy skúšok tvárnenia s razníkom s polgul'ovým zaoblením: a) skúška s fixovaním telesa, b) skúška s pridržiavaním telesa, c) skúška bez prítlaku telesa.

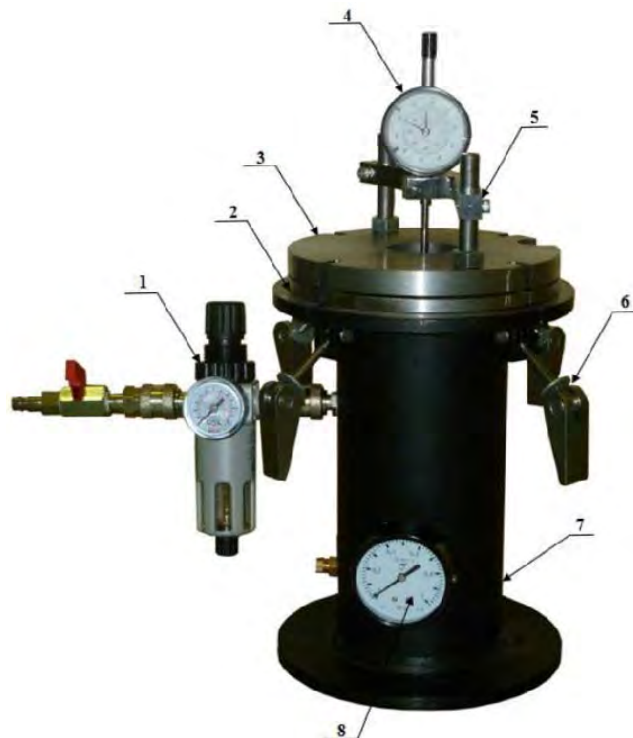
Fig. 2 The principles of tests by moulding with punches with hemispherical rounding: a) test with a fixed test-specimen, b) test with an supported test-specimen, c) test without downforce on the body.



Obr. 3 Princípy skúšok s pneumatickým tvárnením: a) skúška s fixovaním telesa, b) skúška s pridržiavaním telesa, c) skúška bez prítlaku telesa.

Fig. 3 The principles of the tests by pneumatic moulding: a) test with a fixed test-specimen, b) test with an supported test-specimen, c) test without downforce on the body.

Tvárníaca sila pri skúške s tuhým nástrojom – s polgulovým razníkom bola vyvodzovaná skúšobným trhacím strojom firmy LaborTech typu LabTest 4.050 pri posuvnej rýchlosti $5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Pre skúšky s pneumatickým tvárnením bolo vyvinuté špeciálne zariadenie – tlaková nádoba, vybavená potrebnými snímacími prístrojmi (obr.4), do ktorej bol stlačený vzduch privádzaný z kompresora.



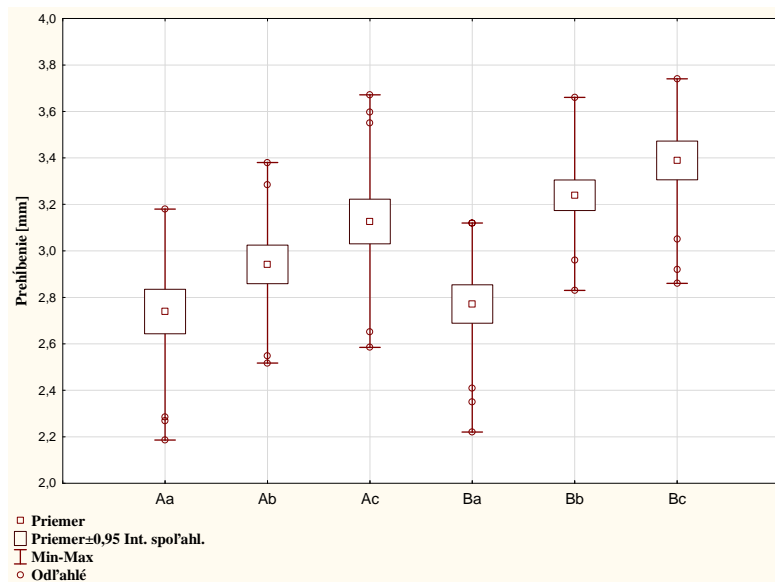
Obr. 4 Zariadenie pre skúšku s pneumatickým tvárnením: 1 – ventil na prívod stlačeného vzduchu, 2 – spodná príruha, 3 – vrchná príruha, 4 – odchýlkomer, 5 – držiak na odchýlkomer, 6 – upínacie zariadenie (excenter), 7 – tlaková nádoba, 8 – pružinový manometer.

