



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Kenéstechnikai és tribo-diagnosztikai Szakmérnök

Alumínium megleghengerlése során fellépő kenési elégtelenség

Belső konzulens:	Dr. Kári-Horváth Attila beosztás
Külső konzulens:	Dr. Eleőd András beosztás
Készítette:	Willerding Zsolt L2NJVE levelező
Intézet/Tanszék:	Műszaki intézet, Anyagtudományi, és Gépipari Folyamatok Tanszék

Gödöllő
2023

**MŰSZAKI INTÉZET
KENÉSTECHNIKAI ÉS TRIBO-DIAGNOSZTIKAI
SZAKMÉRNÖK**

DIPLOMADOLGOZAT

feladatlap

Willerding Zsolt (L2NJVE)

részére

A diplomadolgozat címe:

Alumínium megleghengerlésekor fellépő kenési elégtelenség vizsgálata

Feladatkiírás:

Bevezetés, Cégbemutató, Szakirodalom feldolgozása, Probléma bemutatása, Meleghegerlési emulzió elemzése, új észter tesztelése, Meleghegerlési szűrőterv tesztelése, Gazdasági számítás, Összefoglalás

Közreműködő tanszék: Anyagtudományi és Gépipari Folyamatok Tanszék

Külső konzulens: Dr. Eleőd András, *professzor emeritus*

Belső konzulens: Dr. Kári-Horváth Attila, *egyetemi docens*, MATE, Műszaki Intézet

Beadási határidő: 2023. november 06.

Gödöllő, 2023. szeptember 04.

Jóváhagyom



(tanszékvezető)



(szakfelelős)

Átvettem



(hallgató)

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Gödöllő, 2023. 10. hó 20. nap



(külső konzulens)

Tartalom

1.	Bevezetés.....	4
2.	Cégbemutatós	6
3.	Szakirodalmi feldolgozás	7
3.1.	Hengerlés elmélet.....	8
3.1.1.	Képlékenyalakítás.....	8
3.1.2.	A hengerlés művelete, hengerek.....	9
3.1.3.	Hűtő- kenő folyadék hengerléskor	12
3.1.4.	A meleghengerlés, mint bonyolult tribológiai rendszer	15
3.2.	A székesfehérvári alumínium meleghengerlése.....	17
3.2.1.	Meleghengerhengerlési technológia	17
3.2.2.	Meleghengerlési emulzió és kenési állapot	20
4.	Probléma bemutatása.....	22
5.	Tervezés/A probléma megoldása	28
5.1.	Meleghengerlési emulzió elemzése, új észter tesztelése.....	30
5.2.	Meleghengerlési szűrőterv módosítása.....	35
6.	Gazdasági számítás	42
7.	Összefoglalás.....	44
8.	Summary	46
9.	Nyilatkozatok	47
10.	Irodalom jegyzék	50
11.	Mellékletek jegyzéke	52

1. Bevezetés

Minden gazdasági vállalkozás egyik alapvető célja a jövedelemszerzés. Ez csak úgy lehetséges, hogy valamilyen vevőkör igényeit kielégítjük, aki hajlandó fizetni azért, amit kap. A vevő elégedettsége ezért alapvető, az elégedetlen vevő, ha teheti más forrást keres igényei kielégítéséhez. A kapitalista versenygazdaság ezt lehetővé teszi, ezért a gazdálkodó szervezetek egyik legfontosabb jellemzője a versenyképesség.

A székesfehérvári Hengermű szintén nagy hangsúlyt fektet a minőségre. A vevői követelményeknek való megfelelés érdekében saját folyamatorientált Minőségirányítási Rendszerrel (MIR) rendelkezik.

A hengerelt alumínium termékek egyik legfontosabb jellemzője a hengerelt felület minősége. A dolgozat megoldást fog adni miként kerülhető el az úgynevezett „black fleck” az anyag felületén, két fontos beavatkozási (meleghengerlési technológiában) lehetőséget kivizsgálva. A felületen megjelenő apró, vékony elhengerelt, szürkés fekete karcok (black fleck) megszüntetésével a célom, hogy jobb kihozatali veszteséggel tudjuk gyártani a termékeinket. A hazai és nemzetközi irodalmak áttekintésével a meleghengerléskor kialakuló kenési állapotokat fogom megvizsgálni, valamint azok adalékolását. Illetve a munkám során szerzett tapasztalatokkal kiegészítve változtatni fogom a meleghengerlési technológiát. A felületi hiba megszüntetésére szolgáló megoldások:

- Meleghengerlési szűrastervek módosítása: az utolsó szűrásban a hőfejlődés csökkentésével a kialakuló filmréteg kellően stabil marad a hengerlés során, így elkerülve a felületen megjelenő hibákat (szűrás számok változtatása, redukció csökkentés, valamint a hengerkefélés használata)
- Hengerléshez használt emulzió észtertartalmának a növelése: a beszállító által javasolt új tetraészter tesztelése, mellyel egy sokkal stabilabb filmréteg alakul ki hengerlés közben, szintén megakadályozva a felületi problémák keletkezését

A fent megemlített lehetőségeket megvizsgálva fogom ellenőrizni a hengerelt termék felületén található „black fleck” típusú hibákat. Az eredmények kiértékelésekor a termékek végső kihozatalát és a felületen megtalálható hibák számát fogom figyelembe venni. A hibák számát a hengerműben található Nyújtvaegyengető és zsírtalanító berendezésen felszerelt kamera rendszer fogja részben kiértékelni.

A bevezettt módosításoknak köszönhetően megvizsgálom a termék kihozatalát, amely a hiba megszüntetésére fog rámutatni. Az így kapott eredményeket a gyártási költségekkel fogom jellemezni, mely egyértelműen számszerűsíteni fogja az elért pénzügyi eredményeket.

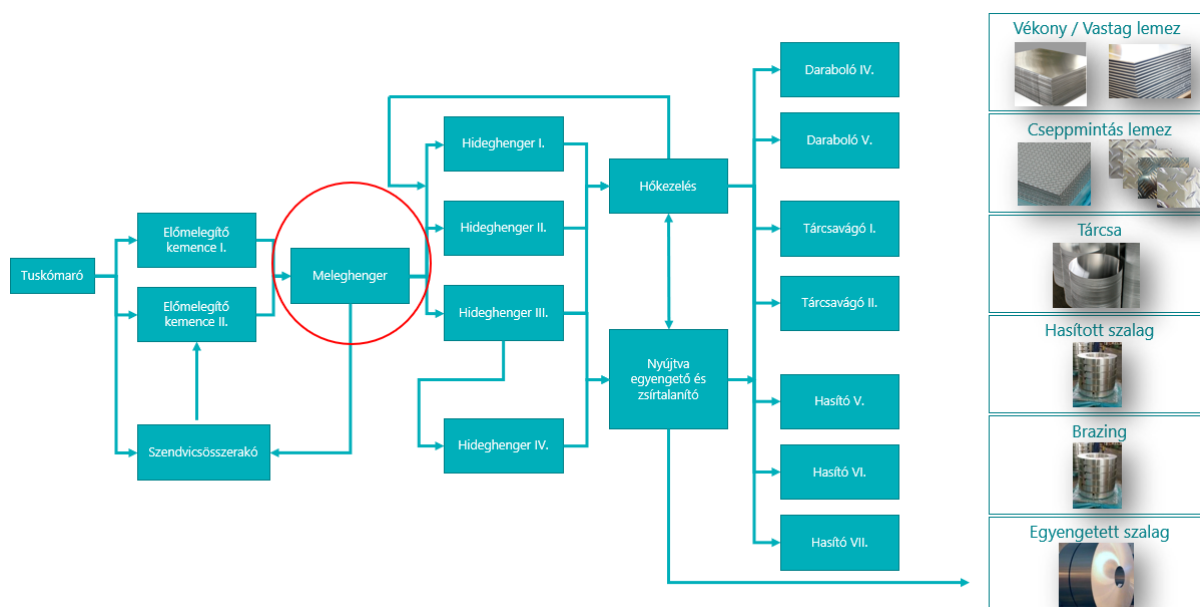
2. Cégbemutató

A Székesfehérvári Könnyűfém fő tevékenysége az alumínium félkésztermékek előállítása. A folyamatos termelést az Öntöde és a Hengermű gyáregység együttes működése biztosítja. A tuskók előkészítése az Öntödében történik félfolyamatos tuskóöntési eljárással, ahol alapanyagként kohófémet, saját és más cégektől vásárolt hulladék alumíniumot használnak fel. A hengerlési tuskók a Hengerműben kerülnek feldolgozásra és itt nyerik el a vevők által kért geometriai, szilárdsági és technológiai tulajdonságaikat. A cég alapítása 1941-ben történt német magyar vegyes vállalként. A termelés megindulására 1943 júliusában került sor, mely nagyon fontos szerepet töltött be az ország iparában. A II. Világháborút követően a cég újra indulása 1947-ben történt. A háborút követően a német alumíniumipar bedőlésének, illetve az alumínium széleskörű felhasználásának következtében a gyár nem tudta kielégíteni a piaci igényeket. Az '50-es évek elején szovjet segítséggel fejlesztésekbe kezdtek. A termelési kapacitást a duplájára emelték. A projekt során a Szovjetunió 1955-ben lemondott a gyárban lévő érdekeltségről, így a fejlesztések befejezése már magyar kézben történt meg. A hengermű az 1970-es évektől kezdte meg igazán működését. Állami beruházás által több berendezés is telepítésre került: 1 db tuskómaró, 2 db előmelegítő kemence, 1 db megleghengsorsor, 2 db hideghengsorsor, 1 db lemezdaraboló sor, 2 db hasító sor, valamint a hőkezelő kemencék. Az újonnan telepített berendezéseknek a működése 1972-től volt folyamatos. Ezt követően 1979-83-ban újabb állami beruházás kapcsán fejlesztésekbe kezdtek. A hengermű átesett egy tuskóméret növelési projekten, valamint újabb berendezéseket telepítettek: 2 db új tuskó előmelegítő kemence, 1 db új hideghenger állvány, 1db nyújtva egyengető és zsírtalanító sor, 3 db nagyteljesítményű hőkezelő kemence, 1db új hasító sor és 1 db új daraboló sor. A rendszerváltást követően 1993-ban megkezdődött a privatizáció, egy világszinten versenyképes cég kialakítása volt a cél. Nagyon fontos tényező volt a vállalat megítélése. A minőség és az ár mellett hangsúlyt kellett fektetni a márkáépítésre, hogy egy erős és stabil vállalként jelenjen meg az ipari résztvevők szemében. 1996-2008-ban az autóiipari termékek arányának jelentős növelése történt meg. A forrasztható, úgynevezett „brazing” termékek gyártása megkezdődött a gyáregységen belül, mely újabb lehetőséget adott a cégnek, hogy világszinten versenyképes maradjon. [8]

3. Szakirodalmi feldolgozás

A leggyakrabban használt technológiai lépés, amely a fémek képlékeny alakítására szolgál az a hengerlés. A hengerelt termékek méretválasztéka, alakja és minőségi választéka rendkívül széles. A termékek melegalakítását követően azokat hideghengerléssel tovább hengerlik. A hengerelt termékek felhasználása számos iparágban megjelenik. Általánosságban elmondható, hogy a termékek egy része „előtermék”, amelyeken további alakító eljárásokat vagy forgácsolási technológiákat alkalmaznak.

Az 3.1 ábra a székesfehérvári hengerműben megtalálható technológiai lépéseket mutatja.



3.1 ábra: Hengermű technológiai lépések

A továbbiakban az ábrán megjelölt „Meleghenger” technológiai lépéshez tartozó fontos elméleti alapokat és a székesfehérvári üzem alumínium megmunkálásához felhasznált Meleghenger berendezéseit és technológiáját taglalnám, mely a dolgozatban feltárt probléma megértéséhez szükségesek.

3.1. Hengerlés elmélet

3.1.1. Képlékenyalakítás

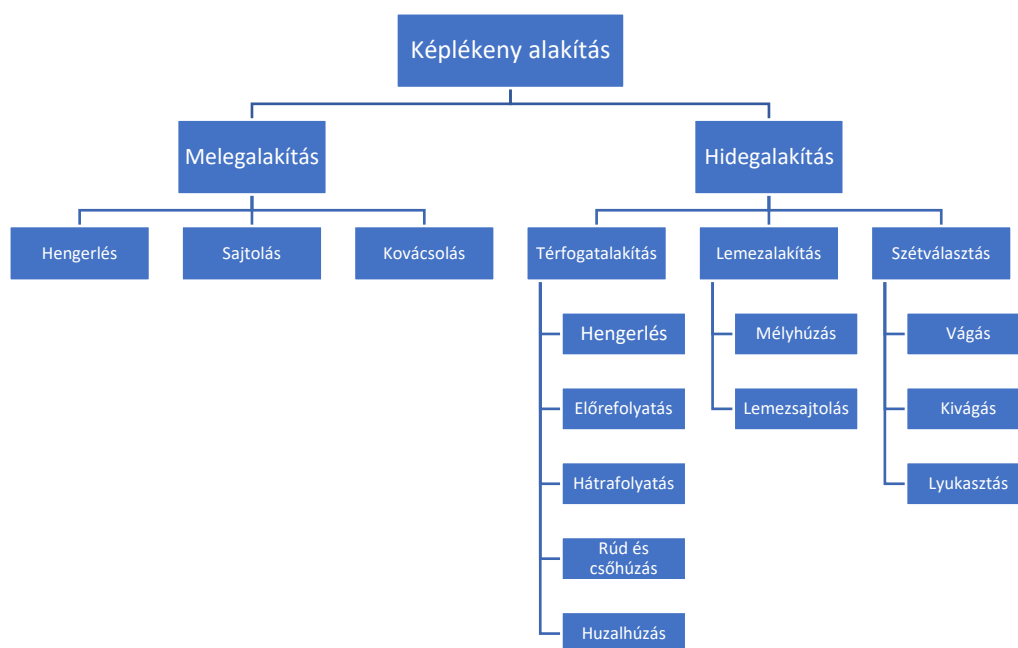
A gyakorlatban használt fémek megfelelő nagyságú külső erő hatására megváltoztatják alakjukat anélkül, hogy darabokra szakadnának vagy törnének. Az erő hatásának megszűnése után az alakváltozás jelentős része megmarad. Ezt a tulajdonságot nevezzük képlékenységgnek.

Az alakítás során a fémek mechanikai tulajdonságai megváltoznak: az alakítás következtében növekszik az alakváltozással szemben kifejtett ellenállás, és ugyanakkor csökken az alakíthatóság. Az alakítás folyamán beálló keményedés nagysága elsősorban az alakváltozás mértékének függvénye. Azonos mérvű alakváltozás mellett a különböző fémek más és más mértékben keményednek. A keményedés jellegzetes velejárója a nyúlás egyidejű csökkenése: az anyag tehát már csak az eddigieknél kisebb mértékű újabb alakváltozást bír el. Az eddig elmondottakhoz hozzá kell még fűzni, hogy a keményedést csak a hidegen való alakításnál észleljük, meleg alakításkor nem. Ennek oka az, hogy a melegalakítás során az anyagban egy másik folyamat is végbemegy, ez a jelenség a lágyulás, amely a keményedés hatását kompenzálja. A lágyulás során az alakításnál bekövetkezett keményedés megszűnik, az anyag nyúlása pedig az eredeti értékre áll vissza. Melegalakításkor a keményedés és az újrakristályosodás egy időben játszódik le. Melegen való alakításról akkor beszélünk, ha az alakítás az ún. lágyulási hőmérsékleten megy végbe, amikor a mechanikai tulajdonságok változásai vagy nem, vagy csak csökkentett mértékben jelentkeznek. Az alumínium és ötvözetei esetén az újrakristályosodás hőmérséklete – ahol a lágyulás bekövetkezik – 230 és 300 °C közé esik. Az e feletti hőmérsékleten történő alakítást nevezik tehát ebben az esetben melegalakításnak.

