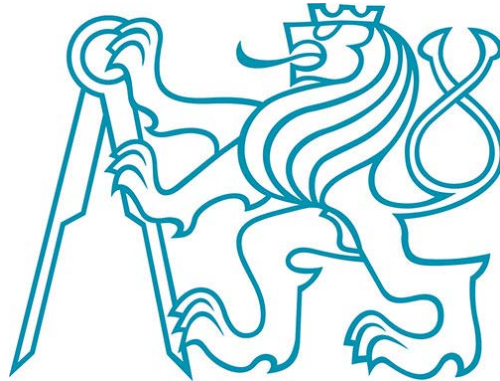


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

12132 Ústav materiálového inženýrství



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vliv teploty okolí na dobu zpracovatelnosti plechů z Al-slityny 2024

Autor: Valeriya Drachyova

Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Libor Beneš, IWE

Konzultant: Ing. Zdeněk Lebduška; Latecoere CZ, s.r.o.

Praha 2015



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro:	Valeriya DRACHYOVA
program:	Výroba a ekonomika ve strojírenství
obor:	Technologie, materiály a ekonomika strojírenství
název česky:	Vliv teploty okolí na dobu zpracovatelnosti plechů z Al-slitiny 2024.
název anglicky:	Influence of Ambient Temperature on the Processing Time for the Sheets of 2024 Aluminium Alloy.

Zásady pro vypracování:

Cíl:

Teoretické zhodnocení a následná experimentální verifikace základních mechanismů pro jevy, probíhající při procesu precipitačního vytvrzování hliníkové slitiny typu 2024. Důraz na jeho detailní časový průběh, zejména s ohledem na dobu skladování materiálu při různých teplotách - po předchozím provedeném rozpouštěcím žláhání.

Postup:

1. Provedení rešerše současného stavu řešené problematiky.
2. Popis mechanismů precipitačního vytvrzování u slitin Al (důraz na typ 2024) .
3. Materiálově-technologická specifika Al-slitin, zejména pak typu 2024.
4. Příprava experimentální části práce, výběr vzorků a jejich tepelné zpracování.
5. Provedení mechanických zkoušek u vybraných vzorků, jejich vyhodnocení.
6. Závěr, shrnutí a praktická doporučení, zejména s ohledem na dobu skladování, resp. režim technologického zpracování Al-slitiny v podmínkách Latecoere CZ, s.r.o.

Rozsah průvodní zprávy: 30 – 40 stran

Rozsah grafických prací: dle potřeby

SEZNAM DOPORUČENÉ LITERATURY:

- [1] Macek, K., Zuna, P., Janovec, J.: *Fyzikální metalurgie*. Vydavatelství ČVUT Praha, 2008, ISBN 978-80-01-02935-0.
- [2] Michna, Š., Lukač, I., Očenašek, V., Kořeny, R., Drapala, J., Schneider, H.: *Encyklopedie hliníku*. Vydavatelství ADIN Prešov, 2005, ISBN 80-89041-88-4.
- [3] Wamhitl, R.J.H., Eswara Prasad, W., Gokhale, A.A.: *ALUMINUM-LITHIUM ALLOYS Processing, properties, and applications*. Elsevier, Butterworth-Heinemann 2013, ISBN 978-0-12-401698-9.
- [4] Váňová, P., Sojka, J.: *Základy tepelného zpracování*. Studijní opora (přístupná on-line: http://www.fmfi.vsb.cz/export/sites/fmfi/cs/studium-a-vyuka/studijni-opory/636-Vanova_ZTZ.pdf), VŠB TU Ostrava, výstup z projektu 2184/2011/F1, Ostrava 2012.
- [5] Janovec, J., Cejp, J., Steidl, J.: *Perspektivní materiály*. Vydání třetí - přepracované, Vydavatelství ČVUT Praha, 2008, 143 s., ISBN 978-80-01-04167-3.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Dr. Ing. Libor Beneš, IWE

Konzultant bakalářské práce: Ing. Zdeněk Lebduška; Latecoere CZ, s.r.o.

Datum zadání bakalářské práce: 30. dubna 2015

Datum odevzdání bakalářské práce: 19. června 2015

Neodevzdá-li student bakalářskou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou práci podruhé.

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Zadání bakalářské práce převzal dne: 30. 4. 2015
student



.....
Prof. RNDr. Petr Špatenka, CSc.
vedoucí ústavu

.....
Prof. Ing. Michael VALÁŠEK, DrSc.
děkan fakulty

V Praze dne 28. dubna 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracovala samostatně. Veškerou literaturu a další zdroje, z nichž jsem při zpracování čerpala, v práci řádně cituji a jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne:

.....
Drachyova Valeriya

Poděkování

Chtěla bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu prof. Dr. Ing. Liboru Benešovi, IWE za možnost psát práci pod jeho vedením, za zájem, pomoc a cenné rady při její psaní.

Děkuji Ing. Zdeňku Lebduškovi za spolupráci a pomoc při získávání údajů pro experimentální část práce, za odborný dohled, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnoval.

Anotace

Jméno autora: Valeriya Drachyova

Název práce: Vliv teploty okolí na dobu zpracovatelnosti plechů z Al-slitiny 2024

Jazyk práce: Čeština

Akademický rok: 2014/2015

Škola: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta Strojní

Ústav: Ústav materiálového inženýrství

Program: Výroba a ekonomika ve strojírenství

Obor: Technologie, materiály a ekonomika

Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Libor Beneš, IWE

Konzultant práce: Ing. Zdeněk Lebduška; Latecoere CZ, s.r.o.

Zadovatel: LATECOERE Czech Republic s.r.o.

Klíčová slova: Slitina hliníku AlCuMg, tepelné zpracování, mechanické vlastnosti, tahová zkouška, elektrická vodivost

Anotace:

Hlavním cílem této bakalářské práce je popis průběhu procesu precipitačního vytvrzování hliníkové slitiny AW-2024, s ohledem na dobu skladování materiálu při různých teplotách po provedeném rozpouštěcím žíhání. Práce se skládá ze dvou částí, první je teoretická, ve které jsou shrnuty poznatky o slitině AW-2024, rozpouštěcím žíhání, vytvrzování a mechanických zkouškách. Druhá část je experimentální, ve které byly vyhodnoceny výsledky zkoušek ohybem, tahem a elektrické vodivosti.

Annotation

Autor: Valeriya Drachyova

Title of thesis: Influence of Ambient Temperature on the Processing Time for the Sheets of 2024 Aluminium Alloy.

Language: Czech language

Academic year: 2014/2015

University: Czech Technical University in Prague, Faculty of Mechanical Engineering

Department: Department of Materials Engineering

Program: Manufacturing and Economy in Mechanical Engineering

Field of study: Technology, Materials and Management of Engineering

Supervisor: prof. Dr. Ing. Libor Beneš, IWE

Consultant: Ing. Zdeněk Lebduška; Latecoere CZ, s.r.o.

Project owner: LATECOERE Czech Republic s.r.o.

Key words: Aluminium alloy AlCuMg, heat treatment, mechanical properties, tensile test, electrical conductivity

Annotation: The main objective of this thesis is the description of the precipitation process during hardening for aluminium alloy AW-2024, with regard to the duration of storage of the material at various temperatures, after realized dissolution annealing. The work consists of two parts; the first one is theoretical, in which the findings of the AW-2024 alloy, dissolution annealing, hardening process as well as mechanical tests are summarized. The second part is experimental, in which the test results were evaluated, after the bending, tension and electrical conductivity measurements.

Obsah

1 Úvod	9
2 Vlastnosti hliníku	10
2.1 Označování hliníku a slitin hliníku pro tváření podle ČSN EN (573-1)	11
2.2 Řada 2000-slitina Al-Cu	12
2.3 Označování stavu ČSN EN 515	12
2.4 Válcování hliníku a jeho slitin	13
3 Zařízení pro tepelné zpracování	15
3.1 Ohřívací pece	15
3.2 Pece na tepelné zpracování hliníku	16
4 Tepelné zpracování hliníku a jeho slitin	17
4.1 Definice	17
4.2 Způsoby tepelného zpracování hliníku a jeho slitin	18
4.3 Vytvrzování	19
5 Mechanické zkoušky	23
5.1 Tahová zkouška	23
5.2 Zkouška ohybem	24
5.3 Kapilární defektoskopická zkouška	24
5.4 Měření elektrické vodivosti	25
6 Experimentální část	27
6.1 Zkušební materiál	27
6.2 Tepelné zpracování	28
6.3 Skladování	31
7 Zkoušky materiálu	32
7.1 Měření elektrické vodivosti	33
7.2 Zkouška tahem	36
7.3 Zkouška ohybem	44
7.4 Nedestruktivní zjišťování vad	45
8 Závěr	47
Seznam použité literatury	48
Seznam příloh	49

1. Úvod

Tato bakalářská práce se věnuje procesu precipitačního vytvrzování hliníkové slitiny 2024 a tomu, jak se s časem mění mechanické vlastnosti dané slitiny při různých teplotách po rozpouštěcím žíhání.

V experimentální části budeme zkoušet vzorky z platovaného materiálu AlCuMg (dural), který je důležitým materiálem používaným v leteckém průmyslu. Z důvodu dobrých mechanických vlastností hlavně při nízkých teplotách pod bodem mrazu, malé hmotnosti, lomové houževnatosti, vykazuje dobrou elektrickou a tepelnou vodivost. Je snadno recyklovatelný. Tento materiál má dobré fyzikální, chemické a technologické vlastnosti, jedna z nich je dobrá schopnost k tváření za tepla i za studena. Z duralu se vyrábí široký sortiment polotovarů, plechy, pásy, lisované profily.

Slitina 2024 se používá na rámy, žebra, přepážky, výztuhy, aerodynamické kryty a jiné součásti draků pro letadla.

2. Vlastnosti hliníku

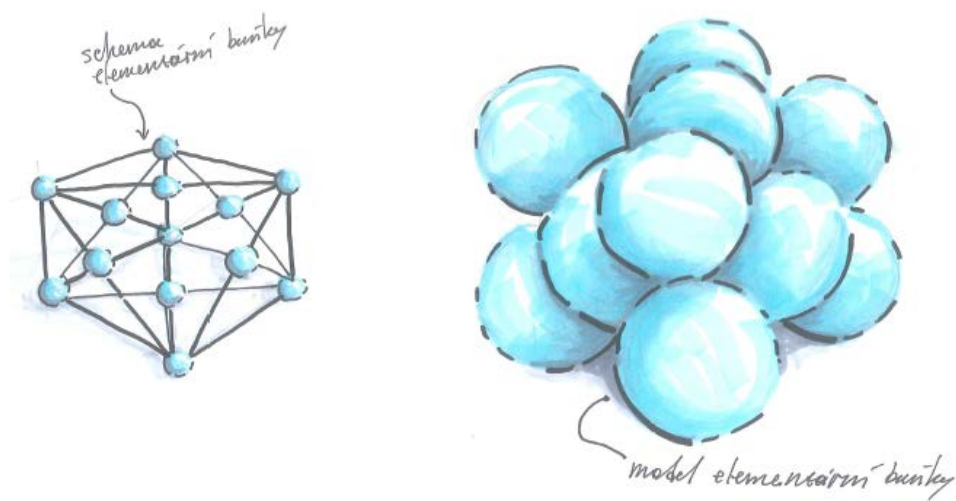
Hliník je kov bílé barvy, který krystalizuje v kubické plošně centrované mřížce (FCC). Díky ní má hliník dobré plastické vlastnosti jak za tepla tak za studena. Významná je jeho nízká hustota $\rho = 2700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ při teplotě $20 \text{ }^\circ\text{C}$, vysoká elektrická vodivost $2,65 \text{ }\Omega\text{mm}^2\cdot\text{m}^{-1}$, teplota tavení je $660 \text{ }^\circ\text{C}$ a dobrá korozivzdornost.

Čistý hliník je jako konstrukční materiál nepoužitelný (kromě elektrotechniky), protože má nízkou pevnost 50-80 MPa, mez kluzu od 22 do 30 MPa a dobrou tažnost 35-60%. Nízkou pevnost lze zvýšit buď tvářením za studena nebo legováním a vytvrzováním. Hliník se leguje přísadou prvků Cu, Mg, Si, Mn, Zn a Li, tyto prvky spolu s Al tvoří substituční tuhý roztok. [5]

Tab.2.1 Některé fyzikální vlastnosti hliníku [2]

Parametr mřížky	$a = 0,404958 \text{ nm}$
Tepelná vodivost	62% IACS (Al 99,0 %)
	65-66% IACS (Al 99,999)
Elektrický odpor	26,2 n Ω .m
Teplota varu	2494 $^\circ\text{C}$

Obr.2.1: Kubická plošně centrovaná mřížka



2.1 Označování hliníku a slitin hliníku pro tváření podle ČSN EN (573-1)

Tato norma popisuje systém číselného označování pro tvářené výrobky a ingoty určené ke tváření a mají označování EN AW s čtyřmi číslicemi. První číslice označuje slitinovou skupinu. [8]

Tab. 2.2 Základní skupiny slitin hliníku

Řada 1000	Al minimálně 99,00% a více
Řada 2000	Slitina AlCu
Řada 3000	Slitina AlMn
Řada 4000	Slitina AlSi
Řada 5000	Slitina AlMg
Řada 6000	Slitina AlMgSi
Řada 7000	Slitina AlZn
Řada 8000	Slitina Al s různými prvky

Druhá číslice se vztahuje ke změně legování ve vztahu k původnímu legování. Poslední dvě číslice nemají žádný zvláštní význam. Slouží pouze k identifikaci různých druhů legování.

