

NUMERICAL MODELLING OF HOT FORMING OF SHEET COMPONENTS MADE OF 22MnB5 STEEL

Dr. Tisza Miklós¹, Dr. Lukács Zsolt², Tóth Dénes³

¹egyetemi tanár, intézeti tanszékvezető, ²egyetemi docens, ³PhD. hallgató

*Miskolci Egyetem, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet,
Mechanikai Technológiai Intézeti Tanszék*

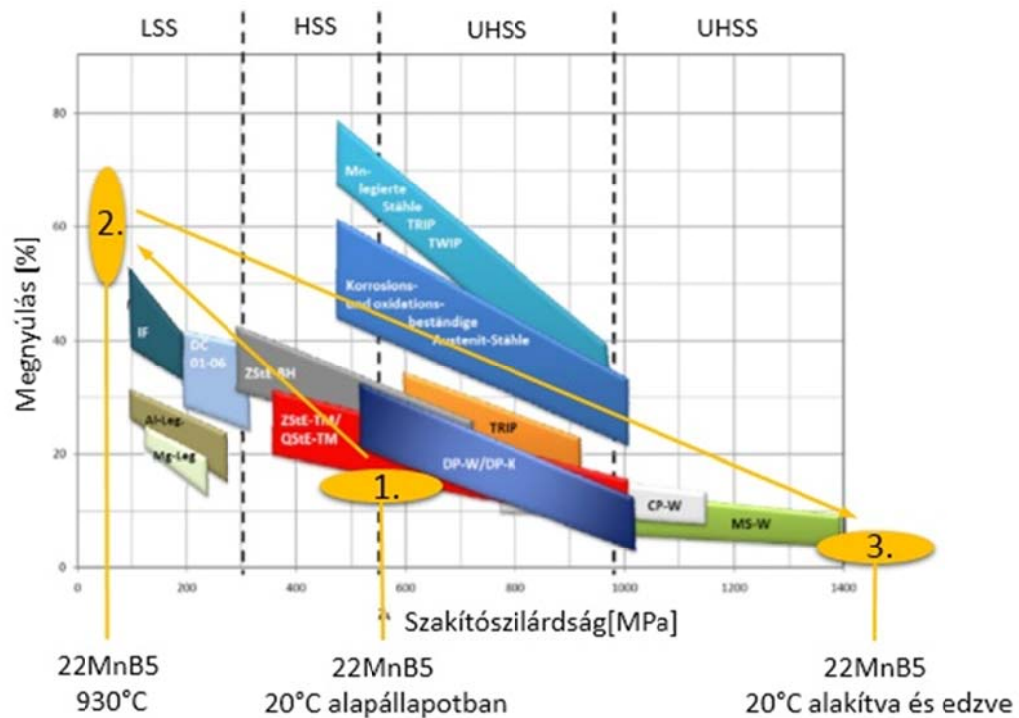
ABSTRACT

The strict environmental regulations and the increasing safety requirements have posed new challenges for all participants in the automotive industry and manufacturers of raw materials. 22MnB5 micro-alloyed manganese steel has been developed for automotive body panels as raw material to satisfy these challenges. The new raw material required the development of new forming processes called „Hot Forming, also termed as Press Hardening”. The automotive sheet metal technologies and tool design processes have become everyday application targets of integrated numerical modeling programs. In this paper, some considerations of numerical modeling of this new forming process will be introduced through the example of specific automotive sheet metal parts.