A képlékenyalakítás eléréséhez nagy mértékű feszültségekre van szükség, melyek rendkívüli módon meghaladhatják a gépelemek között létrejövő feszültségek nagyságát. Ez természetesen a szerszám felületével, keménységével és a technológiával szemben különleges követelményeket támaszt. Az alakítási erők hatására, megnő a szerszám és az alakítandó darab fémes összetapadásának a veszélye, amely nagyon rövid időn belül a szerszám, valamint a munkadarab tönkremenetelét okozhatja. A hőmérséklet nagymértékben befolyásolja a fémes összetapadást, illetve a fém megmunkálhatóságára is rendkívüli módon hatással van, amit mindig figyelembe kell venni. Megfelelően megválasztott kenőanyaggal meg lehet akadályozni

a munkadarab és a szerszám fémes összetapadását. Kenőanyag nélkül nagyon rossz hatásfokkal valósíthatóak meg a képlékenyalakíthatósági technológiák jelentős része, így kijelenthető, hogy képlékeny alakítás kenőanyag nélkül nincs. [4] [6] [7] [15] [16] [23]

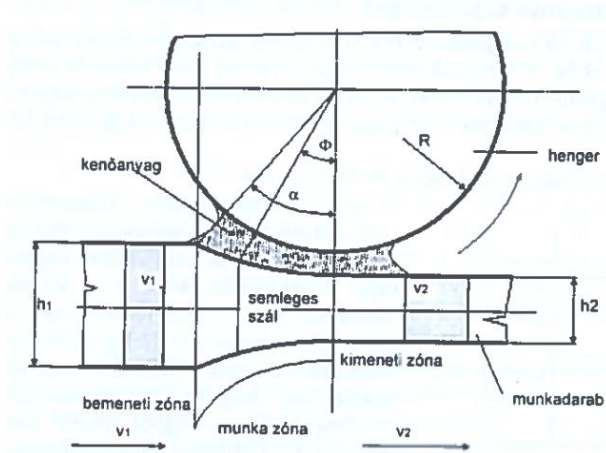
Számos képlékeny alakítási technológia létezik, amiket meghatározott szempont szerint csoportosíthatunk. A 3.2 ábrán látható a technológiai csoport szerinti felosztásuk.



3.2 ábra: Képlékeny alakítás technológiai csoportosítása [22]

3.1.2. A hengerlés művelete, hengersorok

A hengerlés egy képlékeny alakítási technológia, amely során a munkadarab két ellentétes irányban elforduló henger között halad keresztül. A 3.3 ábrán látható a geometriai elrendezése.



3.3 ábra: A hengerlés geometriai elrendezése [22]

Hengerléskor a megmunkálandó fém térfogata állandó, a keresztmetszet csökkenésével a szalag hossza nő. A szalag szélessége a gyakorlatban kis mértékben nő, azonban a hossz növekedéshez képest kis mértékű és a számítások többségében elhanyagolható. A jelentős hossznövekedés miatt a szalag kilépő sebessége nagyobb, mint a belépő sebessége. A munkadarab és a henger sebessége csak egy él mentén azonos és ezt az élet semleges szálnak nevezik. Ebből adódóan a semleges szál előtt a munkadarab késik, a semleges szál után pedig a hengerhez képest siet. A hengerlés egyik legfontosabb mozgató rugója a súrlódás, amely jelentősen befolyásolja a technológia folyamatát és a kész termék felület minőségét. [22]

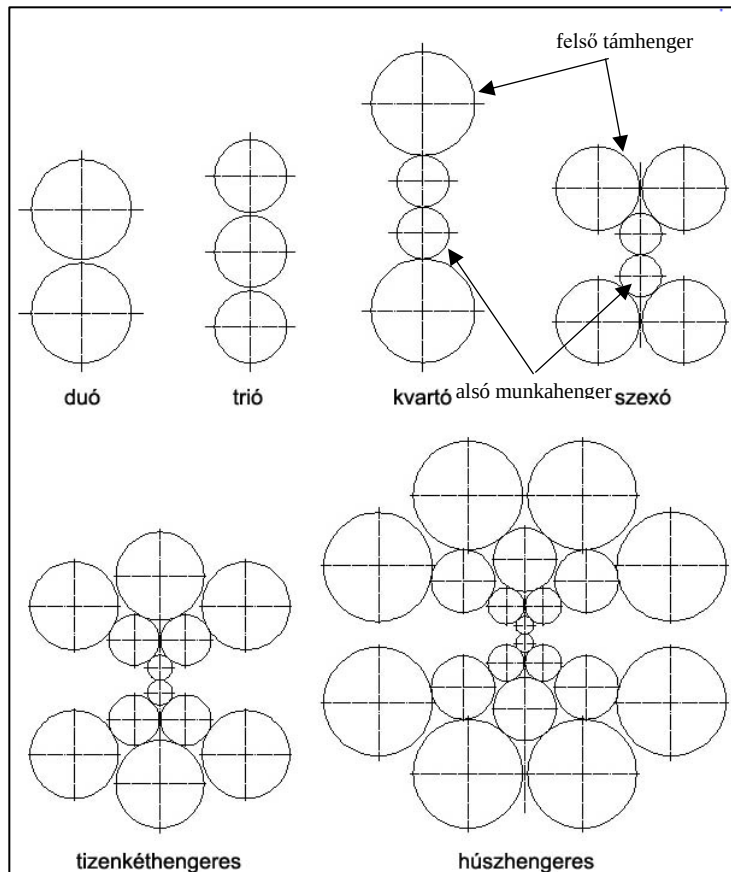
Képlékeny alakításkor általában a súrlódás csökkentése a cél, ezáltal növelhető a megmunkálás hatásfoka. Hengerléskor azonban bizonyos szint felett kell tartani a súrlódási tényezőt, hogy probléma mentesen történjen az anyag befogása a hengerek közé.

A hengerlés gépi berendezései a hengersorok. Osztályozásuk lehetséges a beépített hengerek száma, az egyes állványok elrendezési módja, valamint a hengerek forgásiránya szerint.

- Hengerek száma szerinti osztályozás:

Alakítás közben nem csak a munkadarab deformálódik, hanem a hengerek is behajlanak. Ennek csökkentésére a hengereket meg kell támasztani újabb hengerekkel. A kétfajta alakító szerszámot a megkülönböztetés érdekében más-más jelzővel illetjük. Azt a hengerpárt, amely az anyaggal közvetlenül érintkezik:

munkahengernek, az ezt támasztó hengert vagy hengereket pedig támhengernek hívjuk. A 3.4 ábrán látható a hengersorok elvi elrendezése.



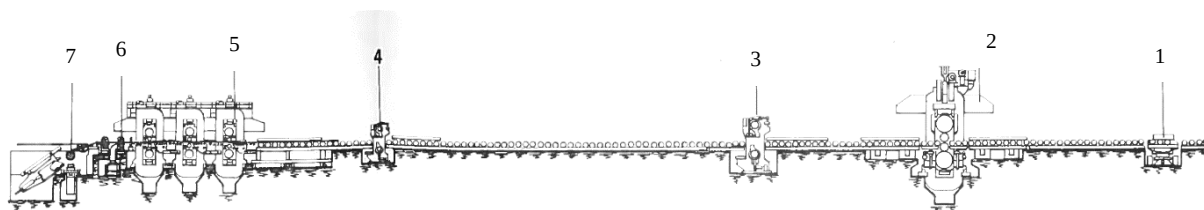
3.4. ábra: Hengerek elvi felépítése

- Hengerek elrendezés szerinti osztályozása:

Több állvány együttes használata esetén a munkadarab kész méretre történő hengerlése az egymás után – vagy mellett – elhelyezett berendezéseken történik. Ez azzal az előnnyel jár, hogy a művelet jellegének a legjobban megfelelő gépi berendezés alkalmazható, tehát más hengerrel történhet a darab előnyújtása és más hengerrel a készre hengerlése. Ha több hengert oly módon egyesítenek egymás mögött egy sorozattá, hogy a hengerelt darab egyidejűleg több állványban kap megmunkálást, folytatólagos vagy folyamatos (idegen szóval: tandem)

hengersorozatról beszélünk. A 3.5 ábrán látható egy kvartó hengerállvány tandem sorral kiegészítve.

4



3.5 ábra: Kvartó hengerállvány és tandem sor [22]

1. Tuskó átadó, 2. Előnyújtó hengersor, 3. Végvágó olló, 4. Végvágó olló, 5. Tandem hengersor, 6. Szélező, 7. Csévéző

- A forgásirány szerinti osztályozás:

Egyirányú hengersor (a munkadarabod minden szúrás után a befutási oldalra kell szállítani).

Reverzáló hengersor (hengerek forgásiránya mindkét irányba megváltoztatható).

3.1.3. Hűtő-kenő folyadék hengerléskor

- Meleghengerlés [24] [25]

Meleghengerlés során a hengereket a meleg anyaggal való érintkezés és a hővé alakuló hengerlési munka felmelegíti. A felmelegedés káros hatásai:

A hő hatására ébredő feszültségek meggyorsítják a hengerek elhasználódását, hajszaelrepedéseket és kipattogzódásokat okoznak.

A hengerek felmelegedése miatt megnő az alumínium hengerekre történő feltapadás veszélye. Már kis mértékű feltapadás is rontja a termék felületi minőségét.

Amennyiben a szalag nagy felületen a henger palástjára tapad, úgy komoly károkat okozhat a hengerállványban.

A hengerlés időbeni előrehaladásával a henger hőmérséklete emelkedik, a hő okozta tágulás változik, tehát a hengerek domborítása nem állandó. Ez a szalag profilját és vastagságtűrését rontja.

A cél tehát a hengerfelület olyan hűtése és kenése, amely a leírt problémákat kiküszöböli. Az alkalmazott anyag kiválasztása az egymásnak ellentétes kívánalmak figyelembevételével, csak kompromisszum árán lehetséges. A hűtési funkciót ugyanis legjobban a vízhez nagyon közel álló viszkozitású emulzió (víz és olaj keveréke) töltene be. Ennek azonban hátránya, hogy kenőképessége kicsi, a feltapadások előfordulását növeli. A viszkozitás (sűrűség) növelésével – a víz és olaj keverékében az olaj részarányának a növelésével – a befogási feltétel és a hűtőhatás ugyan kis mértékben romlik, azonban a kenőképesség javul.

Korszerű meleghengerlési emulziókra jellemző:

Nagy fogyásokat tesz lehetővé az anyag alakításakor.

Jó a hűtő hatása, tehát megakadályozza a feltapadásokat.

Fenti tulajdonságokat stabilan tartja.

Olajtartalma 1-7 % között van.

Az emulzióval szemben támasztott követelményeket az alábbiak szerint lehet összefoglalni:

Állandó legyen, ami azt jelenti, hogy használata során nem válhat alkotóelemeire.

Kenő és nedvessítőképessége jó legyen, hengerek felületét filmszerűen vonja be a feltapadások megakadályozása érdekében.

Nem tartalmazhat olyan anyagot, amely a hengerelt terméken korróziót vagy olajráé égést okozhat.

Jól szűrhető legyen. Az emulzióba kerülő fém és fémoxidokat, porrészecskéket és idegen olajokat folyamatosan el kell távolítani.

Keringtetése könnyű legyen, habzása kis mértékű legyen.

- Hideghengerlés

Hideghengerlés közben – a meleghengerléshez hasonlóan – a hengereket a súrlódás csökkentésére és a feltapadások elkerülésére folyamatosan kenik, illetve a képződő alakítási hő

elvezetése céljából hűtik. A hengersor típusától függően az alkalmazott anyag kenési vagy hűtési tulajdonságának van nagyobb szerepe. A mai korszerű, nagy teljesítményű hideghenger-állványok a nagy hengerlési sebességek következtében az olajoktól intenzív hűtőhatást követelnek jó kenőképesség mellett. Hideghengerléskor a kenőanyagra egyidejűleg több igénybevétel hat, mint pl. nagy nyomás, magas hőmérséklet, nagy csúszási sebességek a hengerlési zónában és a levegővel és az alumíniummal való intenzív érintkezése. Így az alkalmazott anyagnak különleges követelményeket kell teljesíteni. Ezeket röviden a következő módon lehet összefoglalni:

Bírják el a nagy hengerlési nyomást, illetve megfelelően nagy keresztmetszet-csökkenést tegyenek lehetővé.

Kellő mértékben hűtsék a hengereket.

Csökkentsék a súrlódást, illetve megfelelően szabályozzák a súrlódási viszonyokat.

Biztosítsák a hengerelt anyag jó felületi minőségét és a további feldolgozhatóságát.

Megfeleljen a biztonságtechnikai és tűzrendészeti előírásoknak.

Minőségi tulajdonságai a felhasználás során könnyen ellenőrizhető, szabályozható és korrigálható legyen.

Ne legyen korrodáló hatása.

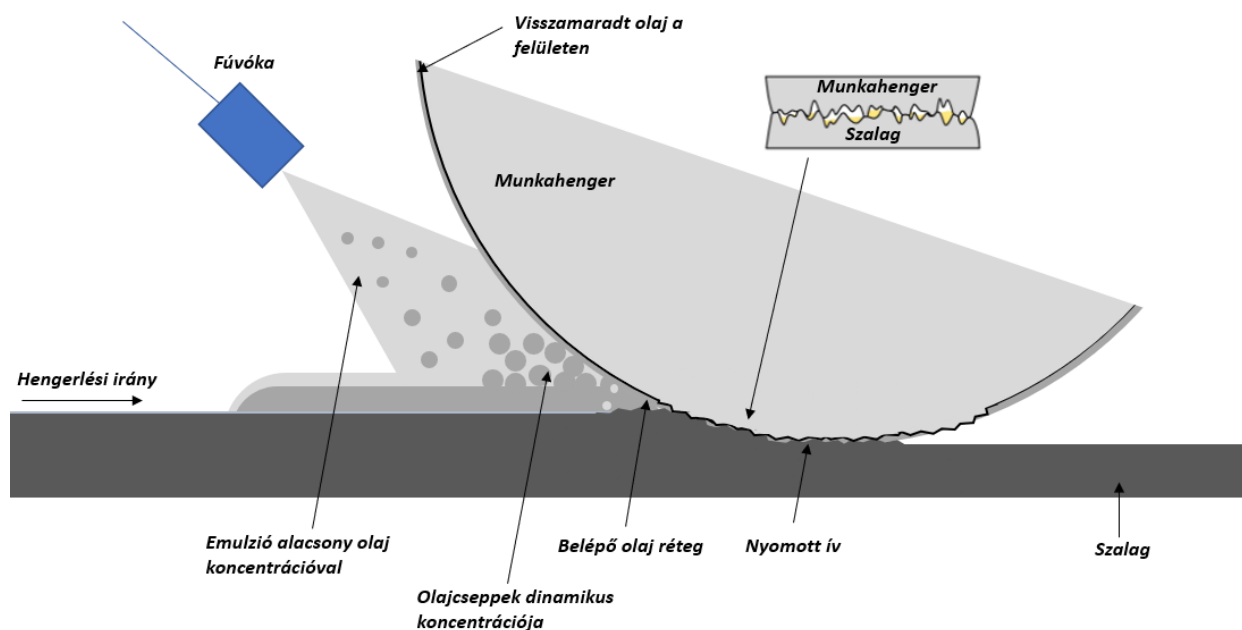
Jól szűrhető legyen.

A felsoroltak közül technikai szempontból a legnagyobb jelentősége a jó kenésnek és a jó hűtésnek van. A hengerlés során a súrlódási viszonyok lehetnek kedvezőek és kedvezőtlenek is. A jobb kenéssel csökken a súrlódási tényező értéke, ezzel egyrészt csökkentjük a kihengerléshez szükséges energiaráfordítást, a hengerek kopását, valamint a keletkező hő mennyiségét. Másrészt a jó kenéssel megakadályozható a hengerelt anyag esetleges feltapadása a hengerekre. A „túl” jó kenés hatására azonban a súrlódási tényező értéke túlzottan alacsonnyá válhat, így megnő a hengerek és a hengerelt anyag közötti megcsúszás veszélye, a hengerlés stabilitása csökken. A „túl” jó kenésnél a szalag felületi minősége és a redukciós viszonyok romlanak. A kenőanyagnak tehát nem csupán a súrlódás csökkentése a feladata, hanem állandó értéken is kell tartania azt. [5] [12] [13] [14] [15] [20] [21]

Alumínium hideghengerléséhez használatos kenőanyag a C₁₂-C₁₄ lineáris paraffin szorpció adalékolással.