Systém číselného značení slitiny EN AW-2024

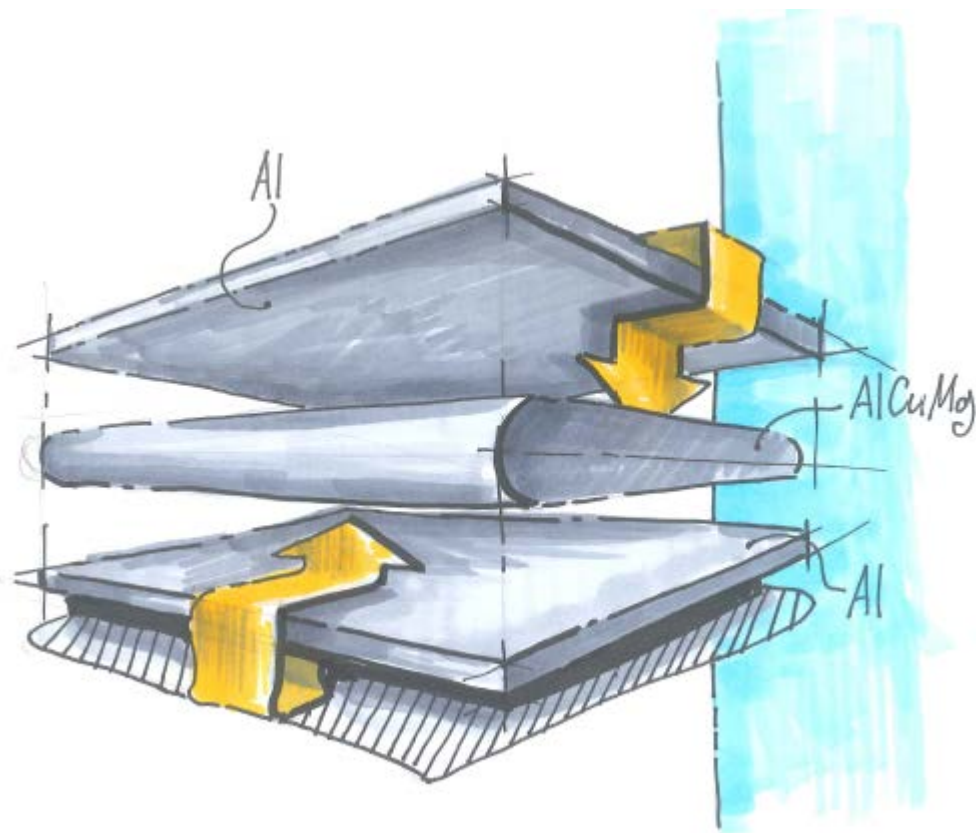
- předpona EN následována mezerou
- písmeno A určuje hliník
- písmeno W určuje tvářené výrobky
- spojovací čárka
- 2xxx označuje slitinovou skupinu hliník-měď
- 20xx označování změny legování
- 2024 určuje identifikaci různých druhů legování

2.2 Řada 2000-slitina Al-Cu

U slitin série 2000 je hlavním legujícím prvkem Cu, sekundárním je Mg. Měď je nejdůležitějším prvkem v hliníkových slitinách díky značné rozpustnosti v hliníku. Její účelem zvýšení pevnostních vlastností vytvrzováním, je udržována obvykle v mezích od 4 do 4,8 hm %. Často se při výrobě lehkých a pevných slitin používá přísada Mg. Zlepšuje

možností precipitačního vytvrzování a působí na zvýšení pevnosti po vytvrzení. Obsah hořčíku se pohybuje obvykle od 0,4 do 1,8 hm % (záleží na druhu slitiny). Slitina typu AlCuMg je nejpoužívanějším materiálem v letectví. Používá se na středně a silně namáhané součásti. Pro tuto slitinu používá název dural.

Nevýhodou skupiny 2000 je horší slévateľnost a nízká odolnost vůči korozi. Aby se zabránilo vzniku koroze pod napětím, plechy ze slitin série 2000 se často plátují oboustranně Al vysoké čistoty. Tím se dosáhne vysoké odolnosti vůči korozi a zlepši elektrickou vodivost. Tloušťka plátování od 2,5 do 5 % z celkové tloušťky plechu. [2,4]



Obr.2.2: Oboustranné plátování

2.3 Označení stavu ČSN EN 515

Za číselným značením následuje označení stavu materiálu. Základní značení se skládá z písmen, za kterými v některých případech následuje jedna nebo více číslic označujících úpravy nebo zpracování. [2,8]

F - stav z výroby, bez kontroly tepelných podmínek zpracování

O - úprava žíháním, požadovaných vlastností se dosáhne po tváření za tepla

H - úprava tvrzením

W – nestabilní stav po rozpouštěcím žíhání, spontánní stárnutí při pokojové teplotě

T - tepelně zpracováno

T - Toto písmeno se přidává za označení tvrditelných slitin. Za ním následuje číslo, které ukazuje specifický sled zpracování:

T1- po ochlazení ze zvýšené teploty tváření a přirozeném stárnutí

T2 - po ochlazení ze zvýšené teploty tváření, tváření za studena a přirozeném stárnutí

T3 – po rozpouštěcím žíhání, tváření za studena a přirozeném stárnutí

T4 – po rozpouštěcím žíhání a přirozeném stárnutí

T5 – po ochlazení ze zvýšené teploty tváření a umělém stárnutí

T6 – po rozpouštěcím žíhání a umělém stárnutí

T7 – po rozpouštěcím žíhání a umělém přestárnutí

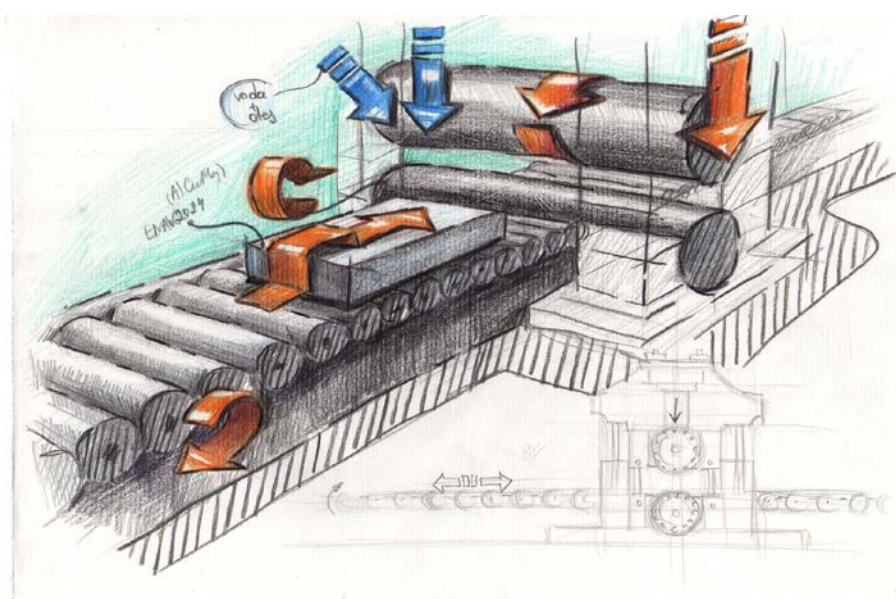
T8 – po rozpouštěcím žíhání, tváření za studena a umělém stárnutí

T9 – po rozpouštěcím žíhání, umělém stárnutí a tváření za studena

T10 – ochlazený ze zvýšené teploty, tváření za studena s následným umělým stárnutím

2.4 Válcování hliníku a jeho slitin.

Většina tvářených polotovarů z hliníku a jeho slitin se vyrábí válcováním.



Obr.2.3: Výroba tvářeného polotovaru válcováním

Válcování je proces, při kterém se tvářený materiál deformuje mezi otáčejícím se pracovními válci. Materiál se mezi válci deformuje, výška se snižuje, materiál se prodlužuje a rozšiřuje. Reguluje se rychlost, kterou válcovaný materiál z válcovací stolu vystupuje. Mezera mezi pracovními válci je menší, než vstupní rozměr materiálu. Výsledkem procesu je vývalek.

Plechý se válcují ve válcovacích stolicích s hladkými válci. Nejdříve se válcuje napříč, aby se dosáhlo potřebné šířky plechu a potom se plech otočí o 90° a válcuje se podélně. Tím se dosáhne stejnoměrné tloušťky. [2]

3. Zařízení pro tepelné zpracování

3.1 Ohřívací pece

Pece pro tepelné zpracování hliníku a jeho slitín je možné rozdělit na dvě velké skupiny, první je komorová pec (šachtová), druhá je pec kontinuální. Oba druhy pecí jsou vybaveny potřebným příslušenstvím pro možnost manipulace s materiálem. Zahrnuje regulační a kontrolní systém teploty, software pro řízení a analýzy tepelného zpracování, řídicí panely, v některých případech může obsahovat systém, který zajišťuje rovnoměrnost teploty v celém pecním prostoru. [2]

Rozdělení pecí můžeme provádět i z několika hledisek:

- Druh otopu: palivové
elektrické
- Teplota: nízkoteplotní do 600 °C
středně teplotní od 600 do 1100 °C
vysokoteplotní nad 1100 °C
- Atmosféra (v pecním prostoru): s atmosférou normální (vzduch)
s atmosférou řízenou
vakuové
- Pohyb vsázky: stabilní s přerušovaným provozem
Průběžné
- Technologický postup: popouštěcí
žíhací
víceúčelové
pro chemicko-tepelné zpracování

Konstrukce pece může být čistě jednoúčelová pro určitý druh výrobků a nebo zajistit univerzální provoz. Základní části pece jsou: vyzdívka
ocelová konstrukce
topný systém
manipulace s materiálem
regulace, měření a automatizace [7]

3.2 Pece na tepelné zpracování hliníku

Pece a jejich příslušenství jsou určeny k ohřevu polotovarů z hliníkových slitin na teplotu maximálně 600 °C a jejich tepelnému zpracování. Slitiny hliníku obvykle mají požadovanou rychlost ohřevu, dobu výdrží a následné ochlazení. Tyto požadavky je nutné dodržovat v úzkých, přesně vymezených tolerancích.

Pece jsou osazeny ventilátory. Nezbytná cirkulace vzduchu přispívá k rovnoměrnému rozložení teploty a rychlejšímu předávání tepla do vsázky. Podle požadovaného směru proudění buď vertikálního nebo horizontálního se ventilátory umísťují do stropu či boční stěny.

Teplota v peci je měřena termočlánky a je regulována digitálními mikroprocesorovými přístroji s regulací na nastavenou hodnotu, jednoduchou rampovou funkcí nebo programovatelnými regulátory.