BEVEZETÉS

A károsanyag kibocsátás csökkentésének egyik lehetséges iránya az egyre szigorodó szabályozás kielégítése érdekében a járművek tömegcsökkentése. Mindezt viszont nem lehet a biztonság-technikai előírások rovására megtenni. Ezért az autóipar, az alapanyag gyártókkal közösen, új anyagokat és új karosszériaépítési koncepciókat dolgozott ki [1], [2]. Ezen új karosszéria építési elvek alapját az új növelt szilárdságú acélanyagok utóbbi néhány évtizedben bekövetkezett robbanásszerű fejlődése tette lehetővé. Az új alapanyagok egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy viszonylag nagy szilárdság mellett is, az alakítás elvégzéséhez szükséges alakváltozási jellemzőkkel is rendelkeznek. E két, alapjaiban egymással ellentétes kihívást, az ötvözők célszerű megválasztásával, vagy különleges alakítási eljárások kifejlesztésével érték el. Az új fejlesztésű anyagcsoportokat a szakítószilárdságuk és a hozzá tartozó alakváltozási mérőszámuk alapján jelenítjük meg az 1. ábrán. Ezen anyagok, egyik jellegzetes autóipari képviselője, a 22MnB5 jelű, bórral mikroötvözött Mn-acél. A 22MnB5 hidegalakíthatóságával nem tűnik ki az egyes acélcsoportok közül, de az utóbbi évtizedekben kidolgozott, Hot Forming (Press Hardening) eljárással alakítva, napjaink karosszéria elemei alapanyagának jelentős szegmensét fedi le [3]. Ezen acélcsoport alakítási technológiájának jellegzetessége, hogy felhevítés hatására az austenites szövetszerkezet biztosítja a jó alakváltozó képességet, majd a hűtött szerszámban végzett alakítás után a zárási idővel jellemzett hőelvonási folyamat során az austenit, nagy szilárdsággal jellemezhető martenzitté alakul [4]. Ez követhető nyomon az 1. ábrán, ahol 1. számmal jelöltük a

22MnB5 acél hidegalakításra érvényes alakváltozási és szilárdsági jellemzőit. Ha az alapanyagot austenitesítési hőmérsékletre (~930-950°C) hevítjük a kialakult austenites szövetszerkezet biztosítja a geometriai kialakításhoz szükséges, jó alakváltozási mérőszámokkal jellemezhető szövetszerkezetet (ld. 1. ábra. 2. állapot). Ezt követően az alakítás még austenites állapotban történik, majd a szerszámfelületek zárása után (az intenzív hőelvonás következtében), kialakul a nagy szilárdsági jellemzőkkel rendelkező martenzites állapot (ld. 1. ábra. 3. állapot).

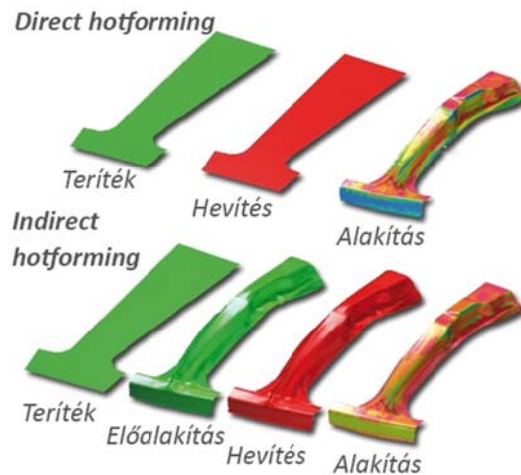


1. ábra. Autóipari acélminőségek osztályozása az alakíthatóság és szilárdság kapcsolata alapján

A technológiának kétféle megvalósítása ismert [5] (ld. 2. ábra.):

- az ún. Direct Hot Forming és
- az Indirect Hot Forming.

A direkt alakítási eljárás szerint a terítéket austenitesítési hőmérsékletre hevítjük, majd az alakítást követően a szerszámban kialakuló hűtési viszonyok hozzák létre a nagy szilárdságot biztosító martenzites szövetszerkezetet. Az indirekt eljárás során, előzetesen egy hidegalakítási művelet (előalakítás) történik és azt követő felhevítési és tovább alakítási hőmérséklet, majd célszerűen megválasztott hűtési viszonyok eredményeként áll elő az előírt szilárdsági jellemzőket biztosító martenzites szövetszerkezet. A 2. ábrán a hőmérséklet-mező eloszlásának függvényében mutatjuk be a direkt és indirekt melegalakítási eljárás közötti különbséget.