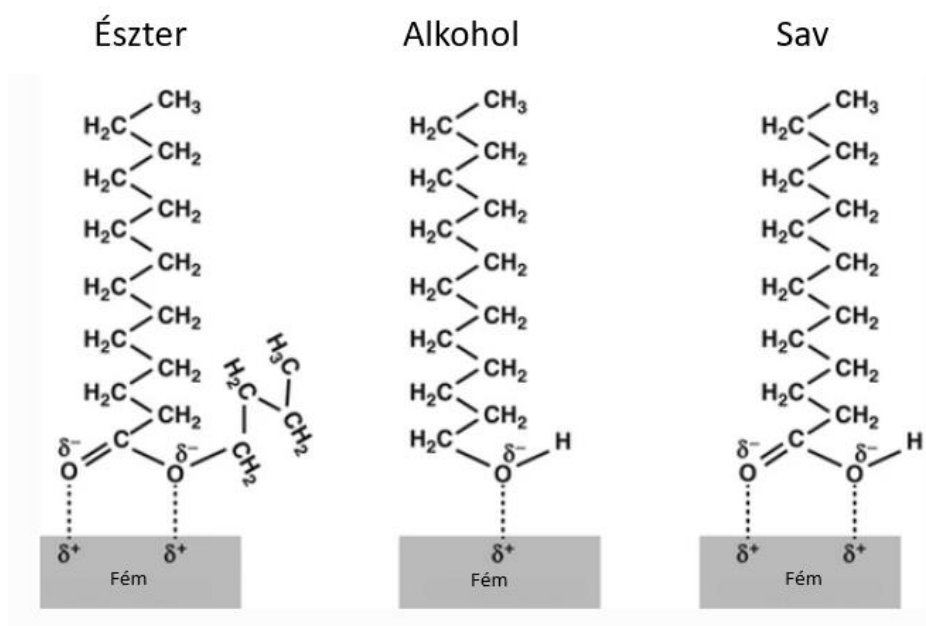
3.1.4. A melegghengerlés, mint bonyolult tribológiai rendszer

A hengerlés egyik legfontosabb eleme a súrlódás. Ahhoz, hogy a hengerlés megtörténjen túlzottan nem csökkenthető a munkadarab és a hengerek közötti súrlódás. A túl alacsony súrlódási együttható befogási gondokat és henger megcsúszást eredményezhet. A túl nagy súrlódási együttható esetében pedig nő a kopás mértéke, nagyobb hőfejlődés figyelhető meg ennek eredménye képpen a kenési elégtelenségekből adódóan a felület minősége romlik. Vízbázisú kenőanyaggal kontrollálhatjuk a melegghengerléskor fellépő súrlódást, valamint a munkahengerek felmelegedését. Az olaj cseppek oldhatóságát a vízben felületaktív anyagokkal vagy pedig folyamatos keveréssel lehet megoldani. Az emulziót fúvókák segítségével juttatják a kívánt helyre, ahol az olajcseppek mérete mikrométeres tartományban van, melyeknek dinamikus koncentrációjakor a nyomott ív belépési zónájában a felületekre tapadt olajcseppek csapdába esnek. A feltapadt olaj cseppek a deformációs zónához érve, kiszorítják magukból a vizet, illetve a magas hőmérséklet hatására elpárolog. Az emulzió inverziójával egy folytonos olajréteg alakul ki, amelyben ezután felépül a nyomás, amit a 3.6 ábra mutat be.



3.6. ábra: A dinamikus koncentráció megjelenése a hengerrésben

Az ábrán látható, hogy a két fémfelület többnyire érintkezik egymással, a felületek érdességéből adódóan és az emulzió inverziójának következtében kialakult olajfilmnek köszönhetően minimális kenő anyag kerül a felületek közé. A henger felületén kialakul egy nagyon vékony filmréteg, amely molekuláris méretű. Elmondható, hogy a meleghengerlés a határfelületi kenési állapothoz áll legközelebb. A magas hőmérséklet és az alakításhoz szükséges magas nyírási feszültség miatt speciális EP adalékokat használnak a kenőanyagban, hogy megakadályozzák a munkahengerek felületére történő anyag feltapadást. A kenőanyaghoz adott adalékok javítják az olajcseppek fémfelülethez való tapadásuk erősségét, ezáltal a kenőképességüket is. A mechanizmus a poláris kölcsönhatások és kémia adszorpció eredménye, amely a 3.7 ábrán látható.



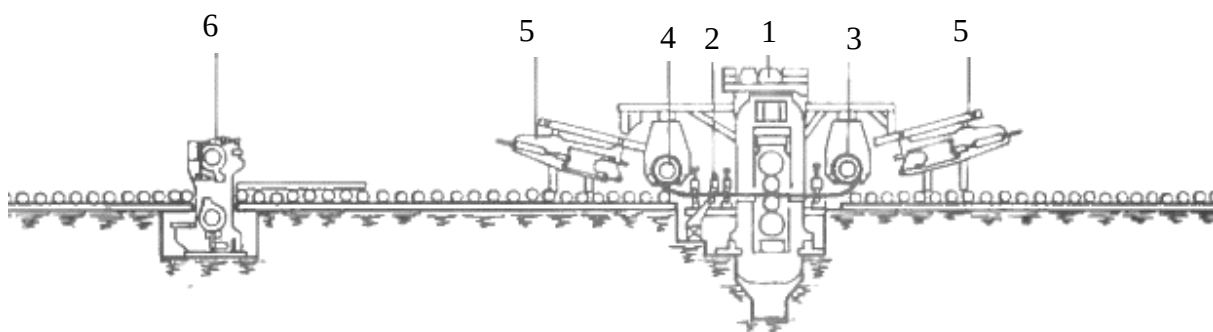
3.7. ábra: EP adalékok

Az ábrán láthatjuk, hogy a leggyakrabban használt EP adalékok hengerlés során az észterek, alkoholok és savak, ahol a molekulák poláris része a fémfelülethez kapcsolódik. Az adalék használatával a felületen megtapadó molekulák gátolják meg a két anyag összehegedését, melyek a hosszú szénlánc és funkciós csoportnak köszönhetően rendelkeznek apoláris és poláris résszel is, továbbá a hengerléshez szükséges súrlódási állapotot fent tartja és nem okoz befogási gondokat hengerlés közben. [1] [9] [10] [11] [18] [19]

3.2. A székesfehérvári alumínium meleghengerlése

3.2.1. Meleghengerhengerlési technológia

A székesfehérvári hengerműben a meleghengerléshez egy egyállványos reverzáló kvartó hengert használnak. A tuskóhevítő kemencében előmelegített tuskót egy görgősor szállítja az alakítást végző kvartó hengerállvány hengerei közé. A hengereket villamos motor – ún. sorvonó – hatja. A hengerek közötti rés változtatása mechanikus állítóorsóval ill. a finom szabályozás hidraulikus hengerekkel történik. A tuskónak a hengerlési közép vonalra állását az állvány mindkét oldalán elhelyezett terelők – ún. vonalzó – végzik. Hengerlés közben szükség van a buga végek levágására meghatározott anyag vastagságon. Erre a célra egy vastagvégvágó ollót telepítettek a sor befutási oldalára. A hengerelt anyag munkahengerre tapadt részecskéinek eltávolítására alakították ki a hengerkefélé berendezéseket, mely acél sörtékkal ellátott forgó és oszcilláló mozgást végző meghajtott henger. A hengerlés során bekövetkező hosszirányú növekedés miatt és a görgősor fizikai korlátja miatt a befutási (VAI csévélő) és kifutási (ACH csévélő) oldalon is megtalálható egy-egy szinkroncsévélő melyre feltekerceslik az alumíniumot az adott technológiából adódóan (tuskó vastagsága, hossza és a meleghengerlési vastagság fogja megadni a csévélő szúrások számát). A szalag elejének a felcsévélődobra történő megfogására a hevederes felvezető szolgál. A meleghengerlési utolsó szúrásban lehetőség van a szalag hosszirányú szélezésére. A feltekerceselt szalag végét hegesztéssel rögzítik. A 3.8 ábrán láthatjuk a székesfehérvári egyállványos irányváltó kvartó hengersort két csévélővel.



3.8 ábra: Székesfehérvári meleghenger felépítése [22]

1. Hengerek, 2. Szélező, 3. ACH csévélő, 4. VAI csévélő 5. Hevederes, 6. Végvágó olló

Meleghengerlési technológián egy adott méretű és ötvözetű előmelegített tuskó kihengerlésekor alkalmazott paraméterek összességét értjük. Ezek a paraméterek a következők:

Szúrásterv

A hengerlés kezdő és befejező hőmérséklete

Vastagvég levágására vonatkozó előírás

A szalagok szélvágására vonatkozó előírás

A felcsévéléskor alkalmazott feszítés értéke

A felsoroltak közül az összefoglalóan szúrástervnek nevezett adatsor az egyik legfontosabb. Magában foglalja a szúrások számát, végvágási lépést, hengerkefe alkalmazását, a hengerlési sebességet, a réspozíciókat, a csévéző szúrások számát, munkahengerek hajlításának mértékét, illetve a vastagság méréssel egybekötött profilmérést is. A 3.1 táblázatban látható egy meleghengerlési szúrásterv.

3.1 táblázat: Meleghengerlési szúrásterv

Szúrásterv száma	Szúrásszáma	Szúrási infó	Sebesség [m/s]	Réspozíció [mm]	Magasság csökk. mm	Magasság csökk. %	Hajlítás [%]
172	1		1,5	485	15	3,00%	
	2		1,5	475	10	2,06%	
	3		1,5	460	15	3,16%	
	4		1,5	430	30	6,52%	
	5		2	410	20	4,65%	
	6		2	380	30	7,32%	
	7		2,5	350	30	7,89%	
	8		2,5	320	30	8,57%	
	9		2,5	290	30	9,38%	
	10		2,5	260	30	10,34%	
	11		2,5	230	30	11,54%	
	12		2,5	200	30	13,04%	
	13		2,5	170	30	15,00%	
	14		2,5	140	30	17,65%	
	15		2,5	115	25	17,86%	
	16	800	2,5	95	20	17,39%	
	17		2,5	72	23	24,21%	
	18		3	50	22	30,56%	
	19		2,5	26,5	23,5	47,00%	50%
	20	41	1,8	12,5	14	52,83%	60%
	21	433	1,7	7	5,5	44,00%	60%

A táblázat értelmezéséhez segítségre szolgál a *H-SOP-MH-004_Melegghengerlési szűrásterv* című hengerműi általános műveleti utasítás. A dokumentumból kiolvasható, hogy a „szűrési infó” oszlopban megtalálható „activity” kódok mit jelölnek. A 3.2 táblázatban láthatjuk a számoknak a jelentését. [2]

3.2. táblázat: Melegghengerlési szűrásterv „activity” kódok

Activity kód	Jelentése
31	ACH csévézés első
41	VAI csévézés első
33	ACH csévézés VAI-ról
43	VAI csévézés ACH-ról
100	Szélezés
200	Hengerkefélés
400	Profilmérés
800	Végvágás

A különböző „activity” kódok kombinációja esetén a számok összegét kell beírni. ACH csévézés VAI-ról profilmérés esetében $33+400=433$.

A hengerlés további elemzéséhez a cégnél használatos IBA analyzer program áll segítségünkre. A szoftver használatával idő alapon tudjuk visszanézni a hengerlés során gyűjtött folyamat paramétereket (hengerlési erő, réspozíció, vastagságmérés, hűtési kép stb.). A programban különböző matematikai modellekkel módosíthatóak az egyes jelek, így részletesebb információt kaphatunk a hengerlésről és valamilyen szinten modellezhetőek azok. Az 1. táblázatban látott melegghengerlési szűrásterv a következő képen néz ki a szoftveres elemzés során, melyet az *1.számú melléklet: szűrásterv modell* tartalmaz mutat be. Látható, hogy adott időpillanatban leolvashatóak a folyamatparaméterek. Az 1. és 2. táblázatban látott információk könnyedén felfedezhetőek a mellékleten pl. 16. szűrás: (800 activity kód – végvágás), 95 mm a réspozíció vagy 21. szűrás: 7 mm a réspozíció, vastagságmérés, ACH csévézés, szűrás hossza 3 perc. A szoftverben található matematikai modellek használatával a módosított vastagságmérés az 1. számú melléklet utolsó diagramján látható (méter adatokkal jelenik meg csak az utolsó szűrásban mért vastagság).

3.2.2. Meleghengerlési emulzió és kenési állapot

Az alumínium meleghengerlése során határ- és EP kenésről beszélhetünk, hiszen a súrlódás a kenőanyagnak valamilyen módosulat változatában megy végbe. A kenőanyag fizikai módosulatával létrejövő határrétegben végbemenő kenés esetén határkenésről beszélünk. Az így kialakult határréteg az elsődleges szorpciós réteg (szupsztrátum – alapréteg), amely gyenge kötésekkel kapcsolódik a fémhez. Amennyiben a kenőanyag kémiai reakciórétegében zajlik le a kenés Extrem-Pressure (nagy nyomásálló) ún. EP kenésről beszélünk. Ebben az esetben a szupsztrátum az alapfém, amelyen a kenőanyag adalék(ok) erős kémiai szorpciós réteget hoznak létre. A határ- és EP kenés kialakulásában így a felület fizikai-, kémiai állapotának van kitüntetett szerepe. Ezen kenési állapotokhoz tartozó súrlódási tényező (μ) 0,5 – 0,1 közöttre tehető. Az érintkező felületeket, csak egy vékony, molekuláris vastagságú kenőanyagréteg vagy az érintkező felületeken kialakult szorpciós réteg védi az összehegedéstől. A hengerlés létrejöttéhez szükséges egy minimális súrlódási tényező, hogy a befogás megtörténjen. Jellemzően adhéziós kopás figyelhető meg, tehát a tényleges érintkezési felületen kialakuló adhéziós kapcsolatok elszakadásakor létrejövő anyagvesztésről beszélhetünk. [17] [22]

A székesfehérvári hengerműben a meleghengerlés során a hengerek hűtésére és kenésére lágyvíz és ásványolaj keverékéből előállított emulziót használunk. A területen saját lágyvíz készítő berendezés található. Az emulzió tartályok szintérezékelésével automatikusan történik a víz befejtés, valamint a lágyvízzel arányos olaj beadagolása is ezzel fent tartva az emulzió olaj koncentrációját. A technológiai kiírás szerint 3,6 – 4,2 % között kell tartani az emulzió olaj tartalmát. A felhasznált emulzol (emulzióképző alapolaj):

- Típusa: NOA KF-8323 A
- Külső megjelenése átlátszó, sárga színű folyadék
- Relatív sűrűsége (20 °C) 900 – 920 kg/m³
- Kinematikai viszkozitása (40 °C) 22 cSt
- Észtertartalma (EP adlék) 30 %

A felületi minőség érdekében, a magas hőmérsékleti viszonyok miatt és az alumínium munkahengerre történő feltapadásának az elkerülése érdekében szükséges az EP adalék. Az alapolaj hozzáadásán kívül lehetőségünk van csak észtert adalékot (ARC16) adagolni a rendszerhez. Emellett fontos az emulzió stabilitását jelző pH érték, melyet 7-8 között tartunk.

Amennyiben megemelkedne ez az érték pH (ARC375) csökkentő adalékot kell a rendszerbe juttatni.