Větší celky mají možnost regulace a archivace dat průmyslovým řídicím automatem na bázi PLC. Řídicí systém poskytuje:

- plně automatický provoz
- zobrazování a archivace zadávaných a skutečných hodnot měřených veličin
- sledování stavu
- vytváření a používání návodů a technologických receptů
- zálohování dat na nezávislé médium

Příslušenství pece:

- ochlazovací lázeň
- manipulátory
- elektrická řídicí skříň

U elektrických pecí je příkon spínán bezkontaktně pomocí solid state relé nebo tyristorových jednotek. Rozměr, příkon a provedení jsou individuálně posuzovány dle konkrétních technologických postupů, hmotnosti, vsázky a teplotních křivek. [6]

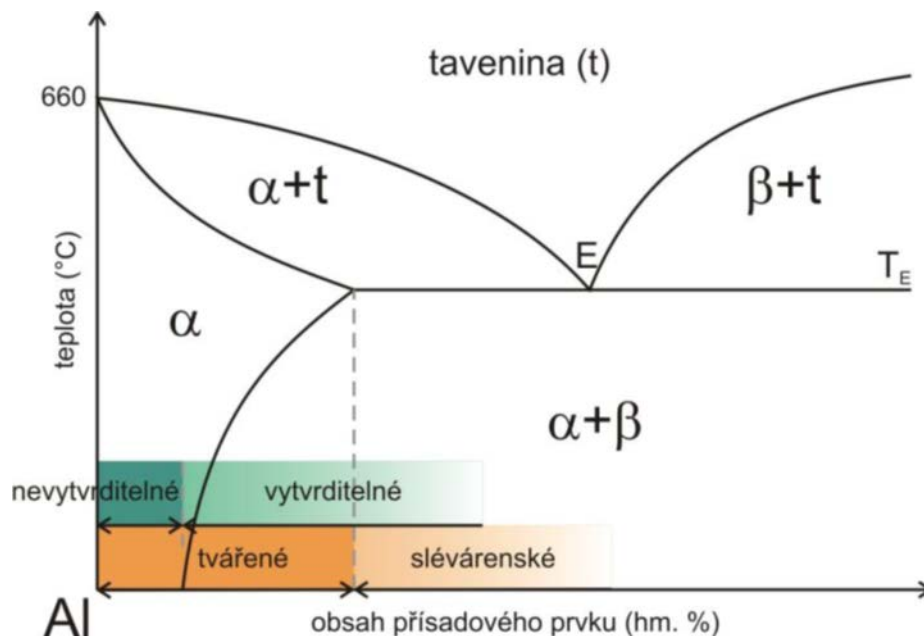
4. Tepelné zpracování hliníku a jeho slitin

4.1 Definice

- Ohřev-je děj, jimž se zvyšuje teplota materiálu na hodnotu nutnou pro další zpracování.
- Rychlost ohřevu - vzrůst teploty ohřívaného materiálu za jednotku času.
- Ochlazování – proces, při kterém se snižuje teplota materiálu na požadovanou teplotu.
- Rychlost ochlazování – snížení teploty ochlazovaného materiálu za jednotku času.
- Kritická rychlost ochlazování – je to taková rychlost, při které po rozpouštěcím žhání nenastává rozpad přesyceného tuhého roztoku.
- Výdrž – udržení materiálu na určité teplotě po dobu nezbytnou k provedení příslušného tepelného zpracování.[2]

Podle tepelného zpracování se hliník a jeho slitiny rozdělí do dvou skupin [4]:

- Nevytvrditelné slitiny (Al, AlMg, AlMn)
- Vytvrditelné skitiny (AlCuMg, AlMgSi, AlMgZn)



Obr.4.4: Slitiny hliníku [4]

4.2 Způsoby tepelného zpracování hliníku a jeho slitin

Rekrytalizační žihání – je způsob tepelného zpracování tvařeného kovu, dochází ke vzniku nové rekrytalizované struktury. Rekrytalizačním žiháním je možné měnit mechanické vlastnosti materiálu. Sníží se pevnostní vlastnosti a roste plastická vlastnost původně deformovaného materiálu. Žihání probíhá v rozmezí teplot mezi 250 °C a 500 °C. Teplota rekrytalizačního žihání závisí především na velikosti předcházející deformace za studena, a také na čistotě hliníkové slitiny (chemické složení). Slitiny, které nejsou schopny vytvrzování, po skončení rekrytalizace obvykle ochlazovány na vzduchu. Slitiny vytvrditelné je potřeba ochlazovat pomalu, jinak při ochlazování na vzduchu může dojít k částečnému přesycení tuhého roztoku a získání nerovnovážného stukturního stavu, a tím k zvýšení pevnostních vlastností. Odsranění stavu vzniklého deformací, z hlediska strukturních změn, probíhá třemi postupy:

- zotavení
- rekrytalizací
- růstem zrna

Zotavení – změny, které proběhnou v deformovaném materiálu před tím, než nastane rekrytalizace. Růst zrn nastává po ukončení přimární rekrytalizace.

1. Sekundární rekrytalizací (materiál zůstane na teplotě rekrytalizačního žihání)
2. Kritickým zpracováním

Žihání s částečnou rekrytalizací – je tepelné zpracování výrobků tvařených za studena. Vznika částečně rekrytalizovaná struktura. Teploty mají stejné rozmezí, jako je rekrytalizační žihání 250-500 °C. Ale při daném zpracování je nutné volit kratší čas, jinak může dojít k plné rekrytalizací.

Homogenizace – je nedelší tepelné zpracování, které probíhá při vysoké teplotě (blízké k teplotě solidu). Účelem je odstranit nebo snížit chemické heterogenity pomocí difuzních procesů. Doba žihání záleží na chemickém složení slitiny a její struktuře. Z hlediska struktury typu Al-Cu-Mg, se při krystalizací nedosáhne rovnovažnou strukturu, protože u slitiny EN AW-2024 vyskytuje nerovnovážný eutektik a v procesu homogenizace dojde ke složitým procesům. Výsledkem homogenizace je určitá optimální struktura a substruktura pro následující tvaření. [1,4]

4.3 Vytvrzování

Vytvrzováním lze měnit mechanické a technologické vlastnosti materiálu. Slitina musí mít výraznou změnu rozpoustnosti legujícího prvku. Přesycené tuhy roztok při zvýšených teplotách začne rozpadat a začne vylučovat tu fáze, která je bohatší na prvek, kterým je původní fáze přesycena. Při snížení teploty dojde k zmenšení rozpoustnosti prvků v tuhém roztoku, vznikne precipitující fáze. [1]

Vytvrzování je tepelné zpracování, které se skládá z:

- Rozpouštěcího žihání
- Ochlazení
- Stárnutí

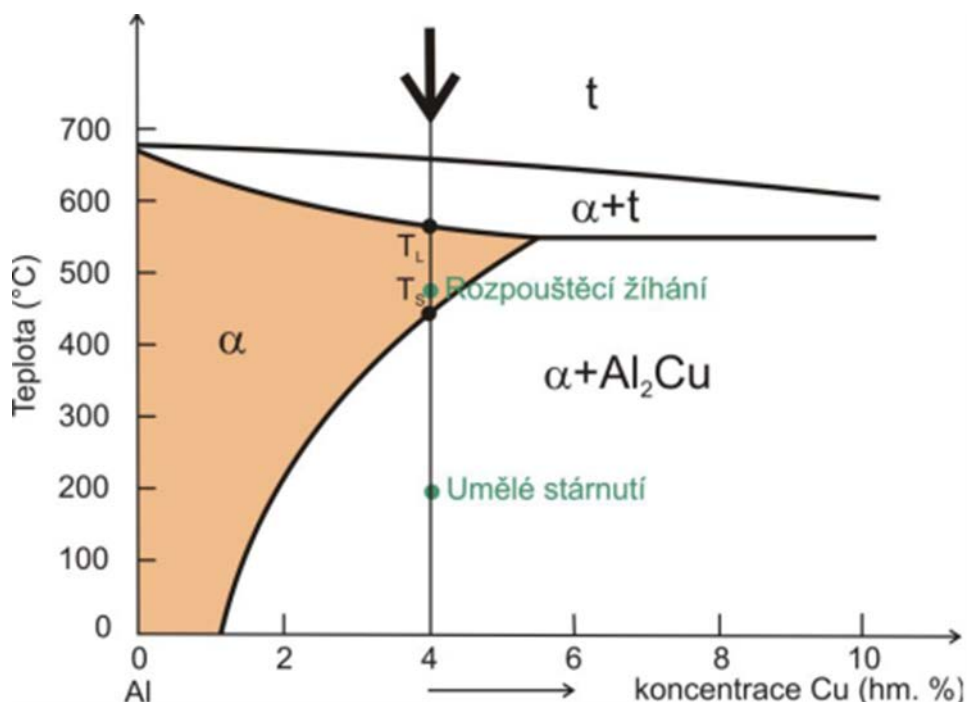
Při rozpouštěcím žihání proběhne ohřev na rozpouštěcí teplotu do oblasti homogenního tuhého roztoku, kde dojde k převedení intermetalických sloučenin do tuhého roztoku a výdrž na této teplotě. Teplota žihání se volí na hranici rozpustností přísady v tuhém roztoku. Při ohřevu nesmí dojít k přehřátí nad teplotu solidu, jinak proběhne natavení hranic zrn a znehodnocení materiálu. K jeho rozpadu dochází heterogenní fázovou přeměnou tzv precipitace.

Cílem rychlého ochlazení kritickou nebo nadkritickou rychlostí je vytvořit přesycený tuhý roztok. Kritická rychlost ochlazování je nejmenší rychlost ochlazování z rozpouštěcí teploty, při které nenastane rozpad přesyceného tuhého roztoku. Po ochlazení tuhý roztok se bude nacházet v nerovnovážném stavu. Rychlost ochlazování z rozpouštěcí teploty má vliv na korozní vlastnosti slitiny, v procesu může dojít k vyloučení precipitátu buď na hranicích nebo ve vnitřku zrn.

Stárnutí je proces, kde dojde ke změně substruktury a tím pádem ke změně mechanických a technologických charakteristik. Stárnutí se často nazývá precipitační vytvrzování, při kterém nastane rozpad termodynamicky nestabilního přesyceného tuhého roztoku a vzniku jemných precipitátů přísadových prvků. Stárnutím získáme maximálně možné vysoké pevnostní charakteristiky.

- Přirozené stárnutí (pokojová teplota)
- Umělé stárnutí (za zvýšených teplot)

Obr.4.5: Část binárního diagramu Al-Cu [4]

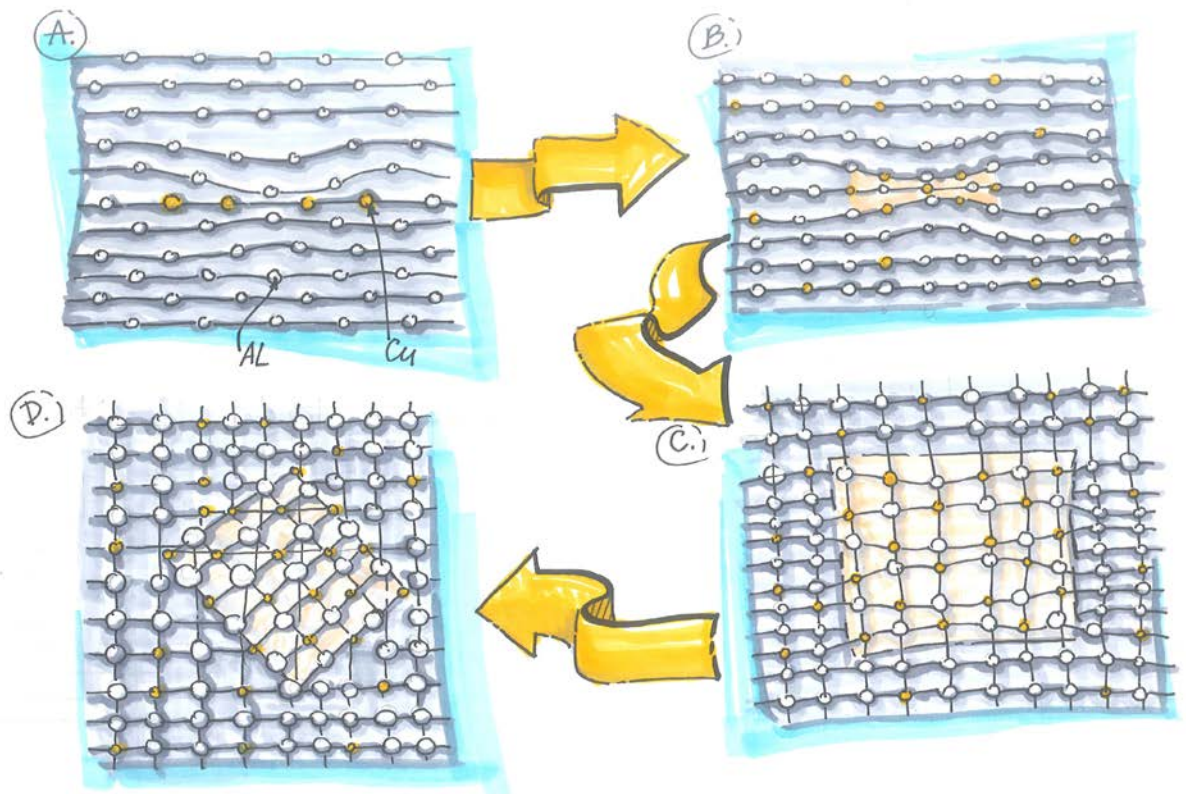


Po rozpouštěcím žihání a ochlazení do vody následuje přirozené stárnutí při teplotě 20 °C, která bude trvat 5 dnů.

Po rozpouštěcím žihání a ochlazení do vody následuje umělé stárnutí při teplotě 190 °C po dobu 12 hodin.

Procesy, které probíhají při stárnutí v soustavě Al-Cu se dělí na 4 etapy.

