XV. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2010. március 25-26.

PRAMET KEMÉNYFÉMEKRE FELVITT KORSZERŰ PVD-BEVONATOK FORGÁCSOLÓKÉPESSÉGÉNEK VIZSGÁLATA

BIRÓ Szabolcs, dr. CSELLE Tibor, dr. HÁJEK Václav, dr. SIPOS Sándor

Abstracts

The lecture summarizes the traditional coatings, used during physical vapour deposition (PVD), their conditions of application and describes the beneficial effects, carried out on the cutting performance of these layers.

It introduces the one-layer and multilayer versions of nanocomposite (nAlTiN + aSi₃N₄)-based coatings and presents the latest coating layer systems as well, developed in mid-2009. The investigations have been carried out on different coating systems, deposited on the carbide inserts, made by Pramet s.a. (Czech Republic).

Based on the results of the wear and tool life examinations, considered to be the most important characteristics of the cutting performance, conclusions will be drawn about the durability of the each coating type, the main characteristics (development of the force effects and the surface roughness) of the wear process will be introduced; furthermore, the order of the coatings from the point of view of the process safety will be given as well.

Key words:

physical vapour deposition, nanocomposite based coatings, results of the wear and tool life, cutting performance

Összefoglalás

Az előadás összefoglalja a fizikai rétegfelvitelkor (PVD) alkalmazott hagyományos bevonatokat, azok alkalmazási körülményeit és ismerteti a rétegek forgácsolóképességre gyakorolt előnyös hatását.

Bemutatja a nanokompozit (nAlTiN+aSi₃N₄) alapú bevonatok egy- és többrétegű változatait, kitér a legkorszerűbb, 2009 közepén kifejlesztett bevonatrendszerekre is. A vizsgálatokat a Pramet s.a. (Cseh Köztársaság) cég keményfémlemezre felvitt különféle bevonatrendszereken végzi.

A forgácsolóképesség fő jellemzőinek tartott kopás- és élettartamvizsgálatok eredményei alapján következtetéseket von le egyes bevonatok tartósságáról, megadja az elhasználódási folyamat főbb jellegzetességeit (erőhatások és érdesség alakulása), továbbá rangsorolja a bevonatokat a folyamatbiztonság szempontját figyelembe véve.

Kulcsszavak:

fizikai rétegfelvitel, nanokompozit alapú bevonatok, kopás- és élettartamvizsgálatok, forgácsolóképesség

1. Bevezetés

A szerszáminnováció egyik legígéretesebb területe – a szerszámkonstrukció fejlesztése és az alkalmazható szerszámanyagok körének bővülése mellett – a bevonatok anyagainak és a bevonatolási módszerek javítása, ahol robbanásszerű fejlődés figyelhető meg. A különböző teljesítményű bevonatoló berendezések fejlesztése lehetővé teszi, hogy annyiféle bevonattípusból választhassunk, mint még soha. Az univerzálisan alkalmazható bevonattípusok mellett megjelentek olyan speciális (PM HSS lefejtőmarókra, Ni-alapú ötvözetek fűrőkre felvitt) bevonatrendszerek is, amelyeket egy-egy adott feladat elvégzésére fejlesztettek ki és amelyek a szerszám forgácsolóképességét jelentős mértékben növelik.

A korábbi Budapesti Műszaki Főiskola (ma Óbudai Egyetem) Bánki Donát Gépészmérnöki Kara, a Platit AG (Svájc), valamint leányvállalatának, a Pivot a.s. kutató csoportjainak együttműködés során sikerült feltárnunk a keményfém lapkákra felvitt PVD-bevonatoknak forgácsolóképességre gyakorolt hatását. Ezen beszámolónk a leányvállalat sumperki bevonatoló egysége (típusjele: $\pi 300$) által készített bevonatokon elvégzett kutatásaink eredményeit tartalmazza. Annak érdekében, hogy a bevonatok forgácsolóképességét jobban össze tudjuk hasonlítani, a különböző típusú bevonatok azonos, a Pramet a.s. által gyártott (ú.n. bázis) lapkákra kerültek. Jelen írásunkban a különböző nanokompozit bevonatok, például a többrétegű nACo-MT és nACo³, teszteredményeiről számolunk be. Vizsgálatainkat kiterjesztettük a 2009 májusában megjelent nACoX4 bevonatrendszerre is, amelyet a világon elsőként fejlesztettek ki, oxinitrid fedőréteget tartalmazó nanokompozit szerkezettel [1].