Az emulzió készítéséhez használt ioncserélt víz:

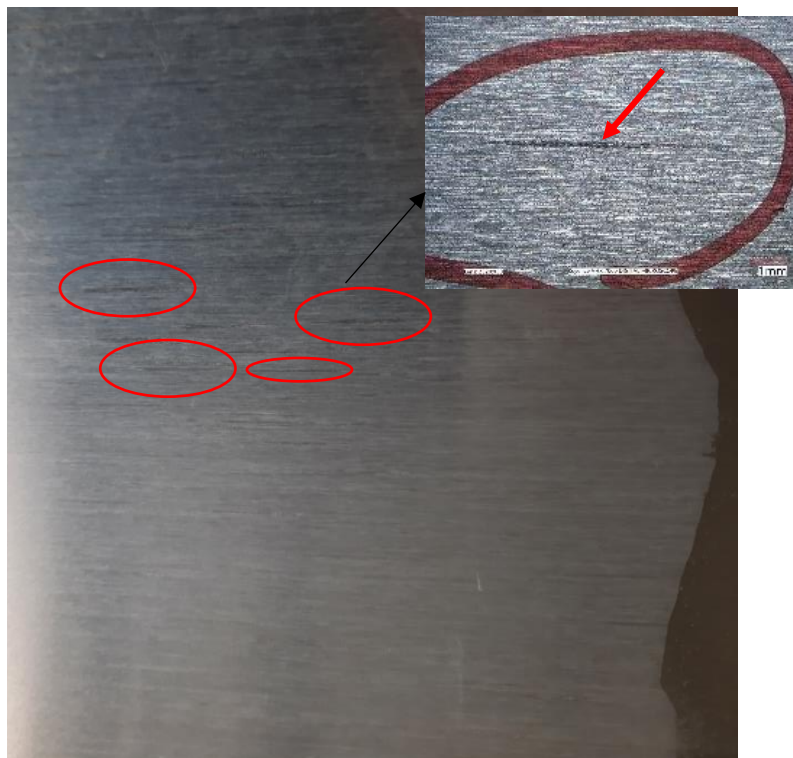
- Vezetőképessége max. 20 μ S/cm
- pH 5 – 6

A kenőanyag folyamatos tisztítása érdekében a bekerült idegen olajokat egy felúszató tartályból leengedjük. Emellett egy automata szalagos fölöző folyamatosan távolítja el a hidraulika olajat a rendszerből szintén ebben a tartályban. Az emulzió szilárd szennyezőinek eltávolítására pedig egy szűrővászonnal ellátott szalagos szűrő felel.

Az emulzió állapotát laboratóriumi vizsgálatokkal és hengerlés közbeni megfigyelésekkel is folyamatosan ellenőrizzük, hogy a kenőanyag tulajdonságait állandó értéken tudjuk tartani. A meleghengerlési emulzió kezelésére szóló dokumentum a „*H-SOP-MH-009_Meleghengerlési emulzió kezelése*” tartalmaz minden olyan fontos technológiai paramétert, amely a megfelelő üzemeltetéshez szükséges. [4]

4. Probléma bemutatása

A székesfehérvári hengerműben gyártott hasított szalag felületén apró karcszerű, elhengerelt szürkés-feketés csíkok jelentek meg. A meleghengerlési utolsó szúrásban a hengerrésben felgyülemelő hő hatására a hengerek és a munkadarab között kialakuló filmréteg instabillá válik, ezáltal nem képes ellátni kenési tulajdonságait. A hengereken kialakult oxidrétegből leváló elemek a hengerrésbe kerülve belehengerlődnek a munkadarab felületébe. Az anyag felületébe hengerelt alumínium oxidok nyújtottsága a meleghengerlés utáni redukció eredménye (kezdetben pontszerű oxidok kerülnek a felületbe). Az így kapott elhengerelt oxid csíkok a hengerlési iránnyal párhuzamosak. A cégnél használatos hiba megnevezése az ún. „black fleck”. A hiba rendkívül nehezen észrevehető és bizonyos szögből látható. A 4.1. ábra mutatja az anyag felületén keletkezett „black fleck” -et.



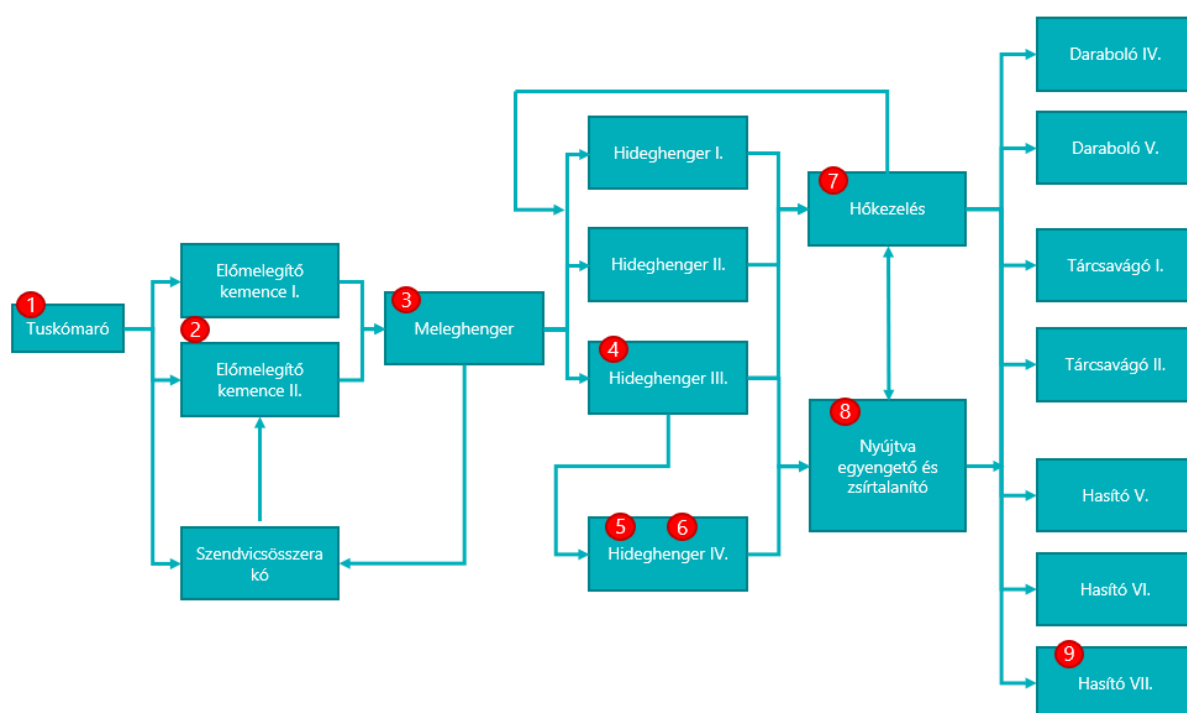
4.1. ábra: Hasított szalag felületén látható „black fleck”

A hengerelt terméknek a specifikációja:

- Termék típus: hasított szalag

- Ötvözet: EN_AA 5005
- Vastagság/szélesség: 0,56 x 105 mm
- Állapot: H14 (hengerralással elért félkemény állapot)
- Végtermék felhasználása: kozmetikai csomagolás

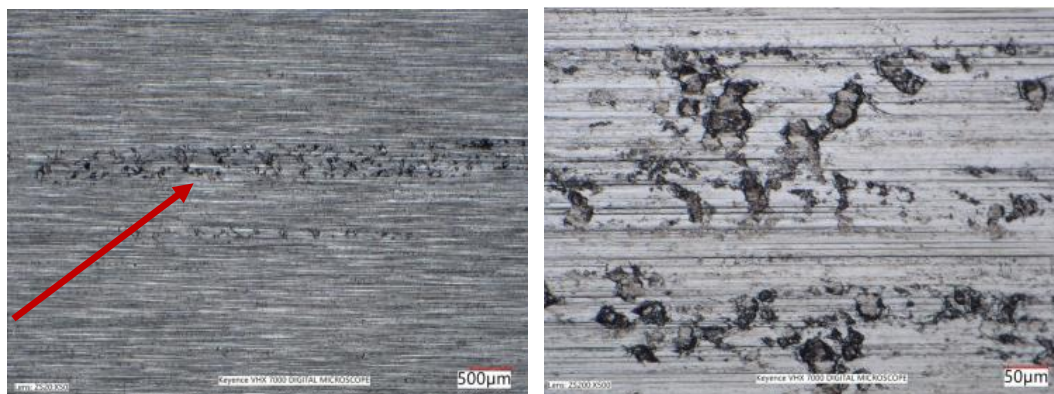
A hengerműben számos technológiai lépéssor elképzelhető a különböző termékek legyártásához. A fent említett specifikációhoz tartozó technológiai lépéssort számozottan az 4.2 ábrán láthatjuk.



4.2. ábra: Termék technológiai lépéssora

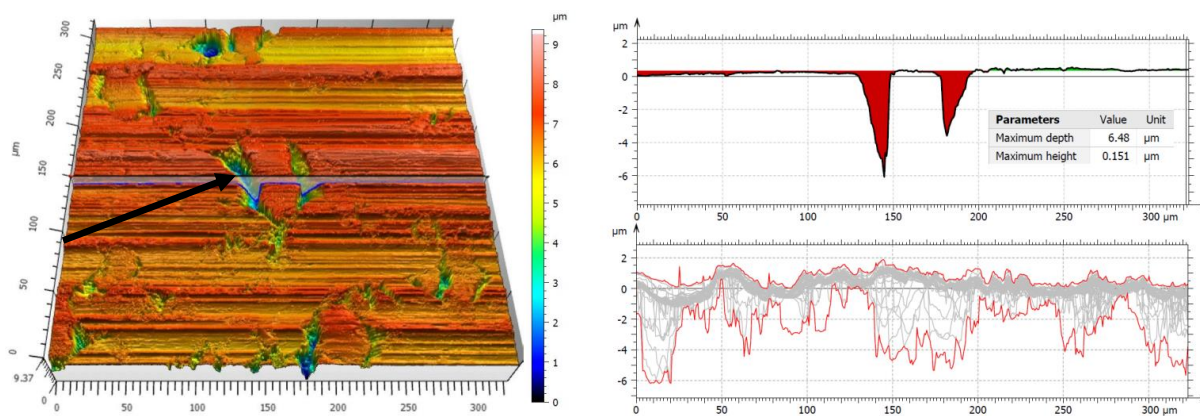
A probléma csak ezt a specifikációt érintette, ugyanis a termék kiszállítását követően a vevő egy speciális felületkezelést végez, melynek hatására a fent említett hiba megjelenése sokkal láthatóbb. A vevői követelményeknek való megfelelés érdekében rendszeresen ellenőrizzük a termék felületét hasításkor és a kivett minták felületét a laborban maratás előtt és után is megvizsgáljuk.

Az 4.3. 4.4. és 4.5. ábrán látható a laborban megvizsgált minták mikroszkópos vizsgálati eredménye maratás előtt:



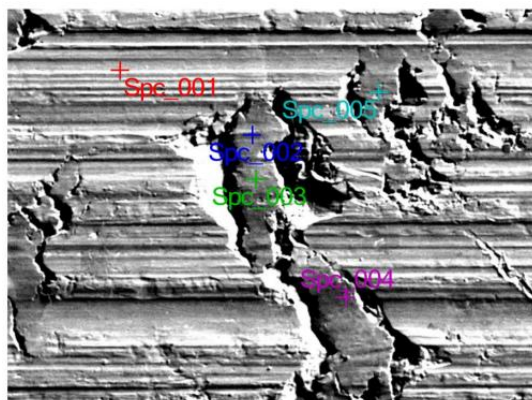
4.3. ábra: Digitális mikroszkópos vizsgálati kép maratás előtt

A képen látható a normál felülettől eltérő szürkés feketés elhengerelt karcszerű hiba, amely a hengerlési iránnyal megegyezik.



4.4. ábra: Konfokális mikroszkópos vizsgálati kép maratás előtt

A 3 dimenziós vizsgálatból látható, hogy a szürkés feketés hiba egy síkban van az alap felülettel, tehát több hengerlési lépésen is átesett. Az idegen anyag nem alakul a hengerlés során az alapanyaggal.

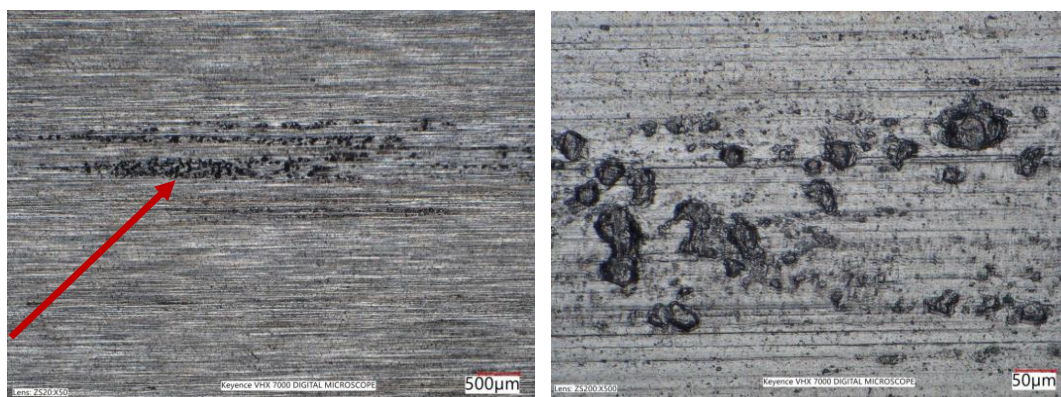


Name	C	O	Mg	Al
Spc_001	1,54	1,79	0,22	96,45
Spc_002	2,01	42,68	2,42	52,89
Spc_003	1,84	21,79	0,36	76,01
Spc_004	1,72	32,38	0,93	64,96
Spc_005	2,20	43,22	1,27	53,31

4.5. ábra: Elektron mikroszkópos vizsgálati kép maratás előtt

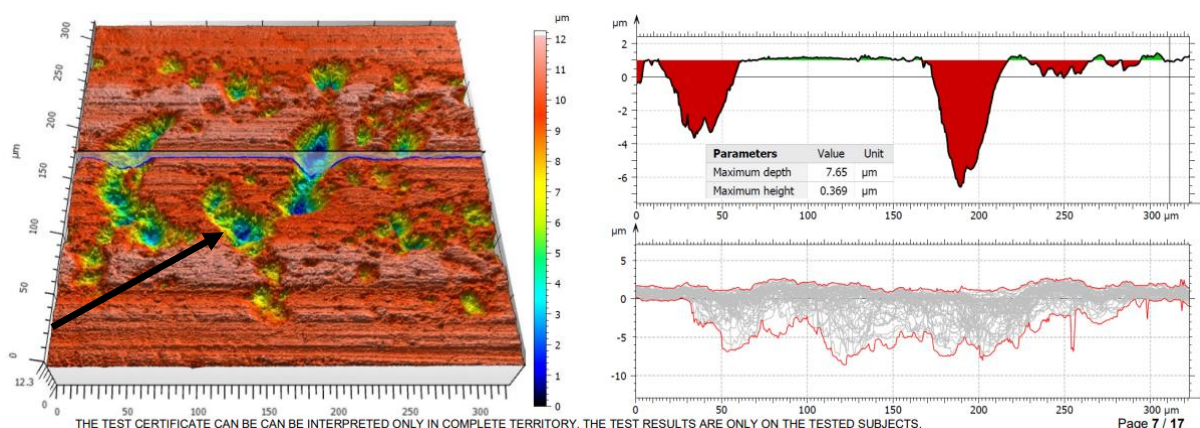
Az idegen anyag azonosításának céljából elektron mikroszkópos vizsgálatot végeztünk röntgen diffrakciós detektorral. Az elem eloszlás azt mutatja az egyes pontokban, hogy rideg alumínium oxid lett bele hengerelve az anyagba.

A 4.6. 4.7. és 4.8. ábrán a maratott minták mikroszkópos vizsgálati eredményeit láthatjuk:



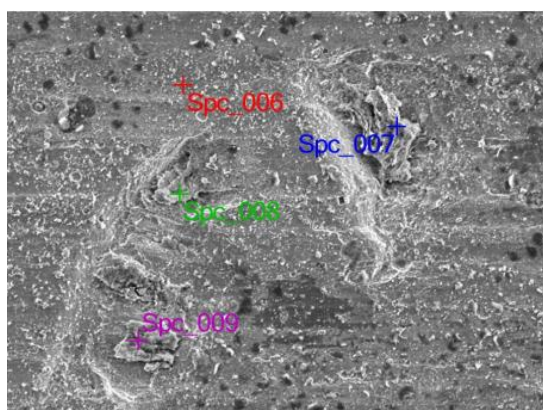
4.6. ábra: Digitális mikroszkópos vizsgálati kép maratás után

Mivel a végfelhasználó eloxálja a felületet, ezért azt szimulálva laboratóriumi vizsgálat keretében nátrium-hidroxid oldattal felületkezelést végeztünk a kivett mintán. A mikroszkóp felvételeken látható, hogy a behengerelt idegen anyagot kioldotta.



