

Ph.D. értekezés tézisei

**AZ ACÉL SZÉLESSZALAG
MELEGHENGERTÉSI TECHNOLÓGIA
TERVEZÉSÉNEK ÚJSZERŰ ALAPELVEI**

Braun Gábor

okl. kohómérnök

Témavezető:

Dr. Voith Márton

egyetemi tanár

Kerpely Antal

Anyagtudományok és technológiák

Doktori Iskola

Miskolc

2003

CÉLKITŰZÉS

A hengerlés utáni hűtés elsőrendű feladata az, hogy a hengersor utolsó dolgozó állványából kilépő darab hőmérsékletét az anyagminőségtől és a keresztmetszet nagyságától függő (ez technológiai alapadat) hőmérséklet alá hűtse. Ezt a legnagyobb még megengedhető hőmérsékletet nevezzük a továbbiakban $T_{\text{hűt,max}}$ -nak. Ez alá a határhőmérséklet alá mindenképpen gyorsan kell lehűlnie a darabnak. Különösen igaz ez akkor, ha a terméket felcsévélik. Az ennél nagyobb hőmérsékleten végzett felcsévézés (illetve pontosabban az ezzel együtt járó kismértékű maradó alakváltozás) durva újrakristályosodást eredményez.

A csévélési hőmérséklet, bár kisebb kell legyen, mint a $T_{\text{hűl,max}}$, de azt nem szabad nagyon "alul-lépni". A túlzottan kis csévélési hőmérséklet sem kívánatos, mivel az esetleg egyrészt feleslegesen nagy hűtővíz-fogyasztást jelent, másrészt a hidegebb anyag nagyobb alakítási szilárdsága nagyobb felcsévélési nyomatékszükségletet jelent, harmadrészt a tekercsben rugalmas feszültségek is maradhatnak vissza.

A hűtősorba belépő szalag hőmérséklete első közelítésben azonosnak vehető az utolsó állványból kilépő darab véghőmérsékletével, mivel az utolsó hengerállvány és az első vízhűtőszakasz közötti távolságot a számítóprogram "levegőn való hűlési" modellel figyelembe veszi. A hűtési technológiának tehát olyannak kell lennie, hogyha az adott vastagságú szalag hengerlését bármilyen $T_{\text{be, hűtő}} \cong T_{\text{vég, hűtő}}$ hűtő hőmérsékleten és bármilyen $v_{\text{vég}}$ kilépő sebességgel is fejezik be, a csévélőnél valamennyi keresztmetszetének a hőmérséklete valamelyest a $T_{\text{hűt,max}}$ alatt kell, hogy legyen.

Annak érdekében, hogy az utolsó alakítás hőmérséklete a megkívánt értékű legyen, a technológia paramétereit ennek megfelelően kell megválasztani. A befejező hőmérsékletre legnagyobb hatása a kezdőhőmérsékletnek, a hengerlési sebesség-szintnek, valamint az esetleges hengerlés közbeni (állványközi) hűtésnek van. Más megfogalmazásban: Kívánt szemnagyságú termékek melehengerlési

technológiáját úgy kell megtervezni, hogy a szál hőmérsékletének a biztosítása az elsőrendű és legfontosabb szempont legyen.

Az előbbiekben összefoglalt következtetések figyelembevételével céltom olyan számítógépes program létrehozása volt, amely segítségével a hengerléstechnológiát modellezni illetve általam megalkotott elvek alapján optimalizálni lehet.

AZ ELVÉGZETT KUTATÁS RÖVID ÖSSZEFOGLALÁSA

A célkitűzésekben megfogalmazott hengerléstechnológia optimalizáló program elkészítéséhez nem csak a megfelelő technológiai, fizikai elveket kell ismerni, hanem az elkészült program ellenőrzéséhez ismerni kell a tényleges üzemben mérhető – a technológiát leíró – adatokat is. Az adatbázis első megközelítésre kaotikusnak tűnt, mivel a kiértékelendő adatok 2 külön fájlban voltak és a fájlok mérete összességében meghaladta a 70 MB-ot. Ezért először a köztük lévő kapcsolatot találtam meg. A fájlok az alábbi adatbázist tartalmazták: az első az acélminőséget, a második információkat a technológiai lépésekről. Számítógépes adatrendező programot hoztam létre a probléma megoldására. Az acélminőséget és a technológiai lépéseket tartalmazó fájl közös adata a bugaszám volt, vagyis ez alapján az acélminőség és technológiai adatokat párosítottam. A program az általam kitalált rendező algoritmust használja, vagyis az acélminőségeket tartalmazó fájlból kiemeli a bugaszámot és megkeresi a hozzá tartozó bugaszám szerinti technológiai adatot. Az elkészült adatbázisból kiválasztottam az St24 jelű anyagminőségű 2 mm vastagságú szalagot az ellenőrzéshez, mivel ehhez volt a legtöbb mérési adat.