2. Fő célok és a vizsgálati eljárások

A forgácsolóképesség szisztematikus vizsgálata érdekében nagyszámú tesztet hajtottunk végre, amelyben a bevonatolt lapka aktív területeit és kapcsolódási zónáit vizsgáltuk különböző körülmények között.

2.1. A vizsgálati eljárás fő céljai

A forgácsolóképességet a lentebb felsorolt, 3...13 μm vastagságú, azonos, a Pramet a.s. cég által gyártott keményfém lapkákra felvitt, PVD-bevonatokon vizsgáltuk. A Pramet lapkák anyaga keményfém, jele: H10F, extra finomságú (szemcseméret 0,8 μm), 90% volframötvözetet (WC) és 10% kobaltot tartalmaz.

A keményfém lapkák forgácsolóképességének tanulmányozása érdekében három, különböző vastagságú bevonatréteget teszteltünk az esztergálási folyamat közben. A $\pi 300$ által felvitt legújabb fejlesztésű bevonatrendszerek fizikai jellemzőit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat

	Hátfelületi rétegvastagság, μm	Homlokfelületi rétegvastagság, μm	Mikrokeménység, GPa	Ra értéke a hátfelületen, μm	Rz értéke a homlokfelületen, μm
nACo-MT	7,7	4,5	40,1	0,43	4,04
nACo ³	5,7	3,1	42,9	0,43	3,64
nACoX4	13	n.a.	30,2	n.a.	n.a.

Fő célunk a forgácsképződés és a forgácstörés bekövetkezésének elemzése volt, valamint a lapkák tartós viselkedésének (főleg a kopással összefüggő jelenségek, például az éltartamnak, vagy az érdesség-előállító képességnek) részletes vizsgálata volt. A legfontosabb kérdések a következők:

- Melyik bevonattal érhető el hosszabb éltartam esztergálás során CNMG lapkával?
- Hogyan befolyásolja a bevonat szerkezete és keménysége a tesztelt lapka forgácsolóképességét?
- Milyen bevonatanyag alkalmas a különböző feladatokra?

2.2. Vizsgálati módszerek

A vizsgálatokat nemzetközi irányelvek és magyar szabványok, valamint a korábbi vizsgálatssorozatok során [1] szerzett tapasztalataink alapján hajtottuk végre.

2. táblázat

Szerszámgép	SU50/1500 típusú eszterga, fokozatnélküli hajtással
Munkadarab	Anyaga: ötvözetlen szerkezeti acél, C35 (W.Nr. 1.0501), fő ötvöző anyagok: Mn 0,77%, Si 0,3%), Mérete: $\varnothing 125 \times 200$ mm Állapota: normalizált állapotú (HB 185 $\pm$ 5), elő-munkálva, tokmányba fogva, csúccsal támasztva
Tesztszerszám	Szerszámtartó: DCLNR 2525 M12 (Sandvik, Svédország) Lapkák: CNMG120408-PM (Pramet a.s., Csehország)
Mérőberendezések	3 komponenses, 5015 jelű erőmérő DynoWare szoftverrel (mindkettő Kistler AG) CCD kamerával felszerelt sztereómikroszkóp és mérőszoftver (HI-TEC WMS, Németország) MarSurf PS1 hordozható érdességmérőműszer (Perthen-Mahr, Németország)
Alkalmazott vizsgálati körülmények	Fogásmélység, $a = 1,5$ mm (állandó) Előtolás, $f = 0,2$ mm (állandó) Forgácsolósebesség, $v_c = 200 \dots 350$ m/min (változó)

Bár a mérőrendszer lehetővé tenné három komponens (tangenciális vagy forgácsolóerő, a radiális vagy passzív erő és előtolásirányú erőkomponens) mérését is, mi csak két összetevő mérését végeztük a KISTLER 5015 erőmérővel és a Dynoware szoftverrel. A forgácsolóerő függőleges síkban érintve gyakorol hatást a munkadarabra. A passzív erőkomponens radiálisan hat a munkadarabra, ezért passzív erő deformálhatja a szerszámgép – munkadarab – szerszám (G-M-SZ) rendszert.