4.7. ábra: Konfokális mikroszkópos vizsgálati kép maratás után

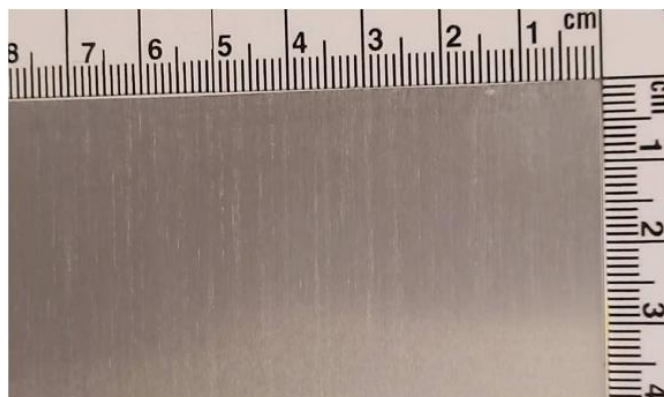
A konfokális vizsgálatból jól látszik, hogy az idegen anyag nagy részét kioldja a felületkezelés. Az így kapott felületen kráteres gödrök keletkeznek, ezáltal szemmel is jól láthatóvá válik a hiba.



Name	C	O	Mg	Al
Spc_006	0,86	3,58	1,07	94,48
Spc_007	2,53	44,13	28,64	24,69
Spc_008	7,19	49,43	22,48	20,90
Spc_009	3,40	37,65	12,73	46,22

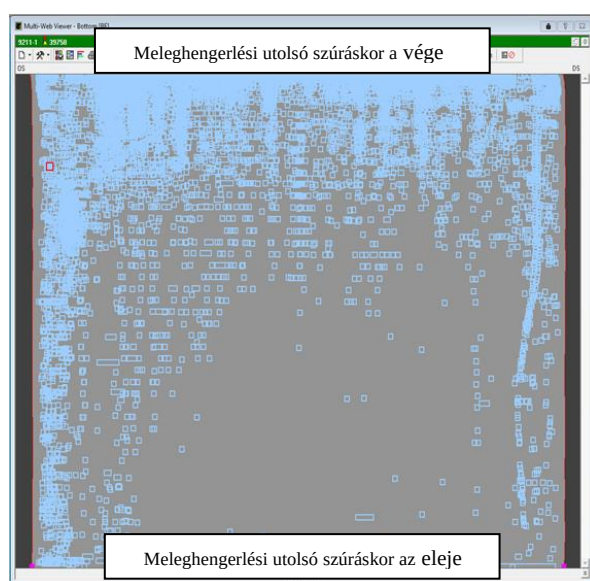
4.8. ábra: Elektron mikroszkópos vizsgálati kép maratás után

A felületkezelés során az alumínium alapfelülete megváltozik, illetve a behengerelt rideg alumínium oxidokat eltávolítja. A 4.9 ábrán láthatjuk egy levett minta maratás utáni képét, ahol már fehéres színben jelennek meg a hibák.



4.9. ábra: Hasított szalag felületén látható „black fleck” maratás után

A hiba további vizsgálata során a technológiai lépéssorban látható 8. számú „nyújtva egyengető és zsírtalanító” berendezésen elhelyezett SQM (Surface Quality Monitoring) kamerarendszer is segítségünkre szolgál. Az SQM a termék teljes felületéről felvételt készít és az ott látott hibákat kategorizálja, amit a rendszerhez kapott szoftverrel kielemezhetünk. A 4.10. ábrán láthatjuk egy érintett termék felvételét, melyen a kis világos kék négyzetek egy-egy ilyen karc szerű hibát jelölnek. A felvétel ebben a formában nem méretarányos (4 km hosszú és 1300 mm széles), illetve feltüntettem a szalag elejét és végét a meleghengerlési utolsó szűrőáshoz képest.



4.10. ábra: A termékről készült SQM felvétel

A felületen megjelenő elhengerlt hibaképből, a laborban megvizsgált minták és a korábbi tapasztalatok alapján a hiba keletkezése a meleghengерléskori utolsó szűrésre vezethető vissza. A meleg anyag készre hengerlésekor (utolsó szűrésben) a hengerrésben felgyülemelő hő hatására a kialakult filmréteg instabillá válik, elvékonyodik, rosszabb esetben teljesen megszűnik. Ennek hatására a hengereken kialakult oxid réteg felbomlik és apró oxidok formájában rá hengereljük az anyagra, mely a továbbiakban már csak speciális felület kezeléssel távolítható el.

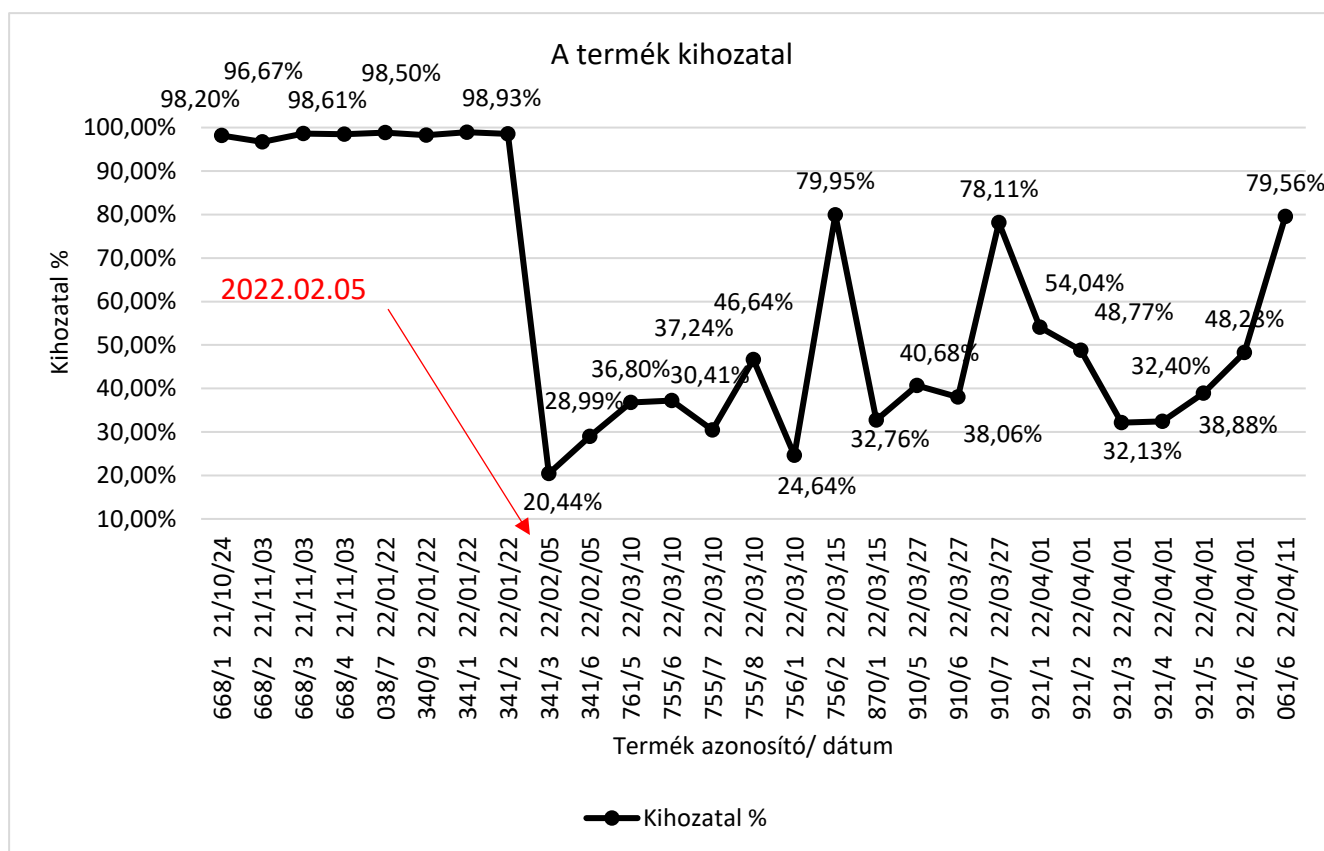
A probléma megoldásához a továbbiakban vizsgálni fogom, hogy miként csökkenthető a hengerrésben felgyülemelő hő. Ehhez szükség van a meleghengерlési szűrástervben némi változtatás, ahol csökkenteni fogom az utolsó szűrésben a redukciót. Valamint a hengerkefélés használatával elért súrlódási viszonyok csökkentését is tesztelni fogom.

A felületi probléma megszüntetésére, az emulzió alapolaj gyártója által javasolt új EP adalék tesztelését is el fogom végezni. Az új adalék tetra észter alapú. Ezzel egy stabilabb filmréteg képezhető hengerlés során, amely ellenállóbb lesz a hengerlésben felgyülemelő hő hatására.

A továbbiakban ezt a két technológiai változtatást fogom vizsgálni és elemezni, annak érdekében, hogy megfelelő felület minőségű anyagot tudjunk hengerelni.

5. Tervezés/A probléma megoldása

A felületi hibák hirtelen jelentek meg a gyártásunk során. Első körben megvizsgáltam és próbáltam leszűkíteni a megjelenés időpontját. Az 5.1 ábrán láthatjuk a termék kihozatalának a romlását.



5.1. ábra: A termék kihozatal romlása

A felületi hibákat az anyag hasításakor detektáltuk 2022.02.15.-én. Látható, hogy az anyag kihozatala nagy mértékben leromlott ettől az időponttól kezdve. Az általunk végzett vizsgálatok eredményéből, valamint a meleghengerrlési alapolaj gyártó cég szakemberével folytatott beszélgetések során a probléma okának a meleghengerrlést tekintettük. Az utolsó szűrésben a hengerrésben felgyülemelő hő hatására a kialakult olaj film elvékonyodása okozza a felületi hibákat. A cél, hogy a hengerrésben megtartsuk a kellően vastag film réteget, úgy, hogy az hengerrlés technikai szempontból ne okozzon problémát. A túlzott kenés olyan mértékben csökkentheti a súrlódást, hogy az „henger megcsúszást” okozhat. Ebben az esetben a hengerek elforognak az anyag behúzása nélkül. Ekkor a hengerek felülete megsérülhet, amely extra munkálatokkal helyre hozható, azonban termelés kiesést okoz. Az 5.1 táblázatban összefoglaltam mik azok a paraméterek, amelyek növelik az olaj film vastagságát meleghengerrléskor.

5.1. táblázat: Az olaj film vastagságát befolyásoló paraméterek

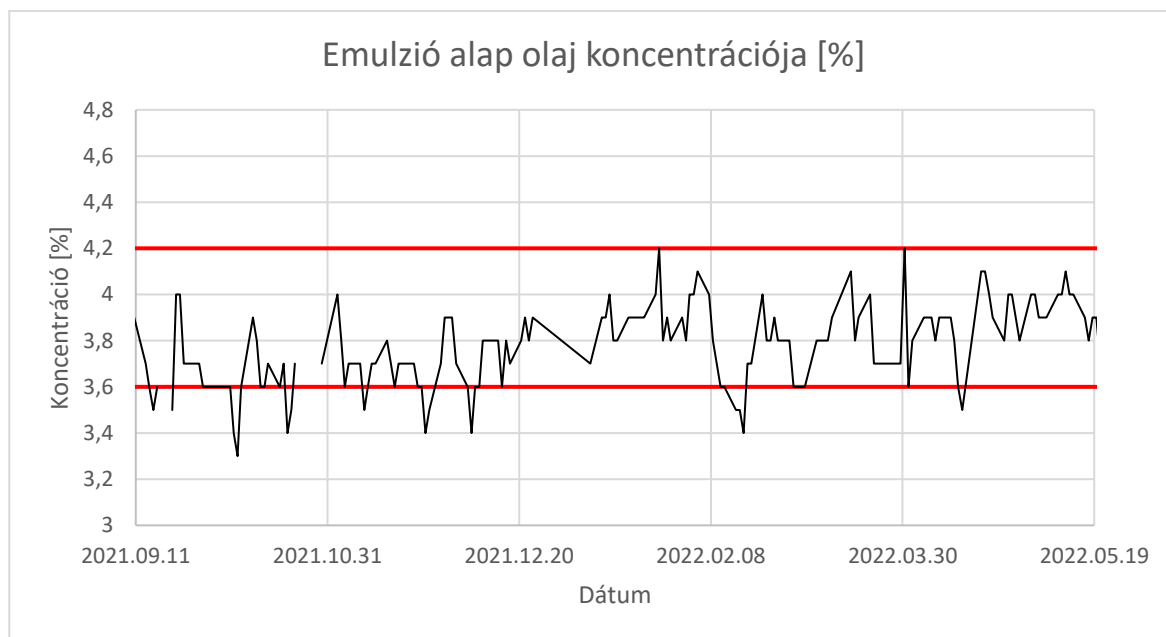
Emulzió paraméterek		Hengerlési paraméterek	
Olaj koncentráció	↑	Redukció	↓
Cseppméret eloszlás	↑	Belépő vastagság	↓
Viszkozitás	↑	Görgősor sebesség	↑
Olaj sűrűség	↑	Henger sebesség	↑
Emulzió észter tartalma	↑	Henger átmérő	↑
		Henger hőmérséklet	↓
		Henger érdesség	↓

A kék nyíllal jelölt paraméterek esetében növelni kell az értéket, hogy vastagabb film réteg alakuljon ki. A narancssárga nyíllal megjelölt paraméterek értékén pedig csökkenteni kell, hogy növelni tudjuk a film réteg vastagságát.

A probléma megoldásához az emulziós paramétereket, illetve az alap olaj gyártó cég által ajánlott észter adalék hatékonyságát fogom vizsgálni. Valamint a meleghengerlési szűrősterv módosításával próbálom csökkenteni az utolsó szűrésben felgyülemelő hő mennyiségét.

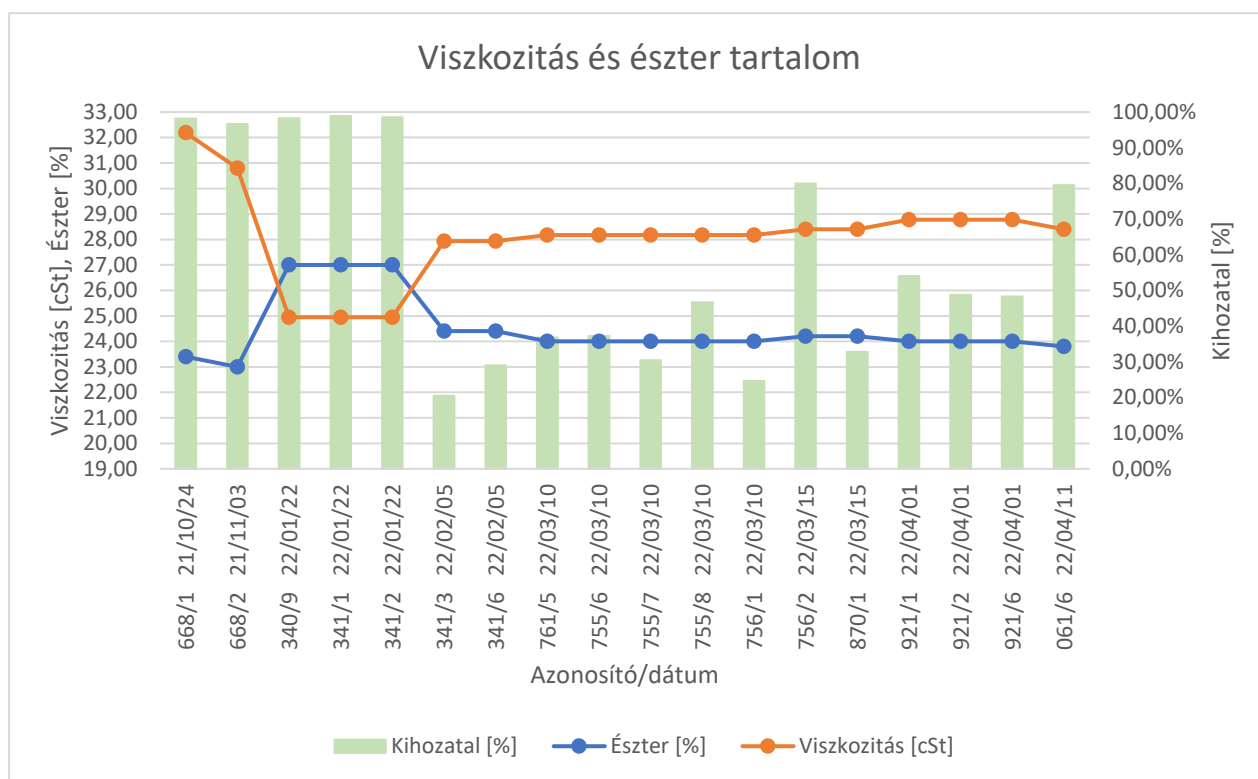
5.1. Meleghengerlési emulzió elemzése, új észter tesztelése

Az emulziós paraméterek vizsgálata folyamatos, így a gyártás során fent álló állapotok vissza kereshetőek. Első sorban az emulzió alap olaj koncentrációját vizsgálom meg, amit az 5.2. ábra láthatunk.