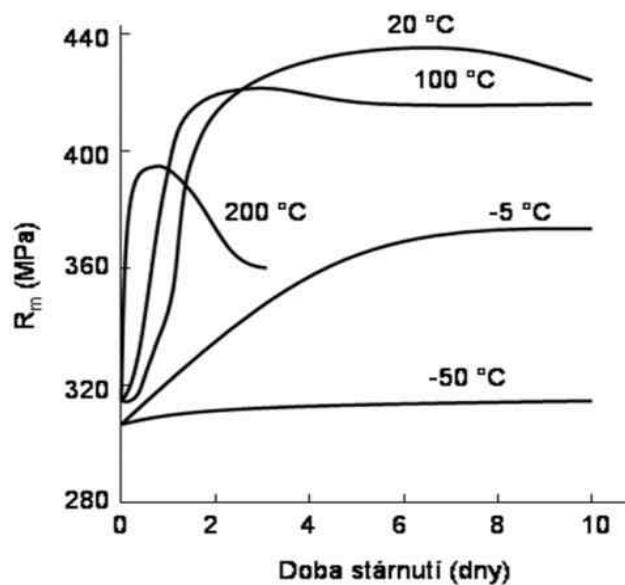
1. Vznik Guinierovy-Prestonovy zony. Typ rozhraní je koherentní. Obě mřížky na sebe přesně navazují. K nárůstu pevnosti a vzniku vnitřních napětí může dojít, když obě dvě fáze nemají stejný mřížkový parametr.
2. Rozhraní mezi fází a matricí je koherentní. Začne růst Guinierovy-Prestonovy zony ve směru své tloušťky.
3. Rozhraní je semikoherentní. Návaznost mřížek obou fází není dokonalá. Rozdíl v mřížkovém parametru je kompenzován tvorbou dislokací, která vede ke zvýšení pevnosti.
4. V přesyceném tuhém roztoku vzniká stabilní fáze. Rozhraní je nekoherentní. Neexistuje žádná návaznost mřížky precipitátu na mřížce matrice. Nedochozí k žádným deformacím mřížky a vzniku napětí. [1,2,4,5]



obr.4.6: Etapy stárnutí

a) Etap první, b) etap druhý, c) etap třetí, d) čtvrtý etap

Vyloučení precipitátů v tuhém roztoku má za následek změnu fyzikálních vlastností materiálu, je to změna elektrického odporu a změna měrného objemu. Z mechanických vlastností je pokles plastických vlastností a zvýšení meze kluzu, meze pevnosti a tvrdosti. [4]



Obr.4.7: Efekt teploty stárnutí na pevnost (EN AW 2024).[5]

Nejdůležitějšími technologickými parametry stárnutí je teplota a čas. Vliv těchto parametrů na pevnost duralu je zřejmý. Při umělem stárnutí se obvykle volí doba tak, aby se dosáhlo maximální pevnosti. Existují případy, kdy se volí delší doba, aby došlo k přestárnutí. Uměle stárnutí se používá u slitin se stabilnějším tuhým roztokem, jinak by došlo při teplotě okolí ke zvýšení pevnosti až po velmi dlouhé době. Uměle stárnutí probíhá v rozmezí 130 °C a 195 °C po dobu 4 až 12 hodin. Nestabilní tuhý roztok má tendenci se po určité inkubační době rozpadat za vzniku velmi jemných a rovnoměrně precipitátů intermetalických fází. Tyto precipitáty tvoří překážku pro pohyb dislokací a tím výrazně zlepšují pevnostní údaje slitiny. U slitiny AlCuMg dochází k precipitaci už při teplotě okolí- přirozené stárnutí, které trvá 5 dnů. [4,9]

5. Mechanické zkoušky

Popisují chování materiálu za působení vnějších sil. Z hlediska působení síly na zkušební vzorek rozdělujeme mechanické zkoušky [11]:

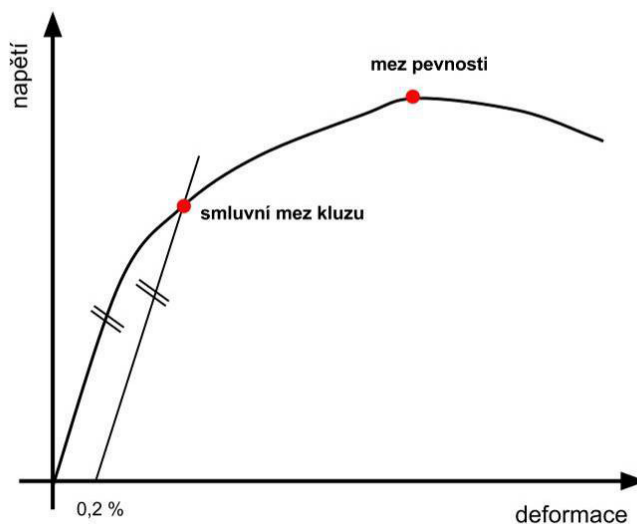
- Statické zkoušky (působení rovnoměrného zatížení na zkušební vzorek)
- Dynamické zkoušky (síla působí nárazově po zlomek sekundy)

Statické zkoušky se dělí:

- Zkouška v tahu
- Zkouška v tlaku
- Zkouška v ohybu
- Zkouška v krutu
- Zkouška ve stříhu

5.1 Tahová zkouška

Zkouška spočívá v deformaci zkušební vzorku tahovým zatížením do přetržení. Zkouška probíhá při teplotě v rozmezí od 10 °C do 35 °C. Během zkoušky je zaznamenována závislost zatížení [N] – prodloužení [mm] či závislost napětí [MPa]- prodloužení [%]. Z této závislosti a rozměru zkušební tělesa lze vypočítat základní mechanické vlastnosti materiálu. [3,11]



Obr.5.8: Tahový diagram [11]

Základní mechanické vlastnosti:

- **Rp0,2** [MPa] Smluvní mez kluzu - je to napětí, které způsobí 0,2 % trvalé deformace.

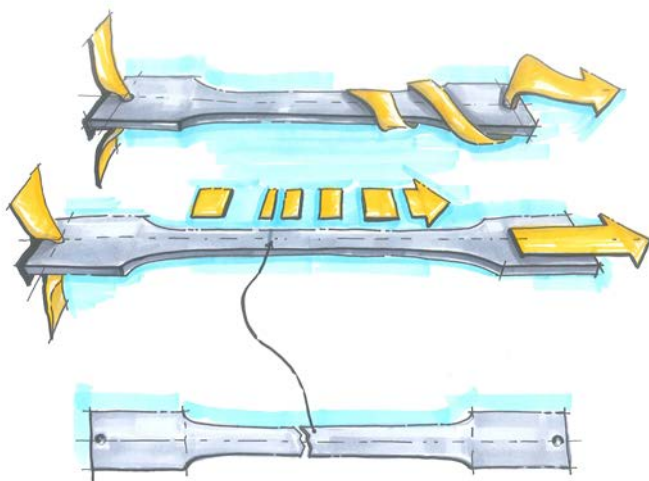
$$Rp0,2 = \frac{Fp0,2}{S_0}$$

- **R_m** [MPa] Mez pevnosti v tahu – napětí odpovídající největšímu zatížení F_m.

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

- **A** [%] Tažnost – poměrné trvalé prodloužení, při němž dojde k přetržení zkušební vzorku.

$$A = \frac{(L_u - L_0)}{L_0} \cdot 100$$



Obr. 5.9: Prodloužení vzorku

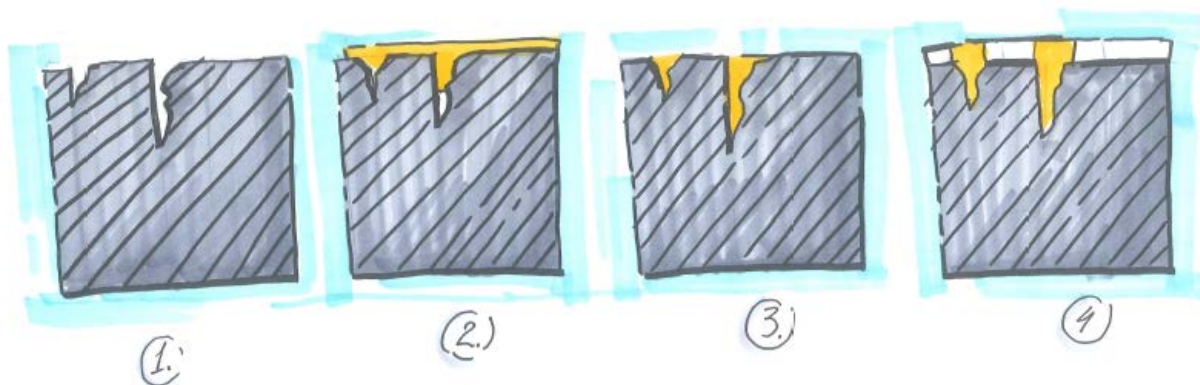
5.2 Zkouška ohybem

Zkouška ohybem se používá pro stanovení ohybových vlastností. Cílem zkoušky zjistit pevnost v ohybu R_{mo} [Mpa], maximální ohybový moment $M_{o\ max}$ [N/mm], průřezový modul v ohybu W_o [mm³]. Používá se hlavně při zkoušení křehkých materiálů, u houževnatých a tvárných materiálů nemá význam, protože nedojde k porušení zkušební tělesa (provádí se pouze jako zkouška technologická. [10])

5.3 Kapilární defektoskopická zkouška

Používá se pro detekci povrchových otevřených trhlin, zjišťují velmi malé trhliny. Princip metody je založen na kapilární elevaci. Vzorky se ponoří do kapaliny (penetrant). Penetrant pronikne po nanášení na povrch zkušební vzorku do trhliny. Penetrant, který vnikl do

trhliny a zůstal tam, sacím účinkem vývojky zpětně vzlíná k povrchu. Pomocí barvy, kterou obsahuje, indikují detekované vady. [12]



Obr.5.10: 1- povrchová trhlina, 2- detekční kapalina, vnikající do trhliny, 3- očištěný povrch, 4- detekční kapalina je nasávána do vývojky

5.4 Měření elektrické vodivosti

Neexistuje dokonale vodivý elektrotechnický materiál, každý elektrický vodič má nějaký elektrický odpor. Převrácená hodnota elektrického odporu je elektrická vodivost.

Odpor R [Ω], Elektrická vodivost G , jednotka S (Siemens).

$$G = \frac{1}{R} [S] \quad G = \frac{S}{p \cdot l}$$

Na elektrický odpor má vliv teplota elektrického vodiče. Když teplota stoupá tak stoupá i elektrický odpor. Velikost odporu vodiče závisí na geometrických rozměrech vodiče a na jeho materiálu. Měrný odpor p je číselně roven odporu vodiče z daného materiálu, který má délku 1 m, průřez 1 mm² a je změřený při základní teplotě +20 °C.

$$R = \frac{p \cdot l}{S} [\Omega, \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}, \text{m}, \text{mm}^2]$$

p = měrný odpor vodiče [$\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$]

l = délka vodiče [m]

S = průřez vodiče [mm²]

Elektrická vodivost se měří elektrickým měřicím přístrojem zvaným SIGMATEST. Je vířivoproudový přístroj, který poskytuje rychlé určení elektrické vodivosti neželezných kovů s vysokou přesností. Měřicí rozsah od 0,5 do 65 MS/m (od 1% do 112%). [13,14,15]

6. Experimentální část

CÍLE PRÁCE

Cílem bylo popsat proces precipitačního vytvrzování hliníkové slitiny 2024 s ohledem na dobu skladování materiálu při různých teplotách po provedeném rozpouštěcím žihání.

Úkoly:

- ✓ Provést tepelné zpracování zkušebních vzorků (rozpouštěcí žihání a ochlazení do vody)
- ✓ Před zkoušením u každého vzorku provést měření elektrické vodivosti materiálu
- ✓ Tahová zkouška, stanovit údaje R_m (Mez pevnosti v tahu), $R_{p0,2}$ (Smluvní mez kluzu), A_{50} (tažnost)
- ✓ Na části vzorků provést zkoušku ohybem a vyhodnotit trhlinky pomocí NDT kontrole
- ✓ Znázornit průběh závislosti R_m , $R_{p0,2}$, A_{50} , G na měnící se době skladování po provedeném rozpouštěcím žihání při teplotách skladování 25 °C a 35 °C.
- ✓ Zhodnotit vliv podmínek skladování na stav povrchu materiálu po provedení deformace.

6.1 Zkušební materiál

Pro experimentální část této práce bylo připraveno 75 vzorků z plátovaného plechů EN AW 2024. Vzorky svým tvarem a rozměrem odpovídaly požadavkům normy B557 (Standard Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum – and Magnesium – Alloy Products). Každý zkušební vzorek měl evidenční číslo LAB-4001-2024PL012 2688325.