Vizsgálatainkba összefüggést kívántunk létrehozni a mért szerszámkopás és a forgácsolt felület érdességi paraméterei között. A hátkopás megfigyelésekor, amelyet a sztereómikroszkópon a 45-szörös nagyítás mellett végeztünk el, sikerült megtalálnunk a remélt összefüggést.

A forgácsolási körülményeket a korábbi vizsgálataink alapján határoztuk meg (l. a 2. táblázat). Tekintettel arra, hogy bármilyen szerszám forgácsolóképessége elsősorban a kopástól függ, ezért ezt különös figyelemmel vizsgáltuk az előbb említett sztereómikroszkóp segítségével. A teljes vizsgálati folyamat során kopáskritériumként a hátkopás 0,2 mm értékét választottuk.

3. Teszteredmények

A “forgácsolóképesség” kifejezésnek komplex jelentése van, amelyet a következő paraméterek jellemeznek:

1. ábra Mérőrendszer, sztereomikroszkóp, szerszámkopás

- fő paraméternek tekintjük a fellépő kopást, a kopásintenzitást és éltartamot,
- kiegészítő jellemzők a forgácsolóerő komponensek, a teljesítmény, a hőmérséklet, az anyagleválasztási sebesség, a felületi minőség (a megmunkált felületet és hullámosságot jellemző számtalan egyéb paramétert is beleértve), a forgács formája és mérete, stb.

A különböző körülmények között kapott eredmények elemzésekor igyekeztünk a gyakorlat számára legfontosabb következtetéseket levonni. Bár ezek az eredmények érdekesek lennének minden felhasználó számára, bemutatásukra - helyhiány miatt - e beszámolóban sajnos nincs módunk.

3.1. A bevonatolt lapkák kopási folyamata

Ahogy korábban is említettük, a forgácsolóképességet számos sebességen minősítettük. Tekintettel arra, hogy a vizsgált lapkáknál az alapkeményfémek, lapkageometriák és élkialakítások **azonosak** voltak, arra a következtetésre jutottunk, hogy az észlelhető eltéréseket maguk a különböző bevonatrétegek okozták.

A forgácsoló szerszám elhasználódásának fő jellemzője a kopás, amely a forgácsolólapka számos részén megfigyelhető. Két kopásfajtát különböztettünk meg: az egyik a hátkopás, amelyet a munkadarab anyagának kemény részecskéi okoznak, a másik a kráterkopás, amely a forgács és a szerszám anyaga közötti adhéziós és diffúziós kölcsönhatások eredménye. Vizsgálatainkat a hátkopás mérésére összpontosítottuk, de megfigyeltük a kráterkopás terjedését is.

Az előbb említett bevonatrétegek közül három típust mutatunk be a következőkben. Érdemes ezeknél a kopási folyamatot és a kopásintenzitás alakulását részletesen is megvizsgálni [2].

A nACo-MT típusú bevonat

A standard nACo (TiAlN / SiN_x) nanokompozit bevonat 2003-ban jelent meg a Platit palettáján, ennek multilayeres változatát teszteltük. A rendelkezésünkre bocsátott mikroszkópos felvételeken (2. ábrán) jól megfigyelhető a bevonat multilayeres szerkezete. E bevonatot négy különböző forgácsolósebességen teszteltük, igen széles sebességtartományt alkalmazva ($v_c = 200 - 315$ m/min). A különböző forgácsolósebességekhez tartozó kopásgörbék szintén az 1. ábrán láthatók.

A forgácsoló szerszámok elhasználódásának fő oka a hátfelületi kopás, amely a főforgácsolóélen figyelhető meg. Az összes kopás-idő görbe tipikus alakú: az első pár (kb. 2) perc gyors kopását kö-

vetően az elhasználódási folyamat egy állandósult értékre lassul le. A kopás nem csak a hátfelületre terjed ki, de az intenzív kráterképződés a homlokoldalon (illetőleg a forgácsoló horonyban) is megjelenik. Ezért a tesztelt lapkák valódi meghibásodása a főél kitörése volt. Kisebb forgácsolósebességeknél a törés akkor következett be, amikor a hátfelületi kopás értéke a $VB \approx 0,2$ mm értéket elérte, igen nagy ($v_c \geq 300$ m/min) forgácsolósebességnél ez a jelenség $VB \leq 0,15$ mm kopásérték után következett be. Ez a bevonattípus a - korábbi publikációinkban [3] szereplő - kopáselőrejelző programmal gyakorlatilag megegyező értékeket adott, ezért az ilyen típusú bevonatra jól alkalmazható az állapotfelügyelet.