5.2. ábra: Emulzió alap olaj koncentrációja

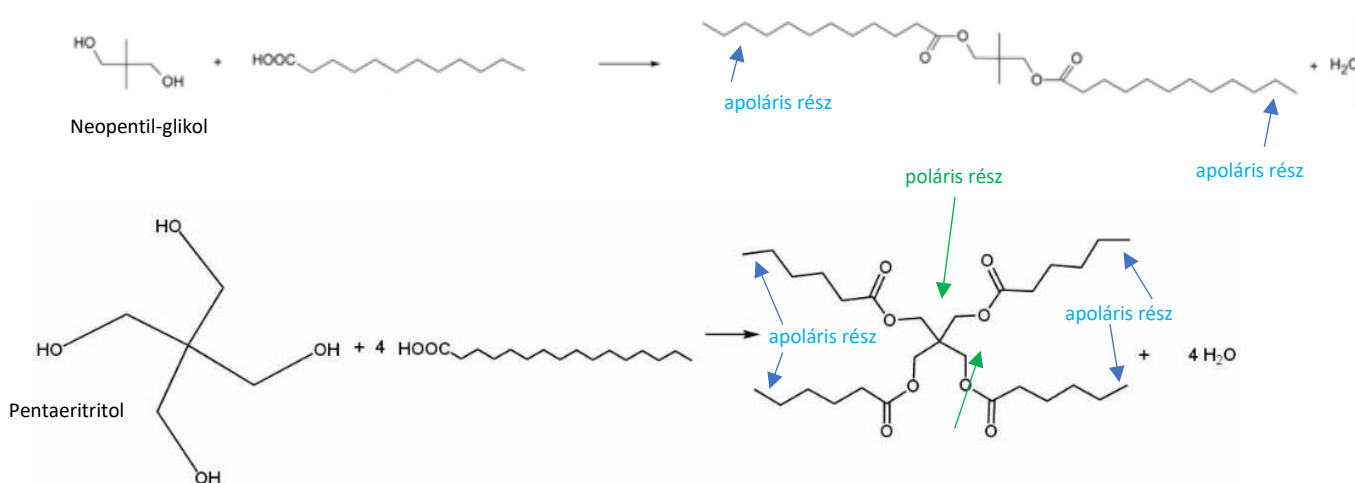
A koncentráció egy-egy esetben eltért az előírt százaléktól (3,6-4,2%), azonban nem mondható ki, hogy ez okozta volna a kenési elégtelenséget. Azért, hogy az emulzió alap olaj koncentrációja stabilabb maradjon kifejlesztettünk egy automatikus emulzol adagolást a rendszerhez. A lágyvíz és az alap olaj pótlás is automatikusan történik, illetve van mód a manuális hozzáadáshoz is. Az 5.3. ábrán láthatjuk, hogyan alakult az emulzió viszkozitása és észtertartalma a felületi hiba megjelenésekor.



5.3. ábra: A termék kihozatal alakulása a viszkozitás és észter tartalom függvényében

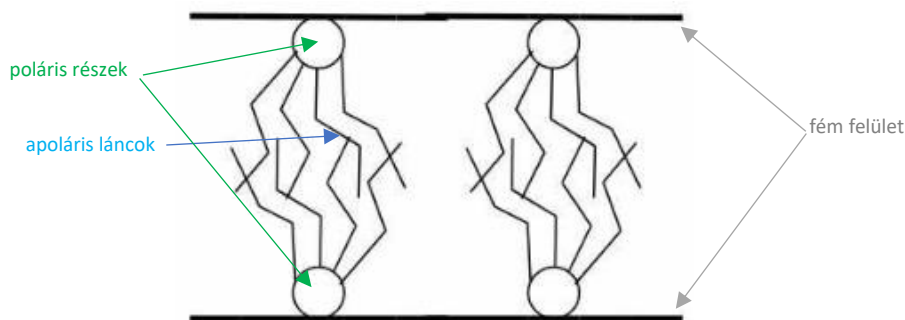
Az ábrán látható, hogy a 2021-ben hengerelt termékek kihozatala jó volt köszönhetően a magas viszkozitásnak. Az alap olaj viszkozitása 22 cSt, tehát a 31-33 cSt hidraulika olaj szennyezettségre utal. A magas viszkozitás már henger megcsúszási gondokat okozhat, tehát nem célszerű az emulziót magas viszkozitással üzemeltetni. 2022 januárjában a termékek hengerlése friss emulzióval történt, ahol a viszkozitás 25 cSt, valamint az észter tartalom is magas volt. Ennek köszönhetően kellően stabil maradt az olaj film réteg a melegghengerlés során. Amikor a friss emulzió észter tartalma csökkent és a viszkozitása elkezdett emelkedni a hidraulika olaj folyások miatt, a termék kihozatala drasztikusan lezuhant. Annak érdekében, hogy elkerüljük a viszkozitás emelkedését egy szalagos fölöző berendezést üzemeltetünk folyamatosan. Valamint van rá módunk, hogy egy felúszató tartályból leengedjük az idegen olajokat. Az idegen olajok a viszkozitás emelkedésén felül, csökkentik az emulzió észtertartalmát. Az alap olajban található emulgeátorok az idegen olajokat is képesek beemulgálni az emulzióba, ezzel rontva az emulzió észtertartalmát (hidraulika olajok nem tartalmaznak EP adalékot). Mivel az emulzió viszkozitásának az emelése kockázatos, így

továbbra is csökkenteni kell a rendszerbe kerülő idegen olajok mennyiségét, illetve érdemes átgondolni az emulzió észter tartalmának a növelését. Ez történhet alap olaj pótlással, de ekkor azonban figyelembe kell venni a koncentrációt is. Ezen felül van lehetőség észter adalék hozzáadására az emulzióhoz. Az adalék kapcsán egy új tetra észter alapú adalékot fogok tesztelni. Az emulzolban található EP adalék neo-pentil glikolból előállított észter. Az új adalék pedig pentaeritritolból előállított észter. A két adalék közti különbséget láthatjuk az 5.4. ábrán.



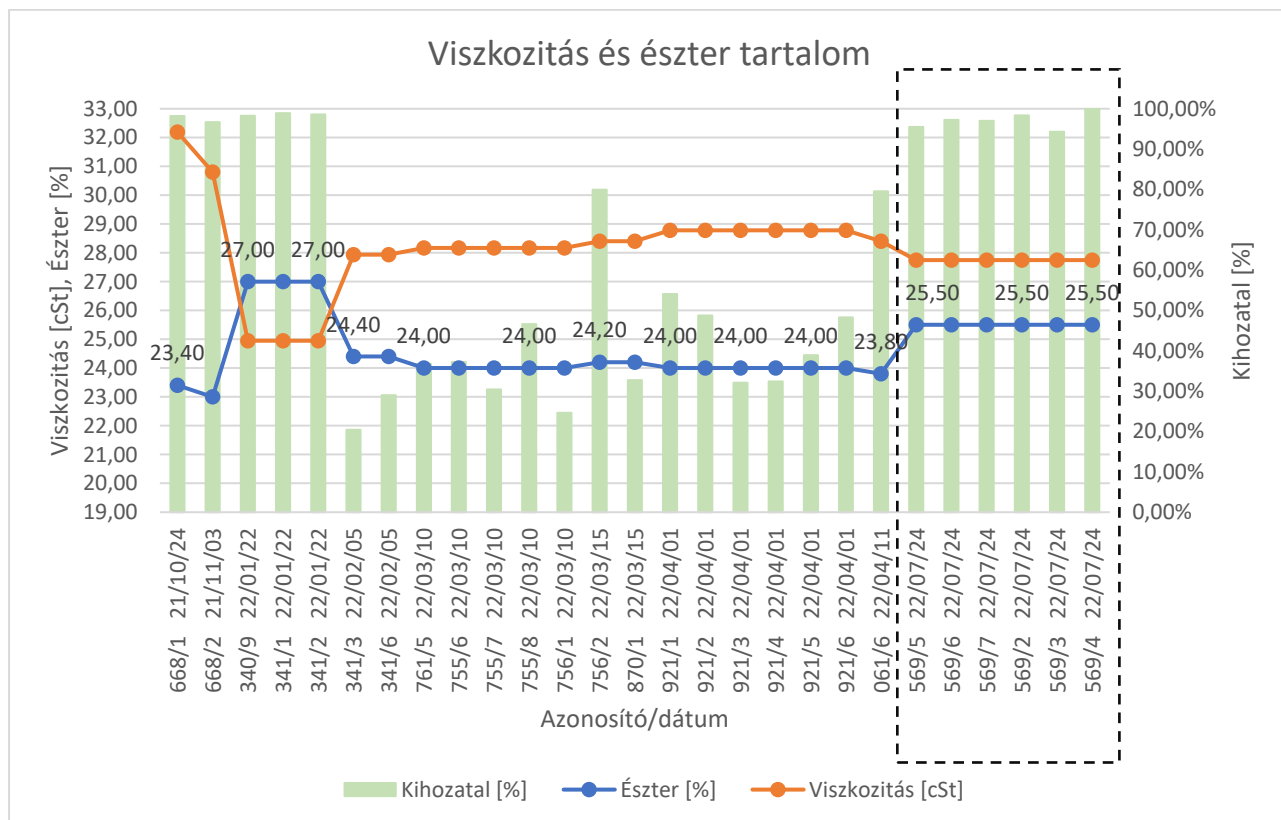
5.4. ábra: A neopentilből és pentaeritritolból származtatott észterek

Látható, hogy mindkét EP adalék alkohol plusz egy hosszú szénláncú savnak az észterképzésével állítható elő. A különbség a kiinduló alkohol OH csoportjainak a számában mutatkozik meg. Az új adalék – ARC15 – esetében a kiinduló alkoholnak 4 db OH csoportja van, tehát a kialakult észternek is 4 db apoláris lánc lesz. A létrejött molekulák poláris része a fémek felületéhez kapcsolódva, az apoláris láncok pedig egymásba kapaszkodva hoznak létre egy stabil állapotot, így az érintkezés során fellépő mechanikai és hőhatásoknak sokkal jobban ellen tud állni. Láthatjuk az 5.5. ábrán hogyan fejti ki hatását az új észter a fémfelületek között.



5.5. ábra: ARC15 hatása a fém felületek között

Az így ki alakult olaj film réteg hengerlés közben ellenállóbb lesz mint, a korábban használt EP adaléknál. A tesztelésem során a 170 m³ emulzióhoz 2x25 liter ARC15 adagoltam 1 óra különbséggel hengerlés közben. A meleghenger állványnál megtalálható főszivattyú 400 m³/h teljesítménnyel képes az állvány felé szállítani az emulziót, így a rendszerhez hozzáadott adalék elkeveredését 2 óra után elégnék véltem. Az ezt követően hengerelt termékek kihozatalát láthatjuk a meleghengerlési emulzió paramétereivel együtt az 5.6. ábrán.



5.6. ábra: Az új EP adalék hatása a kihozatalra

Látható, hogy a teszt elvégzése után, a megvizsgált emulzió észtertartalma növekedett. Az „alacsony” viszkozitás ellenére teljesen jó kihozatali értékeket kaptunk a vizsgált termékek kapcsán. Így egyértelműen kijelenthető, hogy az új EP (ARC15) adalék kifejtette hatását és kellően stabil film réteget hozott létre hengerlés közben. A felület ellenőrzés során nem találtuk meg a kenési elégtelenségből származó elhengerelt karcszerű hibákat. A továbbiakban, akár az alap olaj cég gyártójával megegyezve módosítható az alapolajban található észter típusa. Illetve érdemes észter adalék rendelése is, hogy a felületérzékeny anyagok esetében legyen lehetőségünk az emulzióhoz EP adalékot hozzáadni, ha szükséges.

5.2. Meleghengerlési szűrősterv módosítása

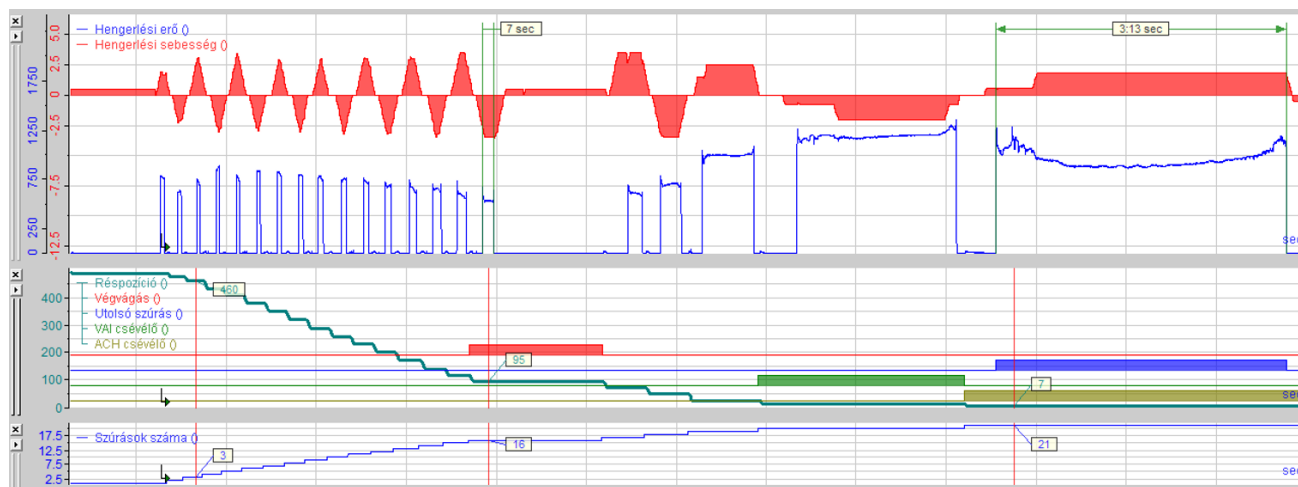
Ebben a fejezetben megvizsgálom a termék meleghengerlési szűrőstervét, valamint változtatnám azon paramétereket, amelyekkel csökkenteni tudom a hengerlésben felgyülemelő hő mennyiségét. A termékhez használt szűrősterv modelljét az 5.2. táblázat mutatja be.