A melegehengerlés optimalizációját két oldalról közelíthetjük meg, vagy a szalag a hengerekbe első állványába bemenő sebesség – vastagság - szélesség paraméterhez kívánjuk meghatározni a hengerek utolsó állványából kimenő sebesség – vastagság – szélesség értékeket vagy fordítva, a kimeneti értékekhez kívánunk bemeneti paramétereket meghatározni. Mivel a kész szalag mechanikai tulajdonságait jelentősen befolyásolja a hengerlés utáni hűtés mértéke és a hűtés sebessége, célszerűnek tűnik, hogy az optimális kimeneti értékekhez keressünk optimális bementi paramétereket a hengerek gépészeti tulajdonságainak figyelembevételével. Az általam elkészített „Virtual HOTRolling Mill” nevű program a fent említett elven működik és a hagyományos lefutó programozással megvalósított optimalizálás kategóriába sorolható. A program 32 bites operációs rendszer alá íródott Borland Delphi 6.0 programozási nyelven. Bementi

paraméterei, az anyagjellemzőkön és tulajdonságokon, a gépészeti értékeken kívül, a vég sebesség – hőmérséklet – vastagság érték és a szúrásterv. Ezekhez a paraméterekhez határoztam meg- a melegalakításhoz és hűtéshez tartozó algoritmusok felhasználásával, megfelelő iterálásával és az optimalizációs elvek figyelembe vételével – az ismeretlen értékeket. A szoftver által számolt és a mért paraméterek összehasonlítása után kiderült, hogy az eltérés a magasságcsökkenések tekintetében $\pm 30\%$, a hőmérséklet tekintetében $\pm 10\%$ hibasávon belül van, ami azt jelenti, a **„Virtual HOTRolling Mill” program használatával jó közelítéssel modellezhető tetszőleges kialakítású meleghengermű.** A program, csak acél széles szalag gyártástechnológiájának modellezésére alkalmazható!

Az optimalizációhoz az alábbi, általam megalkotott elveket használtam:

- A kívánt csévélési hőmérséklethez tartozó minimális hengerlési véghőmérsékletek meghatározása,
- A felhasznált hűtővíz mennyiségének minimalizálása,
- Kívánt izzítási- illetve vékonybramma kiindulási- hőmérséklet meghatározása,
- Maximális befutó vastagság meghatározása,
- A hengerállványok egyenletes kiterhelése az erő és a nyomaték vonalán,
- Az óráteljesítmény maximális kihasználása.

A kutatásaim során újfajta szemléletmód illetve egy széles körben felhasználható számítógépes program került kifejlesztésre.

A program felhasználási területei az alábbiak:

- Az oktatásban segít a hengerléstechnológiával kapcsolatos alapelvek, sajátosságok megismerésében. A hallgatók „saját építésű” meleghengerművekben tervezhetnek technológiákat és végezhetnek szimulációkat, melyekből következtetéseket vonhatnak le akár a különféle anyagok viselkedésére vagy adott beállítások kivitelezhetőségére.

- A tudományos kutatásban nagyobb pénzügyi befektetés nélkül lehet modellezni adott meleghengerművet. Kísérletezni lehet a különféle bemeneti, gépészeti és egyéb paraméterek változtatásával anélkül, hogy bármiféle üzemelő hengerműben hibát követnénk el és ezzel termeléskiesést okoznánk. A modellezés során kapott eredményekből új, általános alapelveket lehet levonni.
- Az iparban, kisebb átalakítással, mint szakértői rendszert lehet alkalmazni. A program gyorsasága lehetővé teszi, hogy akár minden egyes szalagtekercsre anyagminőségtől és mérettől függően meg lehessen tervezni a betartandó optimális hengerlési illetve hűtési technológiát.