A nACo³ típusú bevonat

A három részből összetett nACo³ bevonat 2007-ben jelent meg. A bevonatréteg szerkezete a következő: az alapkeményfémén egy kb. ~ 200 nm adhéziós réteg, középen egy hagyományos, kb. $\sim 1,4$ μ m vastagságú, igen nagy alumíniumtartalmú AlTiN-réteg, kívül pedig egy kb. $0,5$ μ m vastagságú, nACo jelű nanokompozit-réteg található. Az 1. táblázat szerint ennek a bevonatnak van a legkisebb vastagsága, a keménysége viszont a legnagyobb. Ezt a típusú bevonatrendszer négy különböző forgácsolósebességnél teszteltük, megnövelt sebességtartományt ($v_c = 300 - 350$ m/min) alkalmazva. Az egyes forgácsoló- sebességekhez tartozó kopásgörbéket a 3. ábra mutatja.

Az összes becsült kopás-idő görbének tipikus alakulása van, amely egy mérsékelt növekedési és gyors kopáskeresztalálódási szakaszt tartalmaz. Az első pár (megközelítőleg 1...3) percnél gyors kopást követően a kopás egy állandósuló értékre lassul le (1. a 2. ábra). Ezen okból kifolyólag, 6...17 percnél forgácsolódó után a kopás szélessége kisebb volt mint $VB_c = 0,08...0,16$ mm. Ezt követően azonban a kopási folyamat - a kráterkopás dominánssá válása következtében - radikálisan megváltozik és a lapka kopási folyamata drasztikus töréssel végződik. Ez a bevonattípus számunkra előrejelezhetetlen kopást produkált, így az állapotfelügyeletet a [3] irodalomban leírt módon nem lehet megvalósítani.

A $nACoX4$ típusú bevonatrendszer

Ennek a kombinációnak 4 rétege van, ezek sorrendje (a belső rétegtől a külső irányában haladva): TiN, $nACo$, $AlCrN$ és egy $AlCrON$ -réteg (4. ábra). Ezt a bevonatszerkezetet három különböző forgácsolósebességnél teszteltük, megfelelően nagy sebességtartományt ($v_c = 315 - 350$ m/min) alkalmazva. A különböző forgácsolósebességekhez tartozó kopásgörbék a 4. ábrán láthatók.

Valamennyi közölt kopás-idő görbe tipikus alakú: az első pár (kb. 1...2) percnyi gyors kopást követően a hátkopás mértéke eléri a 0,1...0,13 mm értéket, amely a kopáskritérium 50-60%-át jelenti! Ezt követően a kopásintenzitás - a komoly igénybevételt jelentő körülmények ellenére - egy állandósult értékre lassul le (l. a 4. ábra) és mérsékelt szerszámkopást okoz. A kopási folyamat a hátfelületen kezdődött, főleg szélkopás formájában, amely a teljes kopási folyamatot végigkísérte. Ez kráterkopással egészült ki, amely fokozatosan az élék irányában terjedt tovább. Ez a bevonattípus olyan kopás – idő függvényekkel írható le, amely teljes mértékben alkalmas az állapotfelügyelet [3] szerinti megvalósítására.

3.2. A nanokompozit szerkezetű lapkák éltartama

Az általunk elvégzett vizsgálatok a kopásformák (hátkopás, kráterkopás) kombinációját mutatták. A forgácsolás elmélete szerint ez a nem-taylori görbék forrása és egyben a magyarázata is [4]. A forgácsolásban eltöltött idő – a szerszám éltartamkritériumával ($VB=0,2$ mm) összhangban – igen széles tartományban, 6...44 perc között szóródott, a meghibásodás oka döntően az éllepattanás volt. Az általunk tesztelt bevonattípusok különböző forgácsolósebességhez tartozó éltartamai az 5. ábrán láthatók. Hasonlóképpen itt látható egy közös sebesség ($v_c=315$ m/min) beállításakor bekövetkező lapkaelhasználódás.