Obr.6.11: Po vyjmutí z mrazícího boxu



Obr.6.12: Vzorky před mechanickými zkouškami

Tab.6.3 Chemické složení [viz. Příloha 1]

[%]	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Zr
min			3,8	0,30	1,2					
max	0,50	0,50	4,9	0,90	1,8	0,10	0,05	0,25	0,15	0,05

01215466	0,09	0,16	4,1	0,50	1,4	81*	0,02	0,17	0,02	0,01
Clad	0,12	0,25	40*	0,02	6*	25*	0,01	0,01	0,01	0,01

Tab.6.4 Výsledky zkoušek provedených dodavatelem materiálu

	Temper	R [MPa]	R0,2 [MPa]	A [%]
01215466/05	T 42	406	246	23

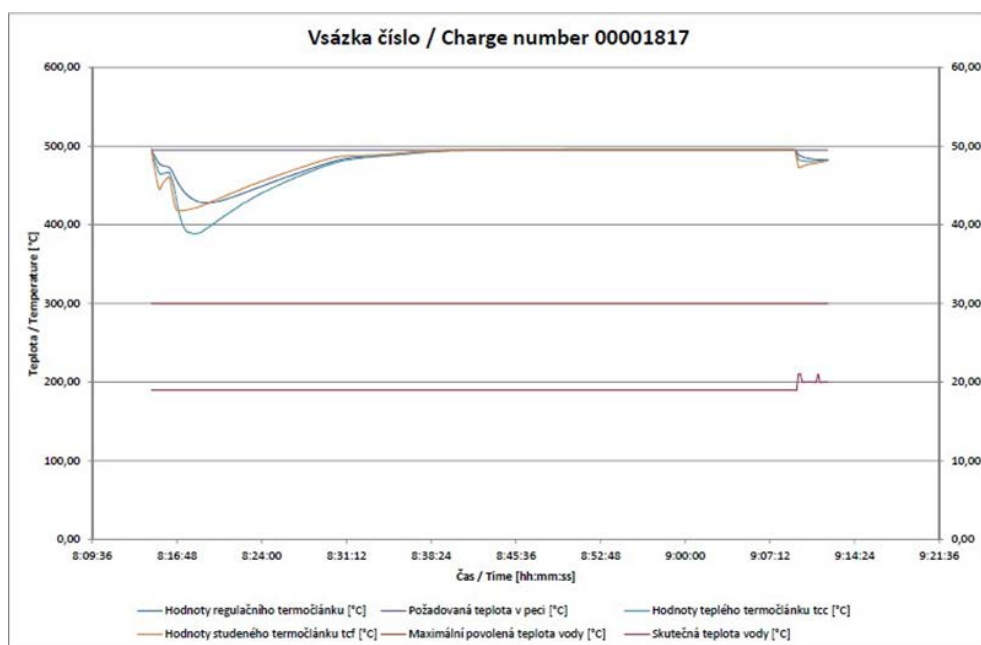
T42- zpracováno rozpouštěcím žiháním, přirozené stárnutí. Toto označení sděluje, že výše uvedené údaje (Rm, Rp0,2, A) byly dosaženy po rozpouštěcím žihání a přirozeném stárnutí.

Aby byl vidět rozdíl mezi materiálem po stárnutí a materiálem na kterém neproběhlo rozpouštěcí žihání, 5 vzorků bylo ponecháno jako referenčních (bez tepelného zpracování).

6.2 Tepelné zpracování

Průběh rozpouštěcího žhání:

- Nastavit teplotu v peci
- Zavěsit vzorky do klece
- Klec se vzorky umístit do peci
- Ohřev, výdrž
- Rychlé ochlazování do vodní lázně
- Přerušeni stárnutí



Obr.6.13: Graf průběhu tepelného zpracování [viz. Příloha 2]

Vzorek: tloušťka 1,2 mm



Obr.6.14: Vyvešeny zkušební vzorky před vytvrzováním

Nastavena teplota v peci: +495 °C

Teplota pece musí být dodržena v rozmezí ± 5 °C. Překročení teploty může znamenat znehodnocení materiálu, když teplota bude nižší, rozpouštění nebude dokonalé a materiál nezlepší své mechanické vlastnosti.



Obr.6.15: Elektrická vzduchová pec s ochlazením do vodní lázně

Výdrž: 33 min.

Dobu výdrže volíme dle požadavků zákazníka s ohledem na tloušťku plechu a to že se jedná o plátovaný materiál. Zbytečným prodloužením doby rozpouštěcího žhání dojde ke zhrubnutí krystalické struktury a zhorší se vlastnosti. Zároveň dochází k difuzi mědi z materiálu 2024 do povrchové plátovací vrstvy.

Ochlazování: +20 °C (do vody)

Rychlost ochlazování: 7 sekund

Čas ochlazování ve vodě: 1 min

Účelem je získat přesycený tuhý roztok za normální teploty. Pokud rychlost ochlazování bude menší může dojít částečně k segregaci na hranicích zrn. Pak má materiál nižší pevnost, tažnost a menší odolnost proti korozi.

Po tepelném zpracování byly vzorky ihned uloženy do mrazáku s teplotou $-46,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, tímto krokem dojde ke zastavení procesu vytvrzování. Doba pobytu materiálu při této teplotě se nezapočítají do doby skladování při $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $35\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obr.6.16: Část plechů po ochlazení ve vodní lázni



Obr.6.17: Zmrazeny vzorky materiálu 2024

6.3 Skladování

Abychom nasimulovali reálný výrobní proces, umístíme vzorky před provedením každé zkoušky do prostředí s řízenou teplotou +25 °C a +35 °C (klimakomora).

Obr.6.9: Stárnutí vzorků v klimatizační komoře



Obr.6.8: klimakomora VC 0018



Zkušební vzorky byly rozděleny do čtyř skupin. První skupina jsou vzorky s teplotou skladování +25°C a dobou skladování 5, 10, 30, 60, 90 a 120 minut. Druhá skupina má stejnou dobu skladování, ale teplotu +35 °C. Třetí skupina je Referenční skupina (F), ve které je 5 vzorků, které nebyly podrobeny rozpouštěcímu žíhání. Do čtvrté skupiny patří vzorky Referenční skupiny (T42), na kterých bylo provedeno rozpouštěcí žíhání a po uplynutí 96 hodin při teplotě skladování +23 °C byly vzorky podrobeny zkouškám.

7. Zkoušky materiálu

7.1 Měření elektrické vodivosti

Elektrická vodivost G (S) je veličina, která popisuje schopnost látky vést elektrický proud. Její úroveň měříme pomocí přístroje SIGMATEST. Před vlastním měřením provádíme kalibraci na čtyřech kalibračních etalonech. Měřicí rozsah přístroje je stanoven jeho kalibrací. Na jejím základě přístroj upraví své vnitřní měřicí funkce. Hodnota elektrické vodivosti je po měření zobrazena na LCD displeji, jednotky elektrické vodivosti jsou MS/m vedlejší jednotky jsou [% IACS].



Obr.7.10: čtyři kalibrační etalony



Obr.7.11: SIGMATEST

Postup zkoušky:

- Zapnout přístroj
- Zkalibrovat přístroj
- Přiložit sondu přístroje na zkušební vzorek
- Odečíst zobrazenou hodnotu elektrické vodivosti
- Měření každého vzorku probíhá 3 krát, při teplotě +23 °C (po stabilizaci teploty vzorku vyjmutého z klimakomory na teplotu okolí v laboratoři)

Tab.6.5 Výsledky měření elektrické vodivosti [% IACS]

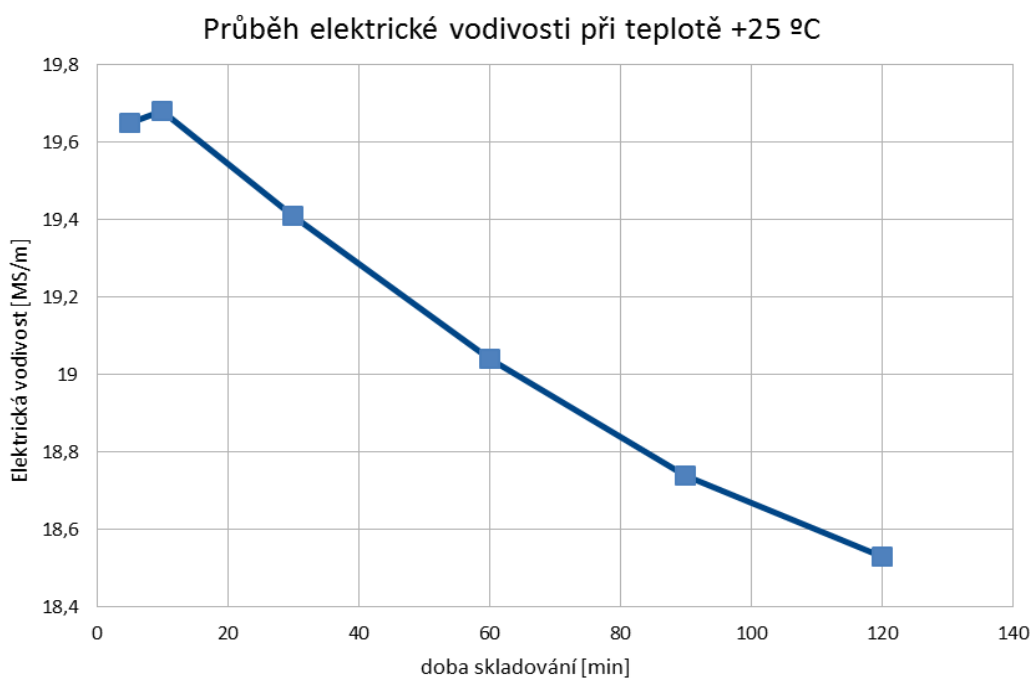
	Číslo vzorku	Teplota +25 °C Skladování			Číslo vzorku	Teplota +25 °C Skladování			Číslo vzorku	Teplota +35 °C Skladování			Číslo vzorku	Teplota +35 °C Skladování		
5 min	13	33,03	33,86	33,77	24	33,99	33,88	33,99	31	33,24	33,41	33,42	29	33,13	33,36	33,34
	11	34,05	33,89	33,89	22	34,14	34,04	33,91	33	33,27	33,39	33,41	68	33,38	33,48	33,44
	8	33,94	33,85	33,94					48	33,50	33,58	33,49				
	Prům.	33,88								33,39						
10 min	25	34,11	34,19	33,97	59	33,99	33,98	34,00	26	33,33	33,29	33,29	28	32,53	33,06	33,02
	23	34,08	33,94	33,97	53	33,78	33,69	33,69	30	32,95	33,09	32,96	55	33,02	33,06	33,19
	21	34,12	33,92	33,74					27	32,81	32,87	33,09				
	Prům.	33,95								33,04						
30 min	17	33,26	33,21	33,24	58	33,50	33,54	33,66	32	31,84	31,73	31,81	41	31,70	31,78	31,97
	12	33,43	33,86	33,44	60	33,72	33,52	33,33	34	31,73	31,66	31,86	56	32,04	32,07	32,00
	10	33,37	33,43	33,38					43	31,89	32,09	32,05				
	Prům.	33,46								31,88						
60 min	18	32,79	32,82	32,69	54	32,88	32,94	32,83	35	31,27	31,21	31,36	42	31,17	31,36	31,44
	14	32,72	32,72	32,81	61	32,94	33,02	32,88	37	31,14	31,27	31,12	63	31,51	31,62	31,55
	6	32,80	32,65	32,82					44	31,15	31,34	31,27				
	Prům.	32,82								31,32						
90 min	19	32,30	32,15	32,22	57	32,41	32,52	32,47	36	31,09	31,07	31,27	46	31,50	31,41	31,36
	15	32,29	32,33	32,20	66	32,33	32,34	32,23	38	31,17	31,04	31,23	64	31,50	31,29	31,42
	9	32,15	32,24	32,33					45	30,87	31,10	31,06				
	Prům.	32,30								31,23						
120 min	20	31,92	31,89	31,72	70	31,87	31,79	31,77	39	30,86	31,02	31,11	47	30,94	31,03	30,97
	16	32,17	32,07	32,07	69	31,93	31,94	32,03	40	30,85	30,75	30,87	67	31,14	31,18	31,15
	7	32,00	31,92	31,95					49	30,93	31,01	31,02				
	Prům.	31,94								30,99						