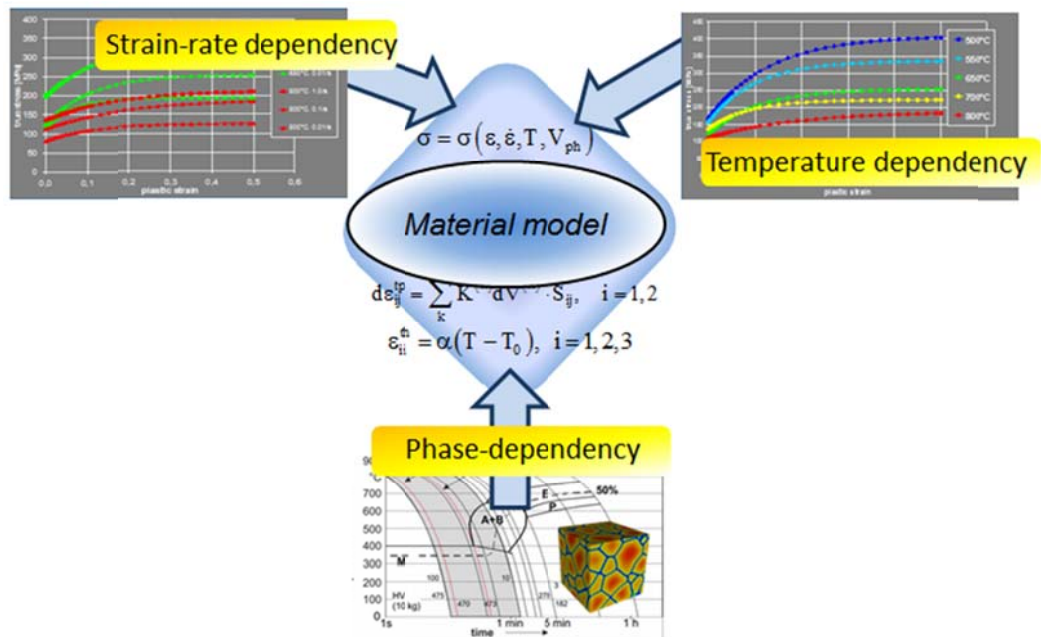
2. ábra. A Direct és az Indirect Hot Forming jellegzetes műveletei [7].

HOT PRESS FORMING NUMERIKUS MODELLEZÉSE

Az autóipar költség- és idő-hatékony működése megköveteli egy esetleges technológiai változat, és az azt megvalósító szerszámkonceptió, virtuális ellenőrzését még a tényleges gyártási folyamat előtt. Ennek megvalósítására az utóbbi néhány évtizedben számos e területre kidolgozott, végeselemes elven működő numerikus modellező szoftver jelent meg. A lemezalkatrészek hidegalakítási technológia tervezésének napjainkban megkerülhetetlen része e szoftverek valamelyikével végzett előzetes elemzés. Ebben az egyik piacvezető alkalmazás az AutoForm programrendszer Thermosolver^{PLUS} modulja [7]. A következőkben tekintsük át melyek a legsarkalatosabb kérdései egy ilyen kapcsolt termo-mechanikai modellezés elvégzésének [6]. Dolgozatunknak nem lehet célja a teljes rendszer bemutatása, terjedelmi korlátok miatt csak a legjellemzőbb bemeneti paraméterekre térünk ki.

Az anyagmodell változásai a hidegalakításhoz képest

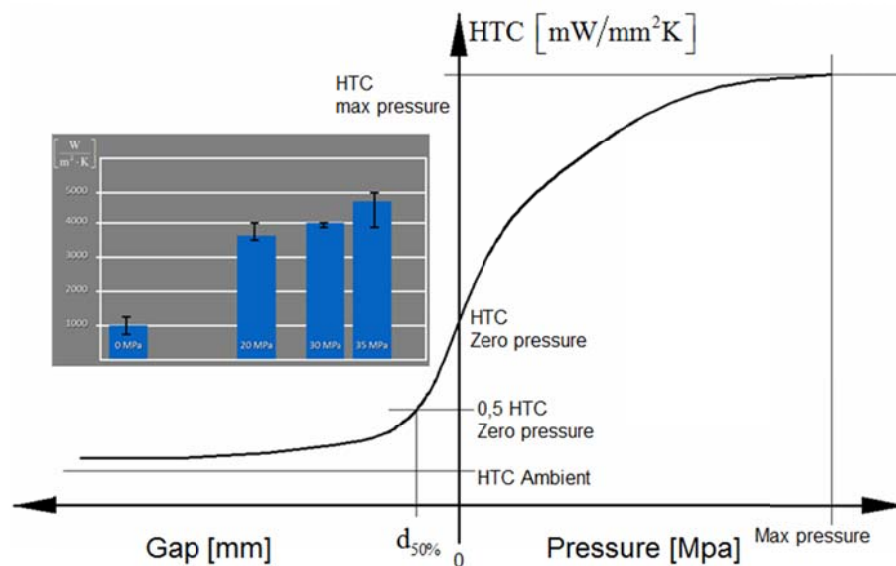
A lemezek hidegalakítási modellezéséhez általánosan anizotróp, rugalmas, nem lineárisan keményedő anyagmodellt használnak. Ennek matematikai leírásához az egyik legfontosabb bemeneti paraméter az ún. keményedési görbe. A melegalakítás modellezéskor figyelembe kell venni, hogy a hőmérséklet változására fázisátalakulások mennek végbe és a különböző fázisok alakíthatósága nem azonos. Ezért az anyagmodellnek tartalmaznia kell a lehetséges fázisokat és a fázisátalakulások kinematikáját [8]. Ezen felül a hőmérséklet, mint az alakíthatóságot alapjaiban befolyásoló állapot tényező, keményedési görbére vonatkozó hatását is meg kell adnunk. Melegalakítási folyamatoknál az alakváltozás sebességének is jelentős hatása van a keményedési görbére. E tényezők együttes hatását szemlélteti a 3. ábra.