5.2. táblázat: 171 szűrősterv

Szűrősterv száma	Szűrő száma	Szűrő infó	Sebesség [m/s]	Réspozíció [mm]	Magasság csökk. mm	Magasság csökk. %	Hajlítás [%]
172	1		1,5	485	15	3,00%	
	2		1,5	475	10	2,06%	
	3		1,5	460	15	3,16%	
	4		1,5	430	30	6,52%	
	5		2	410	20	4,65%	
	6		2	380	30	7,32%	
	7		2,5	350	30	7,89%	
	8		2,5	320	30	8,57%	
	9		2,5	290	30	9,38%	
	10		2,5	260	30	10,34%	
	11		2,5	230	30	11,54%	
	12		2,5	200	30	13,04%	
	13		2,5	170	30	15,00%	
	14		2,5	140	30	17,65%	
	15		2,5	115	25	17,86%	
	16	800	2,5	95	20	17,39%	
	17		2,5	72	23	24,21%	
	18		3	50	22	30,56%	
	19		2,5	26,5	23,5	47,00%	50%
	20	41	1,8	12,5	14	52,83%	60%
	21	433	1,7	7	5,5	44,00%	60%

Az anyag hengerléséhez használt szűrásterv 21 lépéses, melynek utolsó két lépése már csévéelő szűrásként történik. A 16. szűrásban megtörténik a buga végek levágása. A szűrás infóból látható, hogy az utolsó három szűrásban nincs henger kefélesi üzemmód. Fontos információ, hogy a 21. szűrásban 12,5 mm vastagságról 7 mm-es vastagságra hengereljük a terméket, amely 44,00 % alakítást jelent. A 41-es kód VAI csévélést, a 433-as kód ACH csévélést jelent profilméréssel a szűrás infó oszlopon belül. A sárgával jelölt cellák lesznek azok a pontok, ahol változtatást fogok véghez vinni. A szűrás infó oszlopban a henger kefélesi lépés fog megjelenni, illetve az utolsó előtti lépésben a rés pozíció mértékét fogom csökkenteni, ezzel csökkentve az alakítási %-ot.

A szűrástervben alkalmazott egyes lépések közötti különbséget, valamint a szűrás infó lépéseit az 1.sz. mellékletből kivett 5.7. ábra jól szemlélteti azt.

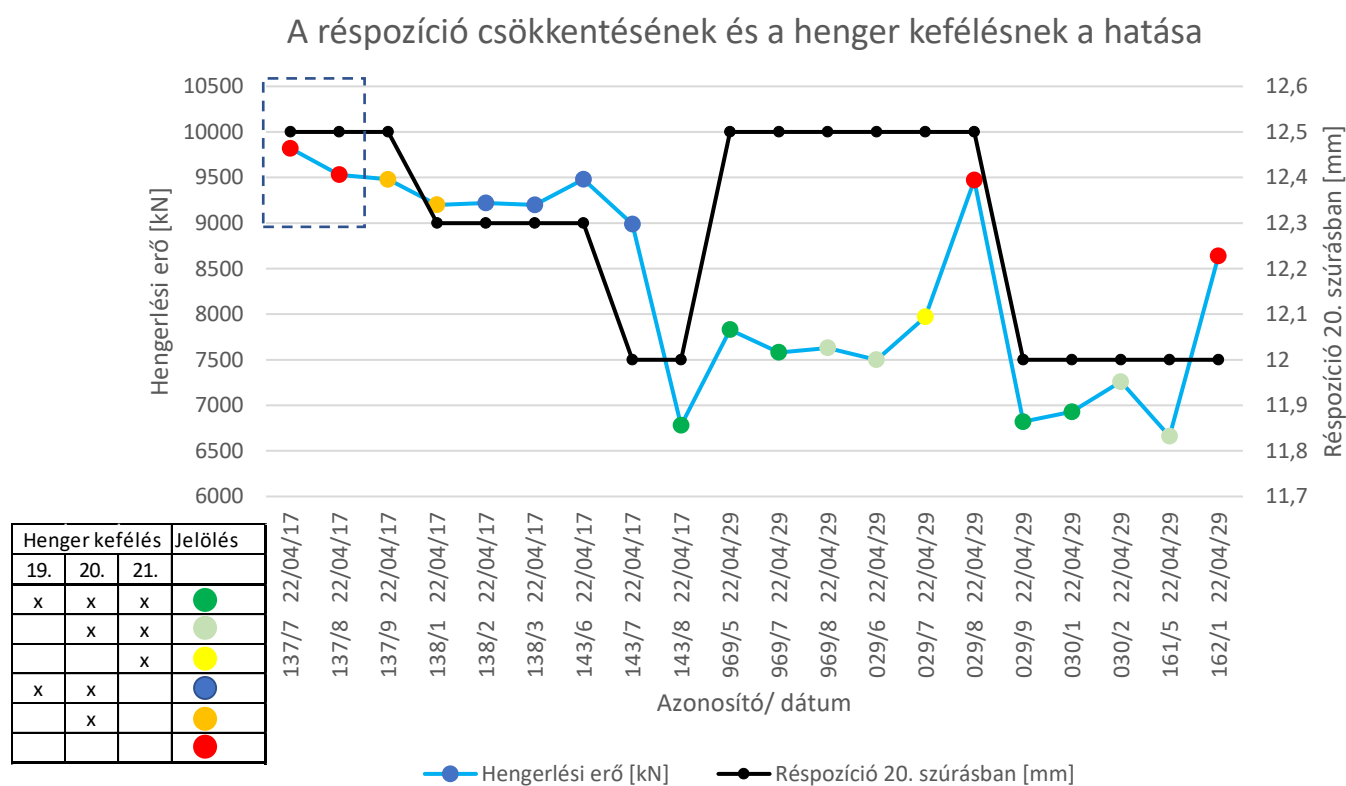


5.7. ábra: A 171 számú szűrásterv modellje

Amennyiben az utolsó szűrásban csökkentem az alakítás mértékét, úgy az ebből származó hőfejlődés is kisebb lesz, ezáltal a kenőanyag stabilitása megmarad a két fém felület között. Lényegében a hengerrésben felgyülemelő hő csökkenthető ezzel, illetve a stabil film rétegnek köszönhetően a súrlódásból eredő hőfejlődés is visszább szorítható. Az alakítás csökkentése az utolsó szűrásban lényeges, hiszen a hengerlési szűrás tervnek mindig ez lesz a leghosszabb része. Ez az a lépés, ahol a megmunkálandó meleg anyag a leghosszabb ideig érintkezik a hengerpárokkal, tehát a legtöbb hő a hengerrésben itt gyülemlik fel. A szűrástervben

alkalmazott változtatásokat az IBA analyzer segítségével fogom kiértékelni, ahol a hengerléshez szükséges erőket fogom megvizsgálni.

A változtatás során a 20. szűrásban a réspozíciót 12,5 mm-ről 12,3 mm-re és 12 mm-re fogom csökkenteni, valamint alkalmazni fogom a henger kefélesi üzem módot az utolsó három szűrásban (19. 20. 21. szűrás) különböző féle képen. Az eredmények kiértékelésénél az utolsó szűrásban fellépő átlagos erőket fogom kiértékelni, melynek célja az, hogy kevesebb legyen. Az 5.8. ábra mutatja be a teszteléseim eredményét.



5.8. ábra: A szűrásterv változtatásának a hatása a hengerlési erőre az utolsó szűrásban

A szaggatott négyzetben kijelölt rész az eredeti 171 számú szűrásterv értékeit, míg a többi rész a 171-es terv módosításának az eredményeit mutatja. A fekete vonal adja meg a 20. szűrásban megadott réspozíciókat a tesztelések alatt, ennek csökkentése az utolsó szűrás alakítási százalékát fogja befolyásolni. A világos kék görbe pedig a hengerléshez szükséges erőket mutatja meg, ahol a színes körök jelzik, hogy az utolsó három szűrásnál hol használtam henger kefélesi üzem módot. Az azonosításhoz a diagram bal alsó sarkában látható kis táblázat

nyújt segítséget. Várhatóan, ha az utolsó szűrésben kisebb alakítást adtunk az anyagnak, akkor kisebb volt a hengerléshez szükséges erő. Az is látható, hogy ha a 19. 20. és 21. szűrásban henger keféles üzem módot választunk csökkenthető a hengerléshez szükséges erő. Már jelentős csökkenést okozott az erő szükségletben, ha csak a 21. szűrásban használtuk. Az így kapott eredményekből létrehoztam egy egyedi szűrástervet ehhez a termékhez, amelyet a 211 számú tervvel kell hengerelni, melyet az 5.3. táblázat mutat be.

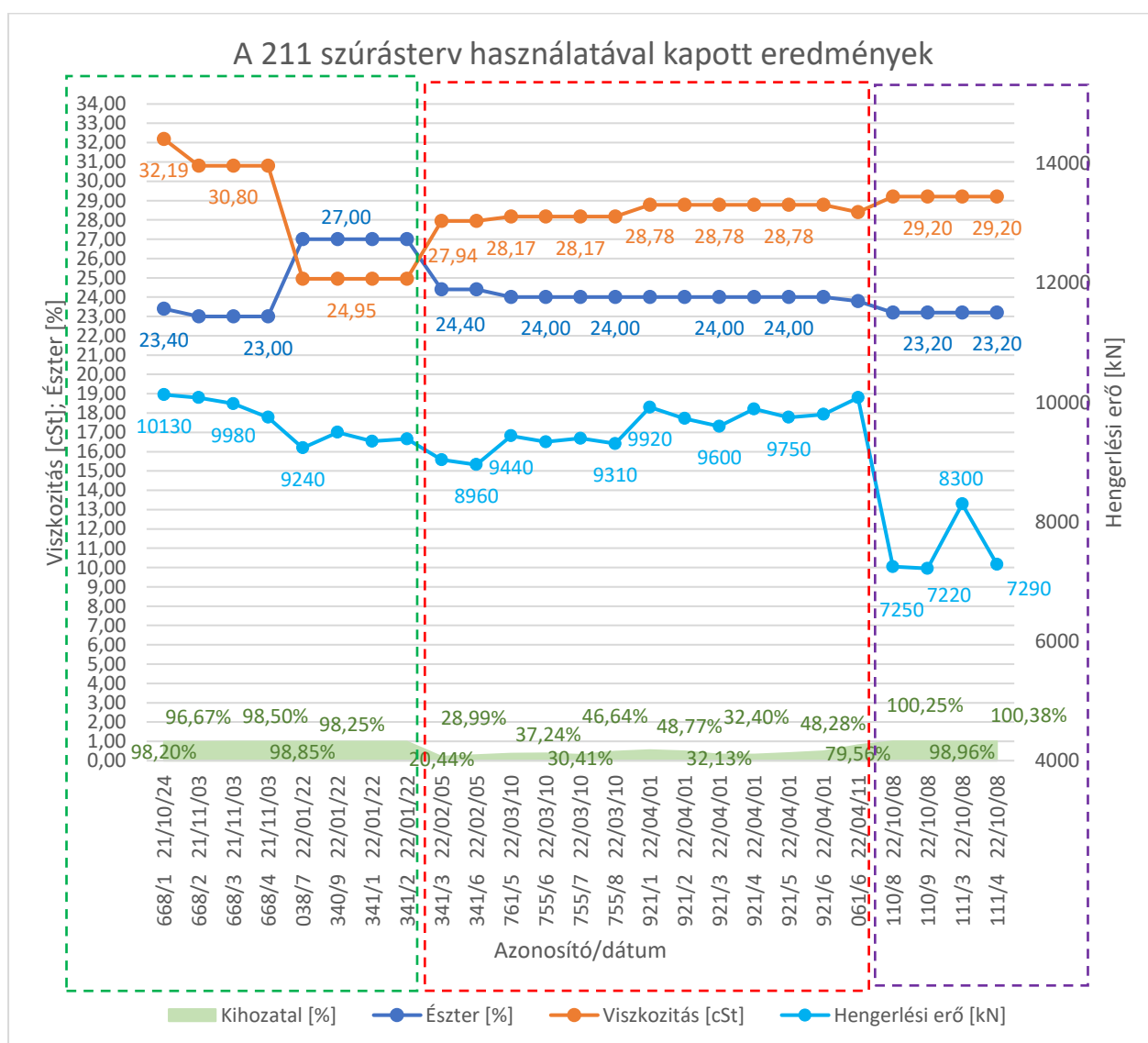
5.3. táblázat: 211 szűrásterv

Szűrásterv száma	Szűrés száma	Szűrés infó	Sebesség [m/s]	Réspozíció [mm]	Magasság csökk. mm	Magasság csökk. %	Hajlítás [%]
211	1		1,5	495	15	3,00%	
	2		1,5	480	15	3,03%	
	3		1,5	460	20	4,17%	
	4		1,5	435	25	5,43%	
	5		2,2	410	25	5,75%	
	6		2,2	385	25	6,09%	
	7		2,2	360	25	6,49%	
	8		2,2	335	25	6,94%	
	9		2,2	310	25	7,46%	
	10		2,2	285	25	8,06%	
	11		3,5	260	25	8,77%	
	12		3,5	235	25	9,62%	
	13		3,5	210	25	10,64%	
	14		3,5	185	25	11,90%	
	15		3,5	160	25	13,51%	
	16		3,5	135	25	15,63%	
	17		3,5	110	25	18,52%	
	18	800	3,5	90	20	18,18%	
	19		3,5	67	23	25,56%	
	20		3	45	22	32,84%	70%
	21	200	2,5	26,5	18,5	41,11%	70%
	22	241	2	12	14,5	54,72%	70%
	23	633	1,7	7,1	4,9	40,83%	70%

A táblázatban kijelöltem sárgával a lényegi változást a 171 tervhez képest. Látható, hogy 23 lépéses az új terv. A szűrés infó oszlopban az utolsó 3 szűrásban a 200-as activity kód a henger keféles üzem módot jelenti (22. és 23. szűrásban hozzáadódott a 41-hez és a 33-hoz). A

réspozíció változtatása az utolsó két lépésben pedig lehetővé tette, hogy az alakítás mértékét 44%-ról sikerült lecsökkenteni 40,83%-ra az utolsó szúrásban.

Az emulziós paraméterek vizsgálatokor láthattuk, hogy 29 cSt körüli viszkozitással és 24 % körüli alap olaj észter (korábbi EP adalék) tartalommal rossz kihozatali eredményeket kaptunk. Az új szúrássterv tesztelésekor hasonló emulziós paraméterekkel a következő eredményeket kaptam, amit az 5.9 ábra szemléltet.



5.9. ábra: A 211 szúrássterv eredményei

A diagramról leolvasható, hogy amíg magas viszkozitás vagy magas észter tartalma volt az emulciónak jó kihozattalal gyártottuk a termékeket (zöld szaggatott négyzet). Abban az időszakban, amikor alacsony viszkozitás mellett, alacsony (24% észter) EP adalékkal rendelkezett az emulzió a terméken megjelentek az elhengerelt karcszerű hibák (piros szaggatott négyzet). A módosított szűréstervnek köszönhetően, a hengerléshez szükséges erők csökkentek, ennek következtében a hengerrésben felgyülemelő hő is. Így alacsony viszkozitás és EP adalékkal is képesek voltunk jó felület minőségű anyagot hengeregni (lila szaggatott négyzet).

A vizsgálataim során teszteltem az alap olaj gyártó cég által javasolt új tetra észter alapú EP adalékot. Az új adalékban található észterek több apoláris láncsal rendelkeznek, így erősebb kapcsolatot tudnak létre hozni a két fém felület között. Ezáltal ellenállóbbak lesznek a hengerrésben felgyülemelő hő hatására. A tesztelések másik fő ága a meleghengerrlési szűréstervben történő változtatásokat jelentette. Módosítottam az utolsó szűrésben az alakítás mértékét, illetve az utolsó három szűrésben hengerkefe üzemmódot írtam elő. Ennek következtében a termék meleghengerrléskori utolsó szűrésében, amely egyben a leghosszabb, lényegesebb kevesebb lett az alakításhoz szükséges erő. A vizsgálatok során a termék kihozatalában pozitív eredményeket tapasztaltam, melyet összesített eredményeit az 5.4 táblázatban láthatjuk.