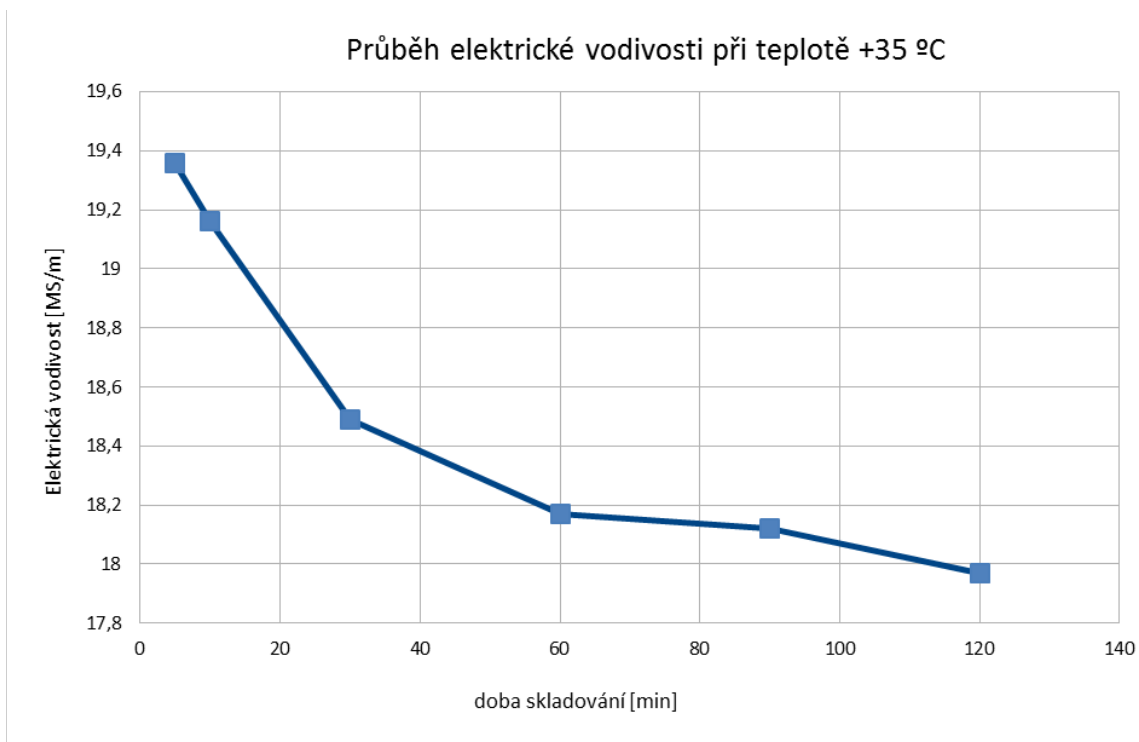
Tab.6.6 Výsledky měření elektrické vodivosti [% IACS]

Číslo vzorku	Referenční skupina (F) (2)			Číslo vzorku	Referenční skupina (T42)		
112	28,89	29,06	29,22	1	31,05	31,05	30,79
113	29,29	28,99	29,44	2	31,03	31,05	31,12
114	29,00	28,89	29,09	3	30,58	30,82	30,89
115	29,33	29,37	28,96	4	31,17	31,25	30,90
116	29,25	29,40	29,08	5	31,03	31,14	30,95
	29,15				30,99		

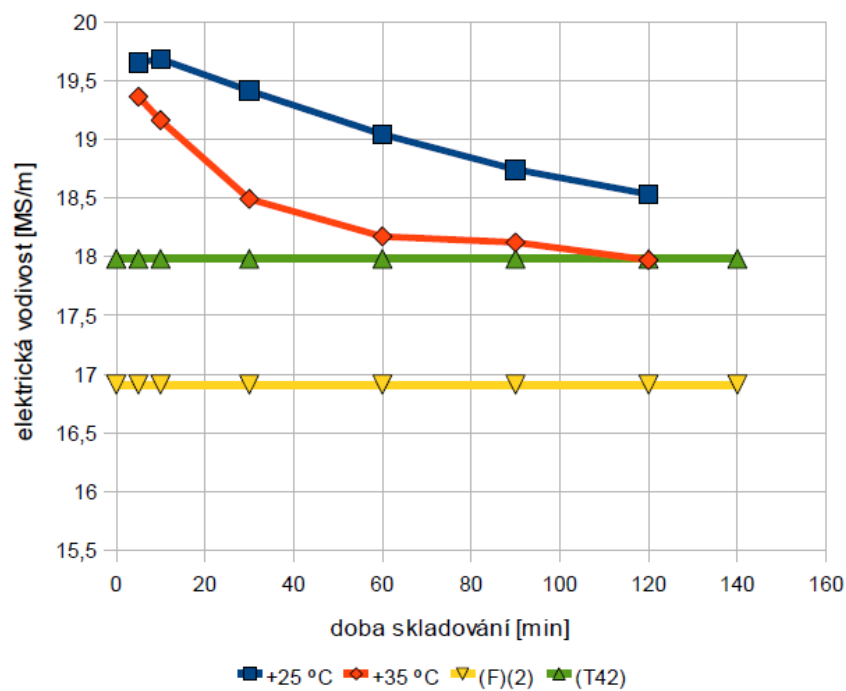
Tab.6.7 Průměrné hodnoty [MS/m]

Doba skladování [min]	Teplota +25 °C skladování		Teplota +35 °C skladování	
	[% IACS]	MS/m	[% IACS]	MS/m
5	33,88	19,65	33,39	19,37
10	33,95	19,69	33,04	19,16
30	33,46	19,41	31,88	18,49
60	32,82	19,04	31,32	18,17
90	32,30	18,74	31,23	18,12
120	31,94	18,53	30,99	17,98
Referenční skupina	(F) (2)		(T42)	
	29,15	16,91	30,99	17,98

**Obr.7.12**



Obr.7.13



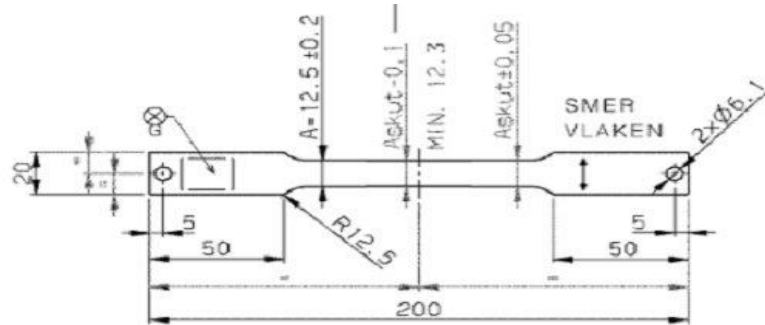
Obr.7.14

Pozn. Skupiny referenční (F) a referenční (T42) jsou uváděny pro srovnání (nebyly skladovány v klimakomoře při řízené teplotě).

7.2 Zkouška tahem

Zkouška spočívá v deformaci zkušebního tělesa tahovým zatížením do přetržení pro stanovení mechanických vlastností: mez pevnosti R_m , smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$, tažnost A50.

Pro tahovou zkoušku bylo připraveno celkem 42 vzorků.



Použité zařízení:

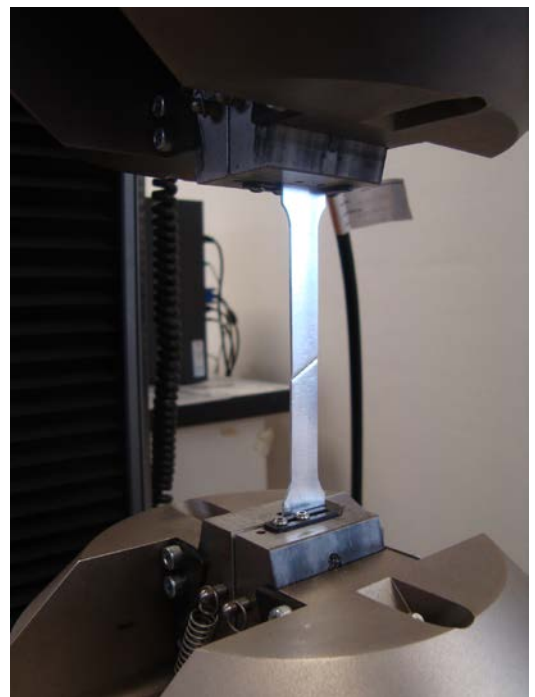
- trhací stroj INSTRON 5982 (zařízení slouží k ověřování mechanických vlastností materiálu. Maximální síla stroje 100 kN. Konstrukce: uzavřený rám s pohyblivým příčnickem, na kterém je umístěn tenzometrický snímač síly a zařízení pro upnutí vzorků.
- extenzometr (průtahoměr) (Citlivý snímač na měření poměrného prodloužení vzorku. Připíná se přímo na zkušební vzorek)



Obr.7.15: trhací stroj INSTRON 5982



Obr.7.16: Připnutý extenzometr



Obr.7.17: Přetržený vzorek

Postup měření:

- 5 vzorků bylo umístěno do klimakomory (pro první skupinu byla zadána teplota +25 °C, pro druhou skupinu +35 °C) na 5, 30, 60, 90 a 120 minut.
- Po uplynutí doby skladování byla na vzorcích provedena zkouška elektrické vodivosti.
- Mikrometrem byla změřena v pěti místech šířka a tloušťka zkušební vzorku. Stanovený aritmetický průměr byl zadán do počítače řídicího průběh zkoušky.
- Pro výpočet poměrného prodloužení na zkušebním vzorku byly na vzorek před zkouškou vyznačeny rysky ve vzdalenosti 50 mm.
- Zkušební vzorek byl upnut pomocí hydraulických čelistí (tak, aby zatížení působilo pouze v jedné ose).
- Na vzorek byl připnut průtahoměr, který byl odebrán po stanovení $R_{p0,2}$
- Během tahové zkoušky ve zkušebním vzorku vzniká napětí a prodlužuje se. Číselná hodnota napětí je určena jako podíl síly a plochy.
- V průběhu zkoušky řídicí software vykresluje diagram, který zobrazuje závislost poměrného prodloužení na napětí.
- Po přetržení byl vzorek ze stroje odebrán
- Vyjmout z čelisti trhacího zařízení obě části vzorku
- Obě části vzorku přiloženy k sobě a změřeny posuvným měřítkem vyznačené rysky pro A50.

Nejdříve byly zpracovány vzorky referenční skupiny (F2), které nebyly podrobeny rozpouštěcímu žihání. Obr. LAB-4001 2024PL-012 W 1508-(číslo vzorku) SAP2673377

Tab.7.8 Výsledky tahové zkoušky

Referenční skupina (F)	Číslo vzorku	Rp 0,2% [MPa]	Rm [MPa]	A [%]
	113	249,03	273,63	5,58
	115	249,59	276,30	6,68
	116	248,58	276,39	5,70
	Prům.	249,07	275,44	5,99

Poté byla zpracována referenční skupina (T42), doba skladování 14 dní.

LAB-4001 2024PL-012 W1513-(číslo vzorku) SAP 2688325

Tab.7.9 Výsledky tahové zkoušky

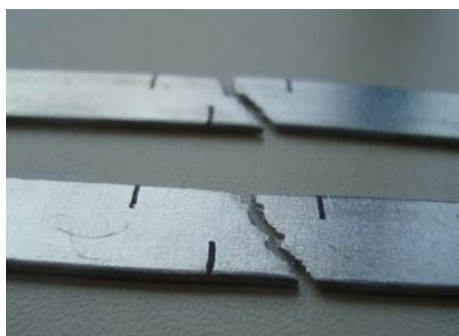
Referenční skupina (T42)	Číslo vzorku	Rp 0,2% [MPa]	Rm [MPa]	A [%]
	2	258,23	429,73	23,92
	3	257,70	422,00	24,10
	5	259,57	420,99	24,26
	Prům.	258,50	424,24	24,09



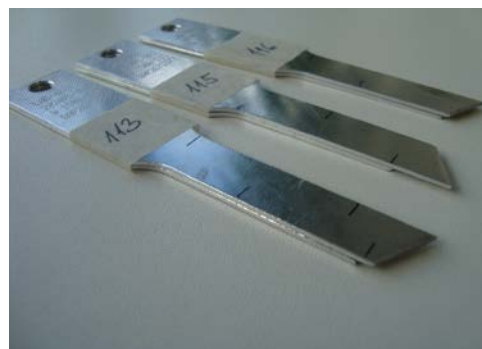
Obr.7.18 Referenční skupina (F)



Obr.7.19: Prodloužený vzorek



Obr.7.20: Vzorek po přetržení



Obr.7.21: Vzorky po ukončení tahové zkoušky

Tab.7.10 Tahová zkouška ASTM E8/ASTM B557/EN 2002/1

Doba skladování	Číslo vzorku	Teplota +25 °C			Číslo vzorku	Teplota +35 °C		
		Rp 0,2 [MPa]	Rm [MPa]	A [%]		Rp 0,2 [MPa]	Rm [MPa]	A [%]
5 min.	8	140,42	318,98	24,26	31	147,76	347,09	24,86
	11	118,02	322,61	27,14	33	149,11	351,28	26,14
	13	123,91	326,16	28,00	48	150,64	349,90	26,54
	Prům.	127,45	322,58	26,47	Prům.	149,17	349,12	25,85
10 min.	21	122,68	324,65	25,34	26	157,61	357,22	26,00
	23	119,02	326,66	25,26	30	165,13	357,05	25,38
	25	120,43	326,37	25,60	27	162,71	357,11	25,76
	Prům.	120,71	325,89	25,40	Prům.	161,82	360,11	25,71
30 min.	10	142,03	314,18	26,54	32	198,76	383,06	24,80
	12	141,17	335,74	26,54	34	197,05	380,00	24,66
	17	148,67	340,14	24,82	43	193,30	379,46	24,04
	Prům.	143,96	330,02	25,97	Prům.	196,37	380,84	24,50
60 min.	6	179,85	358,85	27,60	35	218,82	398,81	23,50
	14	158,44	345,58	25,14	37	218,37	399,46	24,22
	18	154,88	343,60	23,36	44	216,21	397,92	24,46
	Prům.	164,39	349,34	25,37	Prům.	217,80	398,73	24,06
90 min.	9	194,85	375,83	26,48	36	229,75	408,69	23,04
	15	174,93	355,52	24,68	38	227,54	403,19	23,04
	19	173,93	356,74	23,46	45	225,56	403,86	23,68
	Prům.	181,24	362,70	24,87	Prům.	227,62	405,25	23,25
120 min.	7	208,95	389,49	27,98	39	234,46	411,22	22,72
	16	187,39	366,40	23,02	40	232,96	407,98	22,74
	20	185,13	365,61	23,20	49	232,45	408,03	24,02
	Prům.	193,82	373,83	24,73	Prům.	233,29	409,08	23,16

Rychlost zatěžování: V0=10mm/min; V1=0,5%/min; V2=6%/min

Hodnoty délky: Le=50mm; Lc=85mm; L0=50mm

Rp0,2 [MPa]- Smluvní mez kluzu, je to napětí, které způsobí 0,2 % trvalé deformace.