3. ábra. A kapcsolt termo-mechanikai modell bemutatása.

A peremfeltételek specialitásai

Melegalakítás során a mechanikai kapcsolat hatására létrejövő súrlódási folyamat mellett nagy jelentőséggel bír a termo-mechanikai kapcsolat során megvalósuló hőátadás. A hőátadás és az azt követő hővezetés során alakul ki a fázisátalakulásokat meghatározó hőmérséklet-eloszlási mező. A hőátadási folyamatok matematikai leírásának legfontosabb paramétere a hőátadási tényező. Az alakítási folyamat során jelentős felületi nyomások jönnek létre, amelyek lokálisan inhomogén eloszlásúak. A hőátadási tényező erősen függ a felületi nyomástól, ezért a folyamat modellezése megköveteli a hőátadási tényező felületi nyomás függésének ismeretét is [9]. Ezt szemlélteti a 4. ábra., a szerszámfelületek távolsága és a felületi nyomás értékének függvényében.

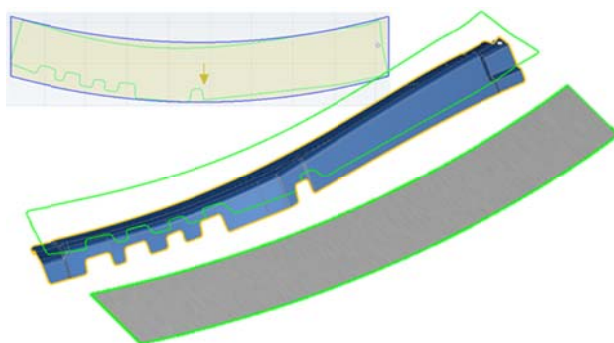


4. ábra. Hőátadási tényező nyomás függése

A-OSZLOP ALAKÍTÁSI FOLYAMATÁNAK MODELLEZÉSE

A modellezés bemeneti beállításai

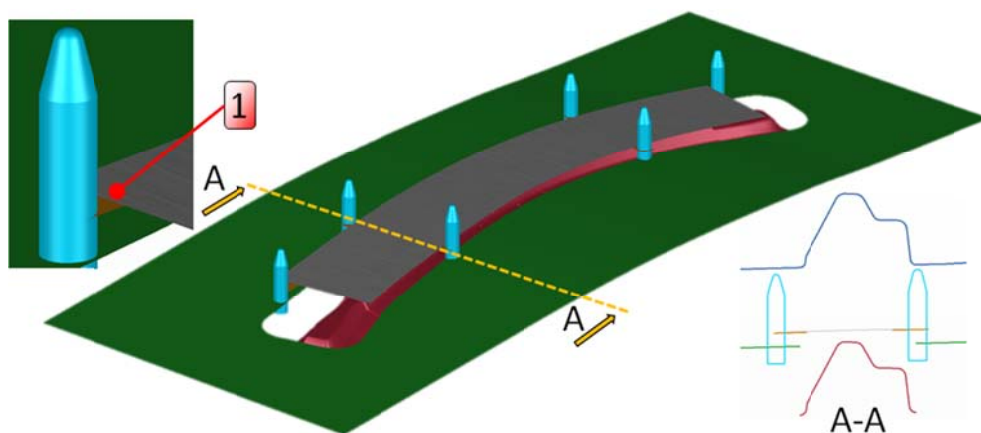
A melegalakítási folyamat modellezését egy konkrét autóiipari lemezalkatrész (az A-oszlop) technológiai tervezésén keresztül mutatjuk be. Az A-oszlop geometriai kialakítása látható kék színnel a 5. ábra közepén. A hidegalakítási technológiához képest talán az egyik legnagyobb különbség a melegen alakított alkatrész teríték származtatási elvében van. Hidegalakítás során az adott alkatrész szilárdságának növelése csak a bevitt alakváltozás függvénye, amit a ránc tartó alatti teríték mennyisége jelentősen befolyásol. Mindezekkel ellentétben a melegalakított alkatrész szilárdságát az austenites állapotból a $v_{krit}^{felső}$ hűtési sebességgel hűtött munkadarabban kialakuló martenzites szövetszerkezet eredményezi. Ezért a hűtött ránc tartó által megfogott terítéket, a lehetséges szakadások elkerülése érdekében minimalizálni kell. Ezt mutatja az 5. ábra, ahol a kézzel az ábra közepén az alkatrész geometriája látható. Az AutoForm ebből származtatott teríték szükségletét mutatja az alkatrész modellje felett zöld színnel megjelenő minimális teríték kontúr. Az 5. ábra felső részén a zölddel jelölt kontúr kialakításához szükséges optimált teríték kontúr látható kék színnel. Az 5. ábra alsó részén a minimális alapanyag szükséglethez sávból történő leszállással meghatározható, teríték látható.