A fentiekből levonható az a végkövetkeztetés, hogy az általam megalkotott „Virtual HOTRolling Mill” program nem öncélú: Felhasználása a jövőben új távlatokat nyithat meg az oktatás, az ipari hengerléstechnológia optimalizáció illetve a képlékenyalakítási kutatások területén.

AZ ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Az alakítástechnológia fizikai és mechanikai alapelveinek valamint a számítástechnika korszerű módszereinek felhasználásával elkészíthetők olyan optimalizáló algoritmusok, amelyek alkalmasak egy úgynevezett „virtuális meleghengermű” létrehozására és ezen keresztül a meleghengerlés tényleges modellezésére.

A meleghengerlési technológia tervezését és optimalizálását - javaslatom szerint - nem a technológiai sorrend elejétől célszerű kezdeni, hanem a sorrend végétől, vagyis attól a ponttól, hogy a szalagot feltekercselik, hiszen felhasználási szempontból a végtermék tulajdonságai a lényegesek. A végtermék felcsévelt tekercs, ami a tekercsképzésből és a tekercsben való lassú lehűlésből következően – anyagminőségként különböző, de - viszonylag szűk hőmérsékletközt jelent. A csévelési hőmérséklet felső határát a hajlítással együtt járó igen kismértékű melegalakítás utáni szemcsedurvulás elkerülésének, a tekercsmenetek összetapadásának megakadályozása, míg az alsó korlát a nagy csévelési nyomatékszükséglet, a visszamaradó rugalmas feszültség elkerülésének a feltételei definiálják. A fentiekből következik az alábbi tézis:

1. Meleghengerlésnél az utolsó alakításban a darab hőmérséklete elvileg az újrakristályosodási hőmérséklettel (A_{r3} hőmérséklet) kell, hogy egyenlő legyen. Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy a tényleges hőmérsékletet ennél csak kevéssel nagyobbra célszerű tervezni. A melegalakítás szempontjából minimálisnak tekintett A_{r3} hőmérséklet jelenti ugyanis azt, hogy a lehűlő darab szemcsedurvulása a lehető legkisebb lesz. A meleghengerlési technológia tervezésének tehát elsődleges kiindulópontja az, hogy az utolsó alakítás kívánt fenti hőmérséklete biztosítva legyen. E rendező elv alá kell és tudom az általam kialakított algoritmus segítségével rendelni valamennyi hengerléstechnológiai paramétert.

A finomszemcsés szerkezet elérése érdekében a hengerlés utáni hűlést is szabályozni kell. A lehűlési sebességnek alsó és felső korlátja van. Az alsó korlátot

– azonos számú kristályosodási középpont esetén - a szemcsedurulás elkerülése határozza meg, a felső korlátot pedig a martenzit képződés megakadályozása. A megállapításból következő tézis:

2. *Meleghengerlés után a hűtési sebesség egy célfüggvény szerinti optimuma a két határ között ott található, ahol a hűtővíz felhasználása minimális. A hűtővíz mennyiségét a „gyorshűtés” sebessége is befolyásolja. Ez utóbbit elsősorban az anyagminőség szabja meg (például az ötvöztelen szénacélok esetében ez általában max. 200-300 °C/s). Adott anyagminőség (ami az A_{r3} -at meghatározza) és adott keresztmetszet esetén a vízfelhasználás minimumát meghatározó legfontosabb paraméter a darab átfutási sebessége, ami megegyezik az utolsó alakítás (szűrés) sebességével. A disszertációban kialakított modell alkalmas a minimális vízfelhasználáshoz tartozó hengerléstechnológiai paraméterek megtervezésére.*

3. *A hengerlési végsebesség meghatározza a hengesor óráteljesítményét is. A hűtési kapacitás és a megengedett lehűlési sebesség ismeretében kidolgoztam a hengerlési véghőmérséklet olyan megállapítását, amely mellett a késztermék lehűlési sebessége azonos a második tézisben meghatározott és optimális szemnagyságot eredményező hűtési sebességgel. Az ehhez a hőmérséklethez tartozó hengerlési sebesség és az A_{r3} véghőmérséklethez tartozó sebesség között megállapítottam a hengesor maximális óráteljesítményt jelentő sebesség értékét is.*