Fig. 4 The equipment for test by pneumatic moulding: 1 – valve for the compressed air supply, 2 – the bottom flange, 3 – upper flange, 4 – micrometer dial, 5 – holder of a micrometer dial, 6 – clamping device (excenter), 7 – pressure vessel, 8 – spring manometer

Prehĺbenie, vyjadrené hĺbkou tvárneného telesa, sme snímali nepriamo, a to odchýlkomerom nainštalovaným na vypuklej strane tvárneného materiálu. 3D tvárnosť sme vyjadrili maximálnou hĺbkou tvárneného telesa. Túto sme zaznamenali v okamihu jeho porušenia, pričom k porušeniu dochádzalo buď vznikom trhliny alebo zvlňenia. K druhému typu porušenia mohlo dôjsť len pri skúškach bez prítlaku skúšobného telesa.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Ako vyplýva z metodiky práce 3D – tvárnosť sme zisťovali na základe veľkosti prehĺbenia. Namerané hodnoty boli spracované v počítačovom programe STATISTICA 10. Vyjadrené sú vo forme grafu, ktorý je znázornený na obr. 5.



Obr. 5 Veľkosť prehĺbenia podľa druhu skúšky 3D – tvárnosti: Druh skúšky: A – skúška s tvárnením razníkom, B – skúška s pneumatickým tvárnením, a – skúška s obvodovou fixáciou, b – skúška s obvodovým pridržiavaním telesa, c – skúška bez prítlaku telesa.

Fig. 5 Value of deepening according to the type of test of 3D-formability: Type of the test: A – tests by moulding with punches, B – test by pneumatic moulding, a – test with peripheral fixing of the specimen, b – test with peripheral supported test-specimen, c – test without downforce on the body.

Z uvedeného grafu vyplýva, že veľkosť nameraného prehĺbenia, a teda aj 3D – tvárnosť dýh je ovplyvnená druhom skúšky tvárnenia. Jednotlivé druhy sa vzájomne líšia princípom tvárnenia (tvárnenie razníkom s polgulovým zaoblením, tvárnenie pneumatické) a pôsobením obvodovej prílačnej sily na skúšobné teleso. Významnosť rozdielov medzi jednotlivými druhmi skúšok potvrdzuje Duncanov test, uvedený v tab. 1. Pri porovnaní výsledkov tvárnenia razníkom a pneumaticky je zrejmé, že s výnimkou skúšok s obvodovo fixovaným skúšobným telesom, kde sa rozdiely neprejavili, je hodnota prehĺbenia väčšia pri pneumatickom tvárnení. Uvedené výsledky zodpovedajú predpokladom odvodených od rozdielneho pôsobenia tvárniacej sily – od rozdielneho zaťažovania telesa a rozdielnej veľkosti plochy, na ktorú pôsobí tvárniaca (zaťažovacia) sila.

Tab. 1 Duncanov test – porovnanie vzájomného pôsobenia princípov tvárnenia a spôsobov uchopenia telesa na prehĺbenie.

Tab. 1 Duncan test – comparison of mutual influences of principles of moulding and types of gripping specimens for deepening.

	Princíp tvárnenia	Spôsob uchopenia telesa	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}
1	razník	fixované		0,001	0,000	0,581	0,000	0,000
2	razník	pridržiavané	0,001		0,002	0,004	0,000	0,000
3	razník	bez prítlaku	0,000	0,002		0,000	0,054	0,000
4	vzduch	fixované	0,581	0,004	0,000		0,000	0,000
5	vzduch	pridržiavané	0,000	0,000	0,054	0,000		0,011
6	vzduch	bez prítlaku	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	

Pri tvárnení razníkom s polguľovým zaoblením tvárniaca sila v prvom okamihu zaťažovania pôsobí v strede skúšobného telesa. Táto postupne vzrastá a súčasne sa zväčšuje kontaktná plocha medzi razníkom a telesom (dyhou). Pri pneumatickom tvárnení ide o pôsobenie tvárniacej sily na celú plochu telesa s rovnakým špecifickým zaťažením v určitom časovom okamihu, avšak v čase postupne vzrastajúcou.

Pre objasnenie a zdôvodnenie rozdielov v prehĺbení medzi tvárnením razníkom s polguľovým zaoblením a pneumatickým tvárnením pretransformujeme 3D tvárnenie na sústavu dvojrozmerného tvárnenia pozostávajúcej z množiny nosníkov uložených na dvoch podperách prechádzajúcich stredom skúšobného telesa. Podpery každého nosníka vytvárajú dva protíahlé body matrice, ktorých spojnice prechádza stredom kruhovitého skúšobného telesa. Na nosníku uloženého na dvoch podperách je možné objasniť rozdielne výsledky pri zvolených metódach tvárnenia.