5. ábra
A teríték meghatározásának menete

Az austenitesítési hőmérsékletre felhevített teríték szerszámba továbbítása a modellezés fontos része, mivel ekkor csak a levegőn történő hűtés modellezése történik, eltekintve azon teríték részekről, ahol a kemencéből a robot által továbbított teríték a megfogókkal érintkezik. Ezek a lokális lehűlések egyes esetekben az alakítási folyamatban problémákat okozhatnak ezért a továbbítás megfogási pontjai és ideje az egyik kulcsfontos kérdés a technológiai paraméterek szempontjából. Ezért ezt a folyamatot is modellezni szükséges, amelyek megvalósítására a 6. ábra nagyított részletén 1. számmal feltüntetett (narancssárga színű) megfogók, időben ütemezett hőelvonási folyamatának modellezése történik a

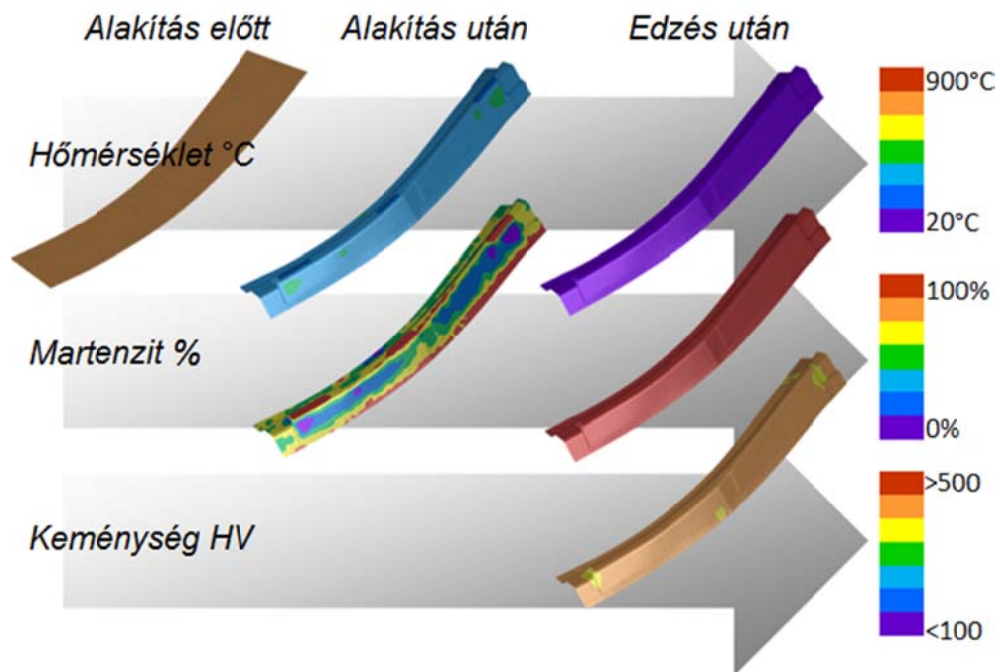
szerszámelemek zárása előtt. A szerszám koncepciót izometrikusan és az A-A metszeti vonal mentén a 6. ábra. mutatja.