A hengerlési véghőmérséklet (ideális esetben ennek optimális értékét a harmadik tézis szerint kapjuk) beállítására több lehetőség adódik. Ezek: a hengerlési kezdőhőmérséklet (az izzítás véghőmérséklete) megválasztása, a hengerlési sebesség-szint (és ezen keresztül az utolsó alakítás sebességének) megválasztása, a technológia, azaz szűrásterv kialakítása, valamint az esetleges közbenső darabhűtés beiktatása. Ezek közül a paraméterek közül a hengerlési kezdő hőmérséklet energetikai szempont szerinti optimumát már meghatározták. Az értekezésemben a korszerű öntvehengerlési elvekkel összhangban lévő úgynevezett

„vékonybramma” maximális vastagságát határoztam meg és ezzel összefüggésben a gépi berendezés kiterhelését optimalizáltam.

4. *Adott telepítésű hengersor esetén meghatároztam azt a maximális magasságcsökkenés-sort (azaz a szűrástervet), ami valamennyi hengerállvány „leggyengébb” gépelemében mind az erő, mind a nyomaték vonalán egyenletes igénybevételt jelent. Az igénybevételi szint tetszés szerint megválasztható a tönkremenetelt jelentő maximális érték százalékában. Az így kapott szűrásterv eredményezi a alkalmazható befutó brammavastagság maximumát.*

A szűrásterv eredménye a befutó vékony bramma hőmérséklete is, amelyet vagy elfogadunk, vagy az izzítási és hűtési lehetőségek illetve az energetikailag kapható optimális érték figyelemvételével módosíthatunk. Természetesen ez azt jelenti, hogy ebben az esetben az előző téziseim eredményeként kapott és a hengersor optimumát jelentő hengerléstechnológiai paraméterek is megváltoztatandók, illetve az optimalizációt újra el kell végezni egy olyan iterációs kör beiktatásával, amelyik a kívánt kezdőhőmérsékletet eredményezi.

5. *Kidolgoztam a hengerállványonkénti maximális magasságcsökkenések meghatározására alkalmas módszert, amely az izzítási és hűtési lehetőségek figyelembe vétele esetén megadja a kívánt befutó hőmérséklethez tartozó maximális befutó vastagságot.*

TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

Előadások

Gábor Braun - Oszkár Grega – Mária Győri: The effect of ingot-thickness decreasing on the rolling technology (MicroCad 1999)

Braun Gábor – Dr. Grega Oszkár – Győri Mária: A brammavastagság csökkentésének hengerléstechnológiai vonzatai (Jubileumi Konferencia 1999.)

Braun Gábor: Technológiai paraméterek optimalizálása lapostermékek meleghengerlésénél (Doktorandusz Fórum 1999.)

Gábor Braun: Optimizationalization of roling parameters in production of flat rolled products (MicroCad 2000)

Braun Gábor: Acél lapostermékek hengerlési paramétereinek számítógépes optimalizációja (Anyag- és Kohómérnöki Kar Tudományos Ülésszaka 2000)

Braun Gábor : Hengerlési paraméterek számítógépes optimalizációja acél lapostermékek gyártásánál (Doktorandusz Fórum 2000)

Oszkár Grega – Mária Győri – Gábor Braun: Criteria of marketable range of products in steel sheet producing (MicroCad 2001)

Gábor Braun – Oszkár Grega: Parameters of rolling optimalization by flat products with computer (MicroCad 2001)

Folyóiratcikkek

Braun Gábor: Hengerlési paraméterek optimalizációja acél lapostermékek gyártásánál (Anyagok Világa – Független Elektronikus Szakmai Folyóirat I. évf. 2. Szám 2000. április)

Braun Gábor – Dr. Voith Márton: Acél szélesszalag meleghengerlési technológiájának számítógépes optimalizációja (Anyagok Világa – Független Elektronikus Szakmai Folyóirat III. évf. 2. Szám 2002. december)

Braun Gábor – Dr. Voith Márton: Kapcsolatok az acélok meleghengerlése és hűtése között (Anyagok Világa – Független Elektronikus Szakmai Folyóirat IV. évf. 1. Szám 2003. március Megjelenés alatt)

Braun Gábor – Dr. Voith Márton: Virtuális meleghengermű (BKL 2003 Megjelenés alatt)