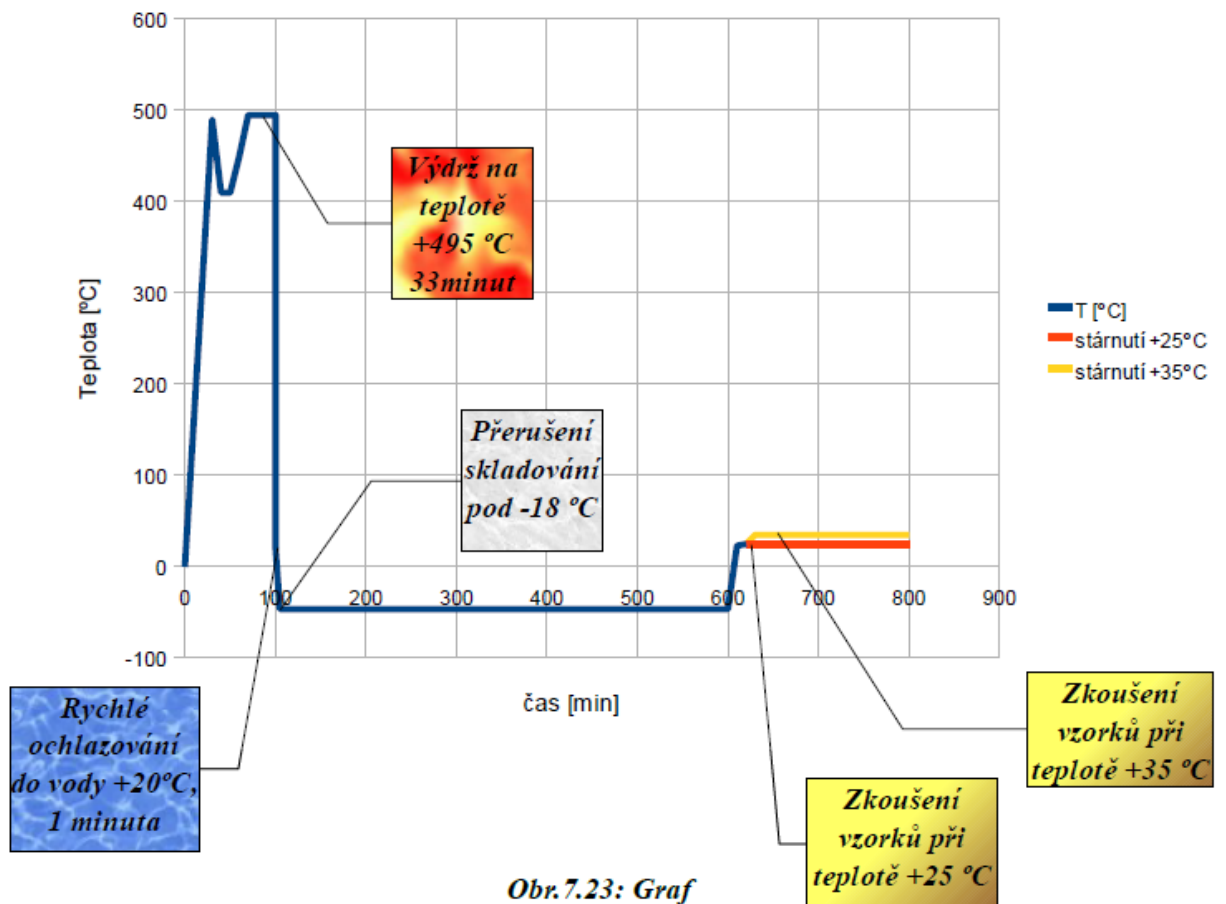
Rm [MPa]- Mez pevnosti, napětí odpovídající největšímu zatížení Fm.

A [%]- Tažnost- poměrné trvalé prodloužení, při němž dojde k přetržení vzorku.



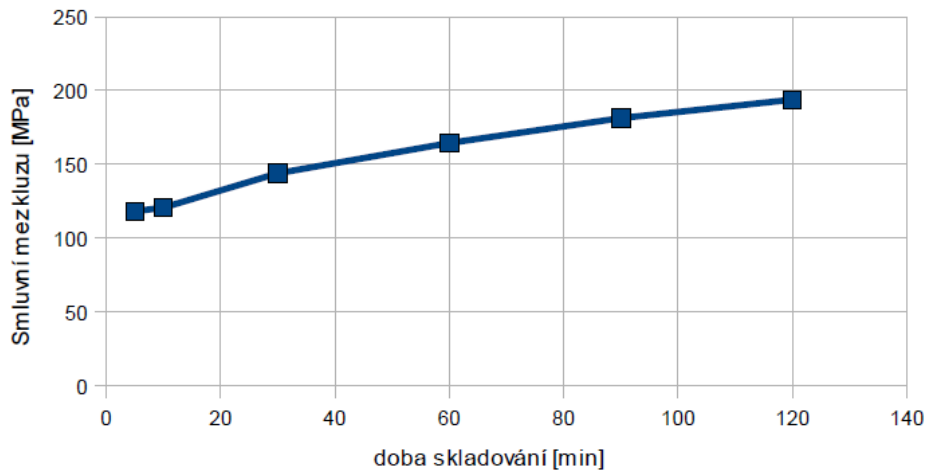
Obr.7.22: Vyzkoušené vzorky

Znázornění průběhu teplot při provádění experimentu

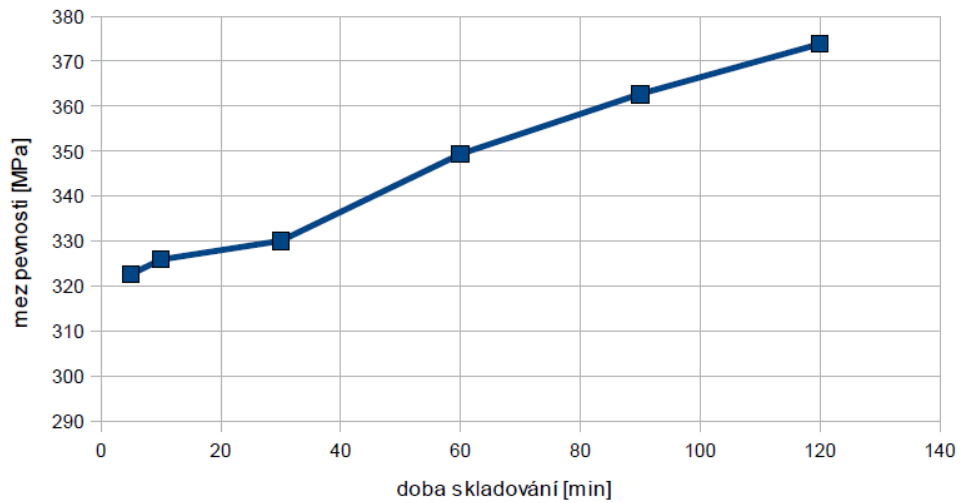


Obr.7.23: Graf

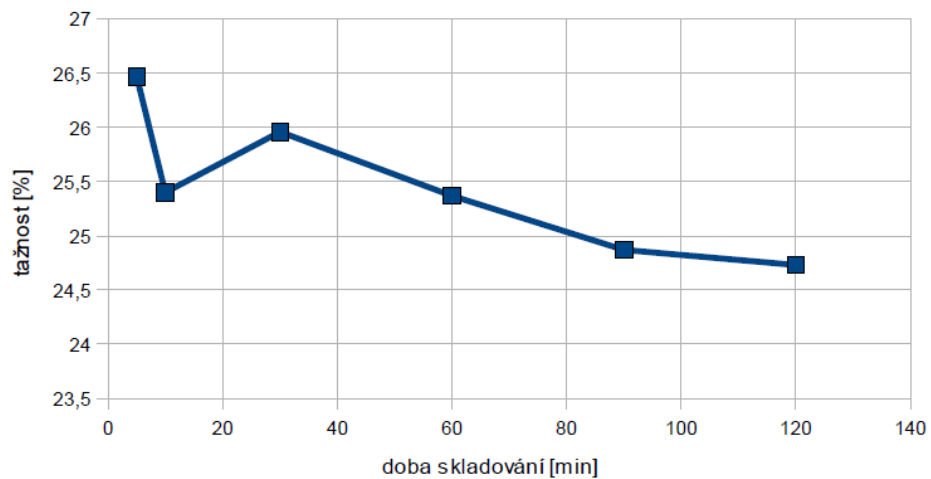
Průběh smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ při teplotě +25 °C



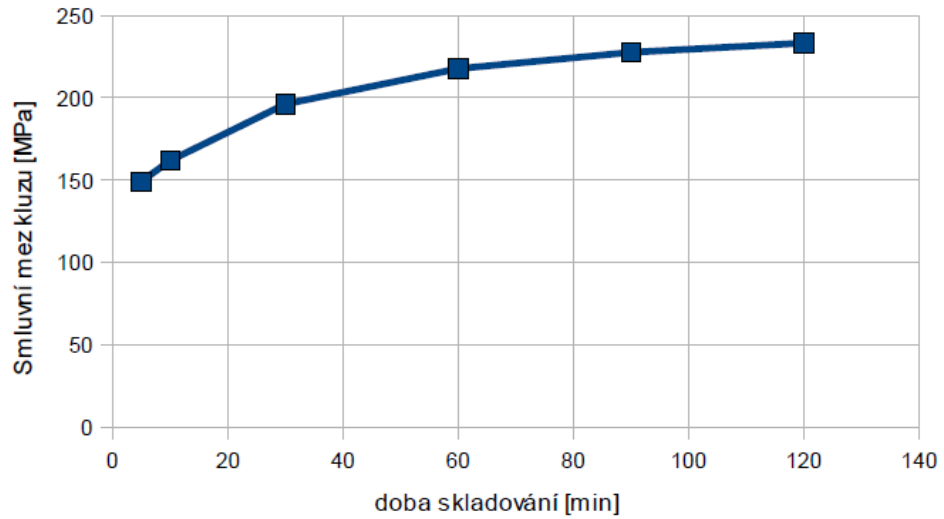
Průběh meze pevnosti R_m při teplotě +25 °C