6. ábra. Teríték és a szerszámelemek pozíciója az alakítás előtt

A modellezés eredményeinek ismertetése

A modellezés eredményeinek bemutatása előtt érdemes néhány gondolatot megfogalmazni a modellezés mérhető pontossága (validálása) témakörében. A végelemes modellezés sajátossága, hogy az eredmények előállításánál rengeteg olyan számítási eredmény születik, aminek pontosságát közvetlenül nem lehet ellenőrizni (alakváltozási-, feszültség-mező). Az alkatrész egyik legfontosabb átvételi követelménye, a méret- és alakpontosság mellett, az előírt szilárdsági tulajdonságok (keménység-eloszlás) biztosítása. Mivel ez a tényleges munkadarabon is közvetlenül mérhető a modellezésnek ez az egyik legfontosabb kimeneti paramétere. Ezt ábrázoltuk a 7. ábra. alsó sorában. A színskálához rendelt keménységértékek egy majdnem homogén HV450-460 keménységeloszlást mutatnak. Ezt a keménységet a martenzites szövetszerkezet eredményezi, aminek eloszlásáról az ábra középső részén láthatunk két képet a szerszámzárás után és az edzési folyamat végén. Ez alapján kijelenthető, hogy az edzés a beállított technológiai paraméterek mellett sikeresen elvégezhető. Természetesen a martenzites szövetszerkezetet egy célszerűen kivitelezett hőciklus végrehajtásával hozhatjuk létre, ezért lényeges az ábra felső sorában megjelenített hőmérséklet-mező alakulása a teljes alakítási folyamat alatt.



7. ábra. A modellezés eredményeinek megjelenítése

ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatunkban röviden bemutattuk az utóbbi évtizedek anyagfejlesztésének egyik speciális szegmensét. Ezt követően elemeztük, hogy milyen új anyagmodellek és peremfeltételek teszik lehetővé az autóiipari teherviselő karosszéria alkatrészek előállításánál széles körben elterjedt anyagminőségek meleg sajtolási eljárásának numerikus modellezését. Egy konkrét lemezalkatrész (az A-oszlop) technológiai tervezésén keresztül bemutattuk a 22MnB5 (bórral mikroötvözt Mn-acél) alkalmazását ún. Direct Hot Press Forming technológiával, valamint az ennek végeselemes modellezésére alkalmas AutoForm Thermosolver^{PLUS} célorientált alkalmazással kapott numerikus modellezési eredményeket.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A publikáció a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva a TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0029 jelű projekt keretében készült. A projektek támogatásáért a szerzők köszönetüket fejezik ki.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1]. Wolfgang Leitner: Andritz Equipment for Automotive Lightweight Design, TTP2013, Graz, September 19-20
- [2]. Tisza Miklós: Képlékenyalakítás a járműiparban, Miskolci Egyetem 2015, pp. 1-294

- [3]. H. Karbasian, A.E. Tekkaya: A review on hot stamping, Journal of Material Processing Technology 210 (2010), pp. 2103-2118
- [4]. Erland Lundström: More than 30 Years Experience in Hot Stamping, Past and Future, Tools and Technologies for Processing Ultra High Strength Materials 2013, Graz, September 19-20
- [5]. Tisza M., Kovács P.Z., Lukács Zs.: Hot Press Forming in Sheet Metal Forming, MultiScience – XXVIII. microCAD, Miskolc, 2014. 04. 10-11.
- [6]. Stéphane G., Lutz K.: The virtual hot and cold stamping process development needs an adequate material and process modeling design TTP2013, Graz, September 19-20, pp. 89-100
- [7]. AutoForm-Thermosolver^{PLUS} Workshop Manual, <http://autoform.com>, (letöltés ideje: 2016. január)
- [8]. Merklein, M., Svec, T.: Transformation kinetics of the hot stamping steel 22MnB5 in dependency of the applied deformation on the austenitic microstructure, IDDRG 2010, pp. 71-80
- [9]. Merklein, M.; Wieland, M.; Stöhr, T.; Lechler, J.; Grüner, M.: Analytic Methods for the Calculation of the Heat Transfer Coefficient. International Review of Mechanical Engineering (2010)4, pp. 208-215