Vizsgálataink fő eredményeit a 3. táblázatban gyűjtöttük össze. Ebben – az [5] szakirodalom alapján – összefoglaltuk a legfontosabb forgácsolóképességi adatokat és jellemzőket is.

4. Összefoglalás, következtetések

Az elvégzett műszeres mérések, az összegyűjtött tapasztalatok, valamint az 5. ábra és 3. táblázat alapján az alábbi következtetéseket vontuk le:

- az éltartam a forgácsolósebesség függvényében nem-taylori formát mutatott a vizsgálati tartományban. Az egyes bevonatokra megállapított egyenletet a 3. táblázat tartalmazza;
- a legnagyobb forgácsolósebességet alkalmazva a tesztelt bevonatolt lapkák forgácsolóképessége drámaian megváltozott;
- a nACo-MT bevonatrendszer alkalmazásakor jó teljesítmény figyelhető meg, ami a bevonatrét legnagyobbat mért vastagságával függhet össze: ez valóban hatásos védelmet nyújt, különösen alacsony forgácsolósebességeknél. Az ipari gyakorlatban történő széleskörű alkalmazása annak ellenére is javasolható, hogy a legszerényebb éltartammal rendelkezik. A bevonat kopása azonban jól model-

3. táblázat

Forgácsolósebesség, v_c , m/min	Különböző bevonattípusok éltartamai (T, min)		
	nACo-MT	nACo ³	nACoX4
200	44		
250	28		
300	14,3	17,1	
315	10,5	14,5	19
330		10,3	14
350		6,2	11
Forgácsolósebesség T=15 min-nél, $v_{cT=15}$, m/min	295,6	309,8	325,3
Forgácsolóképességi index, FKI _T , %	100	~105	~110
Éltartam $v_c=315$ m/min- nél, $T_{v_c=315}$, min	10,5	14,5	19
Forgácsolóképességi index, FKI _v , %	100	~138	~181
Nem-taylori éltartam- görbe egyenlete [m/min]	$v_c = 346 \cdot T^{0,025} \cdot e^{-0,015 \cdot T}$	$v_c = 370 \cdot T^{0,023} \cdot e^{-0,016 \cdot T}$	$v_c = 340 \cdot T^{0,1} \cdot e^{-0,021 \cdot T}$

lehető az általunk alkalmazott szoftverrel, így a folyamatbiztonság garantált. Ez adta a legrövidebb éltartamot, ezért ez a minőség jelentette a megfigyeléseink során az etalont (bármilyen összehasonlításnál ez jelenti a 100%-ot).

- jobb eredmények érhetők el a **nACo³** bevonat alkalmazásával, a legnagyobb mikrokeménységnek és a felvitt bevonat legsimább felületének (vagyis topográfiai állapotának) köszönhetően. Állandó éltartam mellett kb. 5%-kal nagyobb sebességre képes, azonban egy meghatározott (315 m/min) sebességen mintegy 38%-kal nagyobb éltartamot mutat. Az ipari gyakorlatban történő széleskörű alkalmazását az nehezíti meg, hogy ridegsége folytán a bevonat könnyen, előre meg nem jósolható módon katasztrofális kopást szenved.

- A legjobb eredményeket az oxinitrides fedőréteget tartalmazó **nACoX4** használhatóval érhetjük el, hiszen a bevonat legalább kétszer jobb éltartamot tesz lehetővé a nACo-MT kódú (etalon) bevonattal összehasonlítva. Ez az igazán megfelelően összeállított rétegszerkezettel és nem a bevonatolt lapka nagyobb rétegvastagságával vagy mikrokeménységével függhet össze. Véleményünk szerint a TiN adhéziós réteg jobb tapadást tud biztosítani a később felvitelre kerülő réteg(ek)hez. Állandó éltartam

mellett kb. 10%-kal nagyobb sebességre alkalmas, sőt, egy meghatározott (315 /min) sebességen mintegy 80%-kal nagyobb élettartamra képes. Ez azt jelenti, hogy a szerszámmal kapcsolatos költségek (lapkaár, a csere miatti ráfordítások) csökkennek, a műveleti költségek mérséklődnek. Ezért is javasoljuk az oxinitrides bevonatok széleskörű ipari gyakorlatban történő alkalmazását. Emellett szól az is, hogy a bevonat kopása jól modellezhető az általunk alkalmazott szoftverrel, így a folyamatbiztonság garantált.