Tvárnenie razníkom s polguľovým zaoblením môžeme z hľadiska mechaniky považovať za zaťažovanie osamelou silou pôsobiace v jednom bode v strede telesa, pričom zanedbávame postupné zväčšovanie plochy, na ktorú pôsobí zaťažovacia sila (kontaktná plocha). Pri takejto charakteristike zaťažovania ide o určitú idealizáciu, pri ktorej osamelou silou nahradzujeme silu v skutočnosti pôsobiacu na určitú plochu.

Tvárnenie pneumatické charakterizujeme ako zaťažovanie spojité s postupne vzrastajúcou veľkosťou sily.

Zaťažujúca sila vyvoláva ohybový moment, od veľkosti ktorého závisí priehyb nosníka. Pri ohýbaní osamelou silou je maximálny ohybový moment v strede telesa (nosníka) a smerom k okrajom (podperám) sa lineárne znižuje. Pri pneumatickom tvárnení – spojitom zaťažení, ohybový moment má svoje maximum taktiež v strede telesa, ale má parabolický priebeh.

Ak porovnáваме oba prípady zaťaženia (tvárnenia), tak pri tom istom ohybovom momente v strede telesa (nosníka), vyvolaným ale rozdielnou zaťažujúcou silou, sú v dôsledku parabolického priebehu pri spojitom zaťažení (pneumatickom tvárnení) väčšie ohybové momenty v zóne od stredu po okraj telesa ako pri zaťažení osamelou silou pôsobiace v strede telesa. Ich dôsledkom je pri pneumatickom tvárnení zväčšený priehyb v tejto zóne, a tým aj väčší celkový priehyb ako pri tvárnení razníkom. Experimentálne získané výsledky to potvrdzujú.

V ďalšom texte porovnáваме a objasníваме získané výsledky – veľkosti prehĺbenia v závislosti na pôsobení obvodovej prítlačnej sily.

Pri skúške s obvodovou fixáciou skúšobného telesa sa preukázali najnižšie hodnoty 3D – tvárnosti. Vo svojej podstate k prehĺbeniu dochádza len v dôsledku ťažnosti materiálu – deformácii v ťahu. Ako je známe, tieto sú veľmi malé a pri dreve sa pohybujú v hodnotách pod 1% (REGINÁČ *et al.* 1990; KÚDELA 2005), čo sa prejavuje aj vo veľkosti prehĺbenia. Pri tomto spôsobe pretvárania materiálu sa v dôsledku ťahových napätí mení hrúbka materiálu, čo nezodpovedá účelu plošného tvárnenia. Cieľom plošného tvárnenia je získať výrobok – výtvarok žiadaného tvaru konštantnej hrúbky zodpovedajúcej hrúbke tvárneného materiálu. Ide o idealizovaný cieľ, ku ktorému sa prakticky využívané metódy tvárnenia musia približovať.

Tvárnenie s obvodovou fixáciou má uplatnenie len pre vysoko rozťažné materiály, napr. plasty vo forme fólií. Pre drevné materiály je takýto spôsob tvárnenia neprijateľný, preto ani skúšku s obvodovou fixáciou nepovažujeme za reprezentatívnu pre hodnotenie 3D – tvárnosti dýh. Zvolili sme ju len za účelom porovnania získaných výsledkov s ostatnými skúškami.

Skúšky na princípoch bez obvodového prítlaku a pridržovania skúšobného telesa preukazujú vyššie hodnoty prehĺbenia ako skúšky s obvodovou fixáciou. Sú charakteristickejšie pre posudzovanie tvárnosti ako predchádzajúca skúška. Väčšie

prehlbenie v oboch prípadoch vyplýva z možnosti posúvania – ťahania tvárneného materiálu počas pôsobenia tvárniacej sily. Veľkosť prehlbenia tak závisí nielen od veľkosti deformácií v ťahu, ale aj od veľkosti posuvu tvárneného materiálu do vnútra dutiny matrice. Prehlbením kruhového telesa do vnútra dutiny sa znižuje polomer obvodovej kružnice, to znamená, že na obvode telesa v tangenciálnom smere sa vytvára tlaková sila. Ak túto teleso nie je schopné preniesť, dochádza k jeho vybočeniu – k tvorbe zvlnenia. Pri skúške bez obvodového prítlaku jeho vznik znamená ukončenie procesu tvárnenia. Pri skúške s pridržiavaním k tvorbe zvlnenia nemôže dôjsť, na základe čoho veľkosť prehlbenia by mala byť väčšia.

Experimentálne zistené výsledky pri týchto skúškach sa odlišujú od očakávaných. Predpokladali sme, že maximálne prehlbenie sa dosiahne pri metóde s pridržiavaním skúšobného telesa, ktorej princíp nedovoľuje tvorbe zvlnenia. V dôsledku tohto obmedzenia v porovnaní s metódou bez prítlaku môže proces tvárnenia prebiehať až do vzniku trhliny na skúšobnom telese.