5.4. táblázat: Módosítások által elért eredmények számszerűsítve

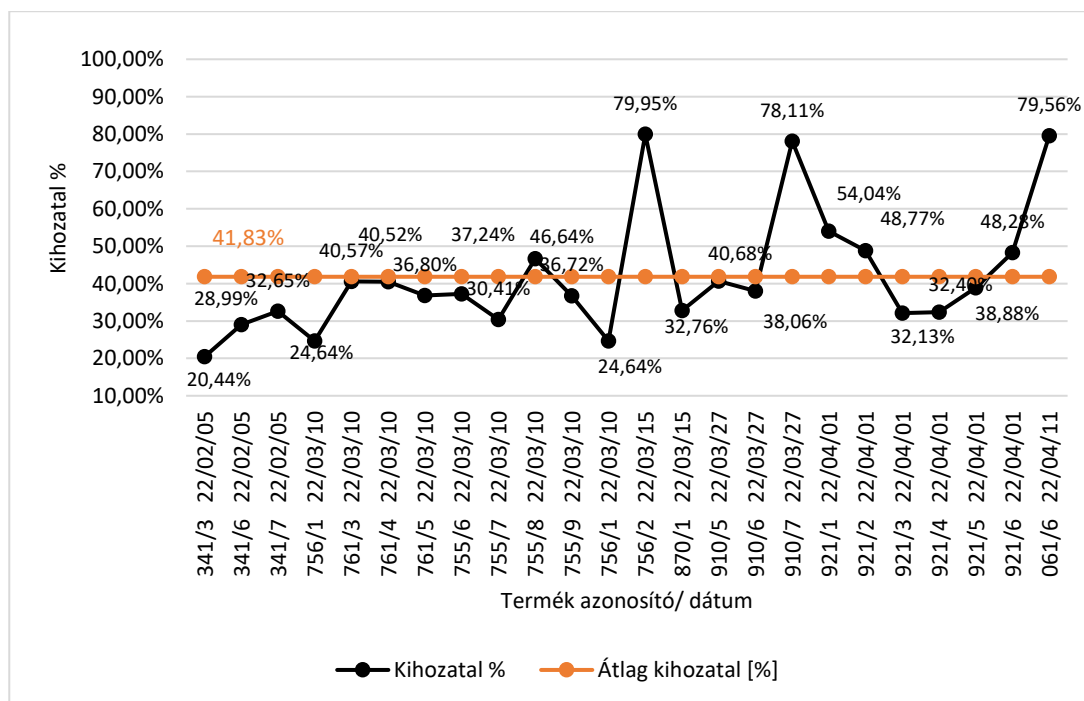
Termék azonosító	Kihozatal [%]	SQM értékelés - karcszerű hibák száma [db]	Észter [%]	Viszkozitás [cSt]	
921/1	54,04	12040	24,00	28,78	<i>Hiba megjelenése</i>
921/2	48,77	9466	24,00	28,78	
921/3	32,13	7913	24,00	28,78	
921/4	32,40	13273	24,00	28,78	
921/5	38,88	12469	24,00	28,78	
921/6	48,28	10676	24,00	28,78	
569/5	95,49	1371	25,50	27,75	<i>EP adalék tesztelése</i>
569/6	97,27	2143	25,50	27,75	
569/7	96,99	1864	25,50	27,75	
569/2	98,36	2031	25,50	27,75	
569/3	94,32	1953	25,50	27,75	
569/4	100,00	972	25,50	27,75	
110/8	100,03	1396	23,20	29,20	<i>Új szűrősterv tesztelése</i>
110/9	100,25	1294	23,20	29,20	
111/3	98,96	1531	23,20	29,20	
111/4	100,38	1128	23,20	29,20	

A táblázatban láthatjuk az SQM rendszer által észlelt hibák mennyiségét. A kamerarendszer egy betanított hibakép alapján azonosítja a hibákat. Ebben lehet némi pontatlanság, de arányaiban véve egy jó távpontot tud adni a felület minőségéről. Az ember által végzett vizuális ellenőrzést azonban nem helyettesíti. Ez egy nagyon érzékeny kamerarendszer, amely a hibák azonosítására alkalmas, de azoknak az erősségét, hogy mennyire látható a felületen nem képes visszaadni.

. A kihozatali értékek alakulásával elmondható, hogy a továbbiakban érdemes az EP adalék használata az emulzió alacsony észtertartalmakor, illetve a módosított szűrősterv használata.

6. Gazdasági számítás

A felületi hibák megjelenésével a termék kihozatala drasztikus módon lecsökkent. Külön nagy probléma, hogy a termék selejtezése az utolsó lépésben történik meg, így szinte a teljes gyártási költséggel kell számolnunk, amikor az anyag selejtezéséről beszélünk. Emellett növeli a pótgyártások mennyiségét és foglalja a termelési kapacitást. A probléma megjelenésével a termék átlagos kihozatala 41,83 %-ra csökkent. A 6.1. ábrán láthatjuk a termék rossz kihozatalának alakulását.



6.1. ábra: A termék kihozatala a hiba megjelenését követően

2022.02.05-től nagyon jól látható a hiba megjelenése és ennek következménye képen a rossz kihozatal is. A termék selejtezése hasításkor **1539 €/t** jelent, amely magába foglalja az öntődei és hengerműi költségeket is. A teljes selejt mennyisége 102,194 tonna volt, amely **157 277 €** kiesést jelentett a cég számára. A tesztelések során az új 211 szűrastervvvel hibamentesen sikerült legyártani a terméket, amely nem került extra költségbe. Az új tetra észter alkalmazása során 50 litert felhasználva 6db (44 t) tekercset hibamentesen leghengereltünk. Amennyiben az észter használata szükséges, érdemes nagyobb batch-ben indítani melegehengerléskor a felület

érzékeny anyagokat, így kevesebb észter használat mellett több anyagot tudunk lehengerni. A 6.1 táblázatban láthatóak a selejtezésből keletkező károk, valamint az új észter használatának a költsége.

6.1. táblázat: Pénzügyi hatások

	Várható tömeg [t]	Leadott mennyiség [t]	Selejt mennyisége [kg]	Kihozatal [%]	Selejtezési költség felületi hiba miatt [€]	Észter költség
171 szűrősterv	175,7	73,5	102	41,83%	157 276,6 €	-
211 szűrősterv	29,3	29,3	0,028	99,90%	- €	-
Észter adagolás (50 l)	43,9	42,6	1,286	97,07%	- €	420 €

A táblázatban látható, hogy mekkora termelési költség kiesést jelent az anyag selejtezése a hasításkor. Az új szűrősterv, amely tulajdonképpen költség mentes változtatás pozitív eredményeket hozott a kihozatalban. Az is látható, hogy az észter használatával, amelynek 8,4 l/€ költsége van, javíthatóak a kenési körülmények meleghengernél. Az így kapott kihozatali eredményekből szintén megállapítható, hogy vissza szoríthatók a karc szerű hibák a felületen. A továbbiakban, ha van rá lehetőség a felület érzékeny anyagok batch-ben történő gyártására érdemes oda figyelni, így az észter fajlagos felhasználása javítható.

Az aktuális EUR/HUF árfolyam: 1 € = 381 HUF /2023-november 03/.

7. Összefoglalás

A diplomatervben bemutattam, hogy az alumínium meleghengerrése során fellépő kenési elégtelenség, milyen felületi problémákat okozhat a hengerelt termékek felületén. Az alig látható elhengerelt karcszerű hibák, amelyek tulajdonképpen rideg alumínium oxidok, szabad szemmel nehezen észrevehetőek. Speciális felület kezeléssel azonban a hiba könnyedén észrevehetővé válik. A dolgozat egyik fő célja az volt, hogy a meleghengerrési alapolajat beszállító cég által ajánlott észter típusú EP adalékot teszteljem. Az adalék egy új tercier alkoholból előállított észter, melynek használatával egyértelműen pozitív eredményeket értem el a hengerelt felület minőségében. Az emulzióba kerülő hidraulika olajok nagy mértékben szennyeznek a rendszert, melynek során az emulzió észtertartalma csökken. Emellett az emulzió viszkozitását is növeli az idegen olaj, amely akár olyan „jó” kenési feltételeket teremt, hogy a hengerléshez szükséges súrlódás nem lép fel, így befogási gondokat okoz. A továbbiakban az emulzió viszkozitásának a növelése nem ajánlott. Az idegen olaj folyások megszüntetésével és az új tetra észter felhasználásával stabilabb film réteg hozható létre meleghengerréskor. Érdemes a kritikus termékek batch-ban történő indítása, így az észter fajlagos felhasználása javítható.

A dolgozat másik fő pontja a meleghengerrési szűréstervben történő változtatásokat foglalja össze. Az utolsó szűrásokban a hengerkefe alkalmazásával a hengerléshez szükséges nyírási feszültséget csökkenteni tudtam, amelyet az utolsó (leghosszabb) szűrásban vizsgáltam. Továbbá az utolsó szűrás redukcióján is csökkentettem. Az így megalkotott 211-es számú szűréstervvel szintén pozitív eredményeket tudtam elérni. Az eredmények kiértékelése során, a termék kihozatali értékeit figyeltem meg, valamint az SQM kamera által készített felvételeket értékeltem ki.

A dolgozat keretében megvizsgáltam a probléma pénzügyi vonzatait, illetve a jobb eredmények eléréséhez szükséges erőforrások költségeit. Kijelenthető, hogy kis befektetéssel javítható a meleghengerreléshez szükséges emulzióknak a kenőképessége.

A jövőben fontos, hogy kellő képen kategorizáljuk a felület érzékeny anyagainkat, lehetőség szerint azokat batch-ban kezeljük. Valamint fontos az emulzió vizsgálatának a folytonos

ellenőrzése, oda figyelve a viszkozításra és az észter tartalomra. Így képesek lehetünk fenttartani a magas elvárásokat a tökéletes alumínium felület iránt.

8. Summary

In the diploma thesis I have shown that the insufficiency lubrication occurring during hot rolling can cause surface problems on the surface of rolled products. The barely visible rolled scratch-like defects, which are in fact brittle aluminium-oxides are difficult to see with the naked eye. With special surface treatment the defects become visible easily. One of the main objectives of this thesis was to test an ester-type Extrame Pressure additive recommended by the hot rolling base oil supplier. The additive is a new ester produced from tertiary alcohol and I have obtained clearly positive results in the quality of the rolled surface. Hydraulic oils in the emulsion are a major contaminant of the system whereby the ester content of the emulsion is reduced. In addition, the viscosity of the emulsion is increased by the foreign oils, which even creates such „good” lubrication conditions that the friction required for rolling does not occur what causes bite refusal problems. For this reason further increases emulsion’s viscosity are not recommended. By eliminating extraneous oil leakage and using the new tetra ester more stable film layer can be created during hot rolling. It is advisable to start critical products in batch so that the specific utilization of ester can be improved.

The other main point of the diploma thesis the changes in the hot mill pass schedule. By using the roll brush option at last passes, I was able to reduce required shear stress for rolling, which I analyzed at the last (longest) pass. I also reduce the reduction at the last pass. I was able to achieve positive results with the resulting pass design 211. To evaluate the results I observed the product recovery values and evaluated the SQM camera system records.

As part of the thesis, I examined the financial implications of the problem and the cost of the resources needed to achieve better results. It can be shown that with a small investment the lubricity of the hot rolling emulsion can be improved. In the future, it is important to categorise surface sensitive materials preferably batch processing them. Also, it is important to continuously monitor emulsion testing, paying attention to viscosity and ester content. In this way we can maintain high expectations for a perfect aluminium surface.

9. Nyilatkozatok

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréseiről és
eredetiségéről

A hallgató neve: VILLERDING ZSOLT
A Hallgató Neptun kódja: L2N14VE
A dolgozat címe: ALUMINIUM HELEGHENGELÉSEKOR FELLEPŐ KENÉSI ELÉGTELENSÉG
A megjelenés éve: 2023
A tanszék neve: ANYAGTUDOMÁNYI ÉS GÉPIPARI FOLYAMATOK TANSZÉK

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a Záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe.

Kelt: 2023 év 10 hó 28 nap

Villering Zolt
Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

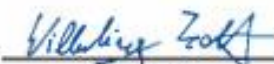
² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

NYILATKOZAT

Alulírott VILLERDING ZOLT, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, SZENT ISTVÁN Campus, KEVÉSTECHNIKA ÉS TRIBO-DIAGNOSZTIKAI MÉRŐK szak nappali/levelező* tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: 2023 év 10 hó 28 nap


Hallgató

NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom záróvizsgán történő védelemre javaslom / nem javaslom*.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: 2023 év 10 hó 28 nap


Belső konzulens

*Kérjük a megfelelőt aláhúzni!

KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

A VILGODING ZOLT (név) (hallgató Neptun azonosítója: L2N4UE) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védelemre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem³

Kelt: 2023 év 10 hó 28 nap


Belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

³ A megfelelő aláhúzendő.

10. Irodalom jegyzék

- [1] Abhay Kumar, Steven R. Schmid and William R. D. Wilson, "Particle Behavior in TwoPhased Lubrication," Wear 206 (1997) 130-135
- [2] Arconic-Köfém Mill Products Hungary Kft. belső előírás, munkautasítás
H-SOP-MH-004_Melegghengerlési szűrastervek
- [3] Arconic-Köfém Mill Products Hungary Kft. belső előírás, munkautasítás
H-SOP-MH-009_ Melegghengerlési emulzió kezelése
- [4] Dévényi György – Geleji Sándor – Kiss Ervin – Széki Pálma: Az acél képlékeny alakítása I. Vaskohászati Enciklopédia XII/1. kötet. Akadémiai Kiadó
- [5] Fledrich G., Kakuk Gy., Kári-Horváth A., Zsidai L.; Gépgyártástechnológia, Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar; Gödöllő, 2016;
- [6] Geleji, A.: Bildsame Formung der Metalle in Rechnung und Versuch. Akademie-Verlag, Berlin 1955. 334 – 336. old.
- [7] Geleji Sándor: A fémek képlékeny alakításának elmélete. Akadémiai kiadó, Budapest 1967
- [8] Harsányi József: A székesfehérvári Könnyűfémmű történetének 50 éve 1941-1991. Székesfehérvár, 1991. október. Belső kiadvány
- [9] J.A. Schey, "Tribology in Metalworking: Friction, Lubrication and Wear", American Society for Metals, Metal Park, Ohio 44073, 1983.
- [10] J. G. Lenard, "Tribology in metal rolling Keynote presentation forming group F", CIRP Annals-Manufacturing Technology Volume 49, Issue 2, (2000), 567-590.
- [11] J.G. Lenard, Z. Malinowski, Measurements of friction during the warm rolling of aluminum. J. Mat. Process. Technol. **39**, 357–371 (1993)
- [12] Kári-Horváth, A ; Pataki, T :Analysis of temperature in different cooling methods IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING Paper: 012017, 8 p. (2020)

-
- [13] Kári-Horváth, Attila ; Pataki, Tamás István ; Sarankó, Ádám ; Szilágyi, Nóra: A forgácsolóüzemek emulziókezelési "kaputól-kapuig" technológiájának felülvizsgálata, MEZŐGAZDASÁGI TECHNIKA LXIII. évfolyam : 2022. május pp. 29-31., 3 p. (2022)
- [14] Kári-Horváth, A ; Dr. Valasek, I: Demand of Energy for Chip Removal, MATERIALS SCIENCE FORUM 659 pp. 489-497., 9 p. (2010)
- [15] Kiss Ervin szerk.: Képlékeny alakítás. Tankönyvkiadó, Budapest, 1987.
- [16] Magyar alumíniumipari tröszt: Alumíniumipar II., Budapest, 1980
- [17] P.A. Munther, J.G. Lenard, A study of friction during hot rolling of steels. Scand. J. Metall. **26**, 231–240 (1997)
- [18] Prunet-Foch B, Legay-Desequelles F, Vignes-Adler M (1991) Dynamics of spreading of industrial oil-in-water-emulsions on steel surfaces. J Mater Sci 26:369–382
- [19] Schey JA (1984) Tribology in metal working friction, lubrication and wear. American Society for Metals, Metals Park [10]
- [20] T. Mang, W. Buss, Lubricants for rolling, in *Lubricants and Lubrication*, ed. by T. Mang, W. Dresel (Wiley-VCH, Weinheim, 2007), pp. 606–622
- [21] Valasek, István; A, Kári-Horváth :The action mechanism of minimum lubrication and the increase of its efficiency, TRIBOLOGIE UND SCHMIERUNGSTECHNIK 58: 3 pp. 34-47., 14 p. (2011)
- [22] Valasek István: Tribológiai kézikönyv Tribotechnik Kft, Budapest 1996
- [23] Voith Márton: A képlékenyalakítás elmélete – Nagy alakváltozások tana. Egyetemi Kiadó, Miskolc, 1998.
- [24] W. L. Roberts,” Hot rolling of steel”, Marcel Dekker, Inc., 1983
- [25] W. L. Roberts,” Flat processing of steel”, Marcel Dekker, Inc., 1988

11. Mellékletek jegyzéke

1. sz. melléklet: szűrőterv modell