A különböző esztergalapok forgácsolótéljesítményének csökkenése a hátkopás mértékével jellemezhető általánosan. Két kopásformát figyelhettünk meg: a hátkopást, amelyet a munkadarabanyag kemény részecskéinek jól ismert abrazív mechanizmusa okozott, valamint a kráterkopást, amely a forgács és a szerszám anyaga közötti adheziós és diffúziós kölcsönhatás eredménye. Az eredményeket elemelve levonható a következtetés, hogy

- a vizsgált lapkák hátkopásméretének növelésével a forgácsolóerő és a passzív erő is csak kis mértékben növekedett. Ez a tény a kráterkopás kialakulásával magyarázható, amely segít a forgácsolóél élességének megtartásában.

- A kráterkopás terjedése a tapadási-fáradási kopásmechanizmussal van összefüggésben, amely a homloklapon koncentrálódik. Mivel ezek a kis részecskék könnyen rátapadnak a forgács anyagához, ezért a szerszám anyagának termikus-adheziós fáradását okozhatják. 7-10 perc forgácsolódót követően a kopási folyamat erősebbé válik, amely a fent említett kopásmechanizmussal magyarázható.

- a forgácsolóél elhasználódási folyamata nem egységesen hat a különböző bevonatrendszerek által előállított felületi érdességparaméterekre (R_a , R_m , R_z), és elfogadhatatlanul gyenge minőségű felületet okoz akkor, amikor a kopásfolyamat egy kritikus szintet elér;

- A Pramet cég alapkeményfémére felvitt különböző bevonatrétegek csak késleltetni tudták a lapka homloklapján kialakuló kráterkopás folyamatát. Ez az alapkeményfém összetételével magyarázható elsősorban. A forgácsolóképességi index egyértelművel utal a védelem fokára, amelyet a különféle összetételű nanokompozit bevonatrendszer nyújtani tudnak.

Az előző bekezdésekben három bevonatréteget mutattunk be. Tekintettel arra, hogy a legjobban teljesítő bevonat külső rétege oxinitridből készült, érdemes a lapka kopását kísérő elhasználódási folyamatot külön is megvizsgálni. Ez azonban egy következő előadásnak lehet a tárgya.

Irodalom

- [1] *Investigation on cutting performance of carbide inserts with several types of coatings made by PLATIT AG.* (Special Report), Budapest Tech, 2006.
- [2] T. Cselle and others, *Oxinitride coatings for test on TH Budapest*, 36th International Conference On Metallurgical Coatings And Thin Films (ICMCTF 2009) April 27-May 1, 2009 Town and Country Hotel San Diego, California, USA

- [3] Sz. Biró, Zs. Kisa, P. Uracs, S. dr. Sipos, *New results of investigations carried out on tools made by the IMC Group*, XXIII. microCAD International Scientific Conference, 19-20 March 2009., Miskolc, Section M., p. 27 – 33.
- [4] [www.forgacsolaskutatas.hu/Elmélet/Nem Taylor-i éltartamgörbék](http://www.forgacsolaskutatas.hu/Elmélet/Nem-Taylor-i-éltartamgörbék)
- [5] www.forgacsolaskutatas.hu/Elmélet/Forgácsolóképesség

Biró Szabolcs, intézeti mérnök

Munkahely: Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépészmérnöki Kar

Cím: 1081 Budapest, Népszínház utca 8.

Telefon: +36/1-666 5343

E-mail: biro.szabolcs@bgk.uni-obuda.hu

dr. Cselle Tibor, PhD, CEO

Munkahely: Platit AG.

Cím: www.platit.com

dr. Hájek Václav, PhD, projektmenedzser

Munkahely: *Pivot a. s.*

Cím: www.pivot.cz

dr. Sipos Sándor, mestertanár

Munkahely: Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépészmérnöki Kar

Cím: 1081 Budapest, Népszínház utca 8.

Telefon: +36/1-666 5427

E-mail: sipos.sandor@bgk.uni-obuda.hu