Väčšie prehlbenie pri tvárnení bez prítlaku skúšobného telesa možno objasniť nedokonalosťou vizuálneho zaznamenania okamihu vzniku vlnenia. Zložitosť jeho zaznamenania sa prehlbuje tým, že dyha nemusí byť ideálne rovná a pri tvárnení bez prítlaku už v počiatočnom štádiu skúšky môže mať od rovinnosti určitú odchýlku. Nezaznamenanie okamihu vzniku zvlnenia znamená, že proces tvárnenia sa neukončí a prehlbenie sa zväčšuje. V nedokonalosti zaznamenania zvlnenia možno vidieť aj príčinu toho, že veľkosť prehlbenia pri tvárnení bez prítlaku je väčšia ako pri skúške s pridržiavaním skúšobného telesa.

Z dosiahnutých výsledkov a ich analýzy sme dospeli k záveru, že najobjektívnejšou skúškou pre posudzovanie 3D – tvárnosti sa javí skúška s pridržiavaním skúšobného telesa, za podmienok uvádzaných v popise skúšky. Zdôvodňujeme to tak, že skúška sa najviac približuje k reálnym podmienkam a ďalej tak, že k porušeniu telesa dochádza výlučne na základe vzniku trhliny. Okamih vzniku trhliny je v dôsledku zvukovo – vizuálneho prejavu ľahšie zaznamenateľný ako vznik zvlnenia v prípade skúšky bez prítlaku skúšobného telesa.

ZÁVER

Skúšku zisťovania 3D – tvárnosti dýh možno zaradiť do kategórie technologických skúšok, ktoré na rozdiel od základných mechanických skúšok (ťah, tlak, ohyb a pod.) by sa mali vykonávať vo veľmi blízkych (napodobňujúcich) podmienkach k podmienkam skutočných technologických metód (HUDÁK, TOMÁŠ 2009). Preto pre posúdenie 3D – tvárnosti dýh sme zvolili dva základné princípy tvárnenia aplikované predovšetkým v nábytkárskej výrobe pri dvoj, prípadne trojrozmernom tvárnení, a to tvárnenie prostredníctvom tuhej formy a stlačeným vzduchom (pneumaticky). 3D tvárnosť sme posudzovali na základe prehlbenia na kruhových telesách s ich obvodovou fixáciou, pridržiavaním alebo bez prítlaku.

Na základe dosiahnutých výsledkov, ako aj poznatkov a skúseností získaných pri experimentálnych skúškach, sme dospeli k záveru, že najobjektívnejšie údaje o 3D – tvárnosti dýh možno získať skúškou s pridržiavaním skúšobného telesa, a to tvárnením tak tuhým nástrojom ako aj stlačeným vzduchom. Veľkosti prehlbenia charakterizujúce 3D – tvárnosť sú pri tvárnení vzduchu väčšie ako pri tvárnení tuhým nástrojom, čo vyplýva z rozdielnosti pôsobenia tvárniacej (zaťažovacej) sily.

Literatúra

HUDÁK, J., TOMÁŠ, M. 2009. Hodnotenie procesovej tváriteľnosti ocelí pre automobilový priemysel. In Transfer inovácií [online]. 2009 [cit. 2013-09-25]. 2009, č. 13, s. 104-108. Dostupné na internete: <http://www.sjf.tuke.sk/transfereinovacii/pages/archiv/transfer/13-2009/pdf/104-108.pdf>. ISSN 1337-7094.

KÚDELA, J. 2005. Vlhkostné a tepelné namáhanie bukového dreva. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2005. 141 s. ISBN 80-228-1486-5.

REGINÁČ, L. *et al.* 1990. Náuka o dreve II. 5. vyd. Zvolen : VŠLD Zvolen, 1990. 424 s. ISBN 80-228-0062-7.

VELES, P. 1989. Mechanické vlastnosti a skúšanie kovov. 2. vyd. Bratislava : ALFA; 1989. 408 s.

WAGENFÜHR, A., BUCHELT, B. 2004. 3-D-Umformung von Furnier: Analyse und Charakterisierung dreidimensionaler Verformungen von Furnier. HOB Die Holzbearbeitung, 2004, (3): 89–92.

WAGENFÜHR, A., BUCHELT, B. 2005. Untersuchungen zum Materialverhalten beim dreidimensionalen Formen von Furnier. Holztechnologie, 2005, 46(1): 13–19. ISSN 0018-3881.

Pod'akovanie

Príspevok vznikol za podpory agentúry VEGA pri riešení projektu č. 1/0422/12 „Modifikovanie vlastností dreva pre účely jeho 3D – tvárnenia“.

Adresa autorov

prof. Ing. Ján Zemiar, PhD.

Ing. Jozef Fekiač

Technická univerzita vo Zvolene

Drevárska fakulta

Katedra nábytku a drevárskych výrobkov

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

Slovensko

zemiar@mwh.tuzvo.sk