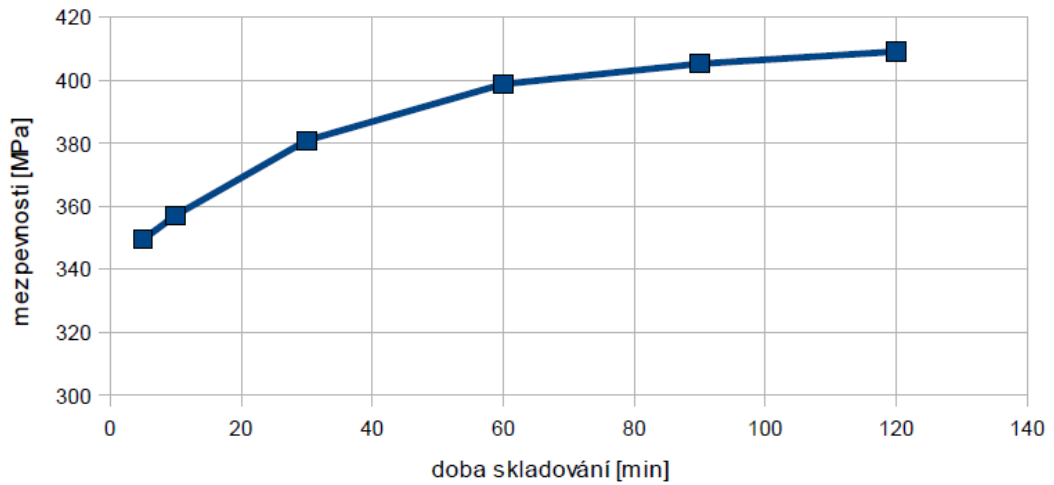
Průběh tažnosti A50 při teplotě +25 °C



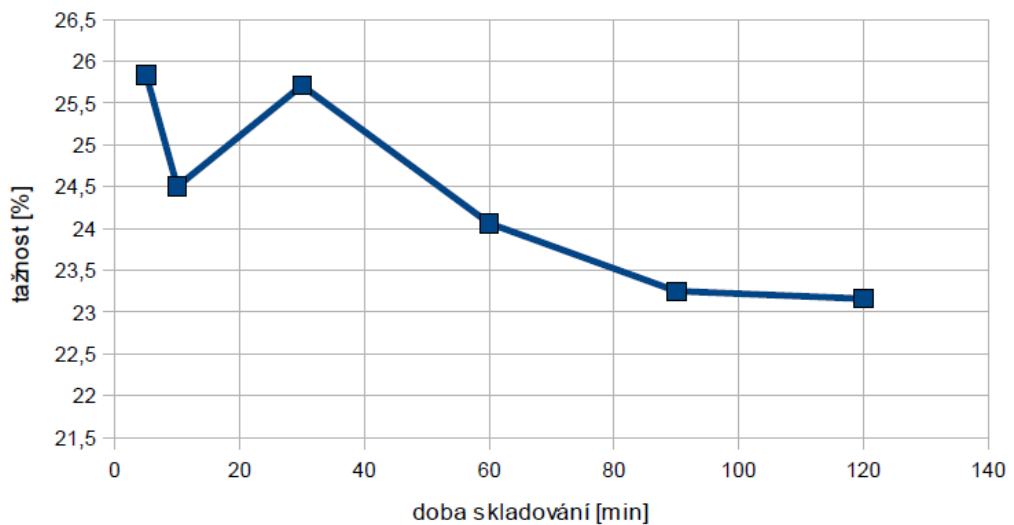
Průběh smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ při teplotě +35 °C



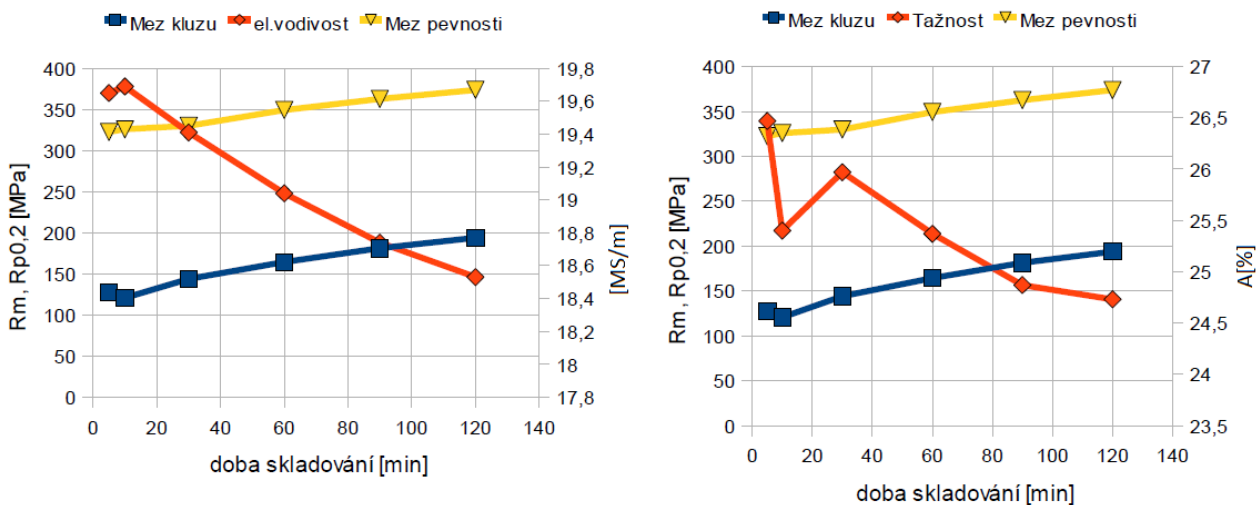
Průběh meze pevnosti R_m při teplotě +35 °C



Průběh tažnosti A50 při teplotě +35 °C

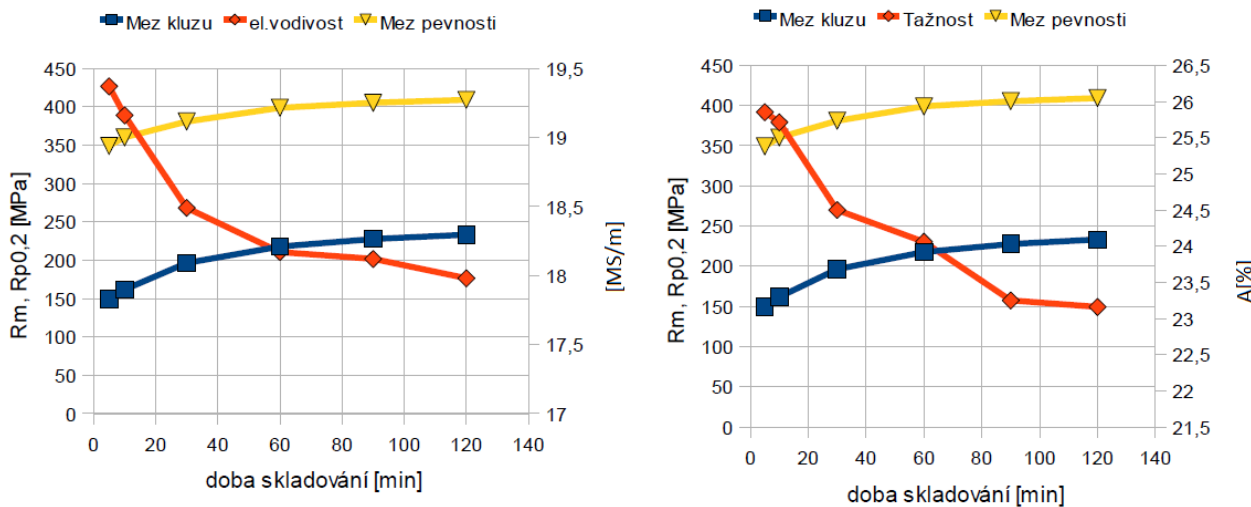


Průběhy meze kluzu, meze pevnosti, tažnosti a elektrické vodivosti s časem při teplotě skladování +25 °C



Obr.7.24

Průběhy meze kluzu, meze pevnosti, tažnosti a elektrické vodivosti s časem při teplotě skladování +35 °C



Obr. 7.25

7.3 Zkouška ohybem

Účelem této technologické zkoušky bylo zjistit trhliny, které vznikly při překročení R_m , při různých teplotách skladování a času. Bylo vyzkoušeno 32 vzorků, včetně Referenční skupiny (F) a Referenční skupiny (T42). Před zkouškou ohybem u vzorků byla změřena elektrická vodivost.

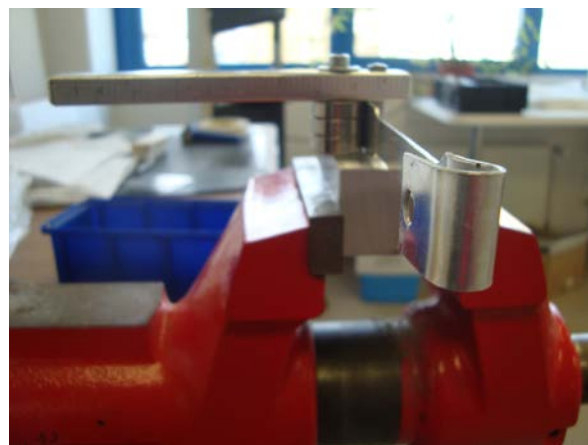
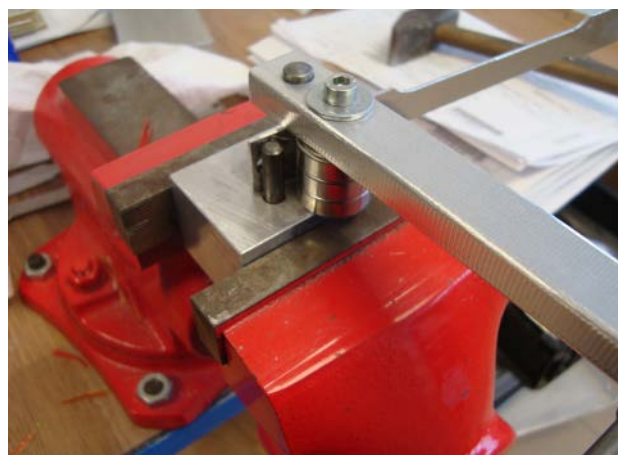
- Zkouška byla provedena ohybem vzorku přes trn $\varnothing 8$ mm na speciálním přípravku
- Upnout vzorek
- Otočit o 180°
- Vyjmout vzorek



Obr.7.26: Přípravek na ohyb



Obr.7.27: Ohnuté vzorky



Obr. 7.28,7.29: Vložený zkušební vzorek do přípravku pro zkoušku ohybem

7.4 Nedestruktivní zjišťování vad

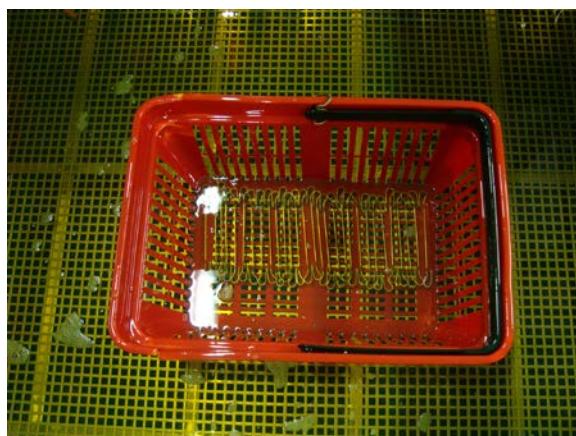
Po zkoušce ohybem následuje penetrační kontrola. Tato metoda se používá hlavně u nemagnetických materiálů. Umožňuje zjistit vady na povrchu materiálu. Je velmi citlivá na úroveň přípravy zkoušeného povrchu, proto je nutno před zkouškou dobře očistit od mechanických nečistot.

Postup:

- Vyčištěné vzorky ponoříme na 20 minut do penetrantu (indikační tekutina, fluorescenční kapalina). Doba 20 minut je nutná k tomu, aby penetrant vnikl do trhlinek.



Obr.7.30: Připravené vzorky



Obr.7.31: Penetrant

- Po uplynutí penetračního času následuje oplach. Je nutné ihned odstranit přebytek penetrantu, který nesmí zaschnout. Opláchneme a osušíme ohnuté vzorky.

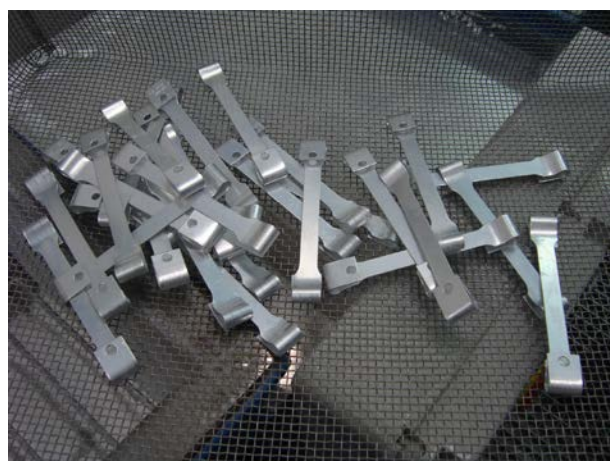


Obr.7.32 7.33: Sušení vzorku po odmaštění

- Po osušení se na povrch vzorků nanese detekční látka- vývojka (prášek), která vytahuje penetrant z trhlinek a zviditelňuje povrchovou vadu. Naprašování trvá to 20-25 minut. Potom následuje ofouknutí vzduchem.

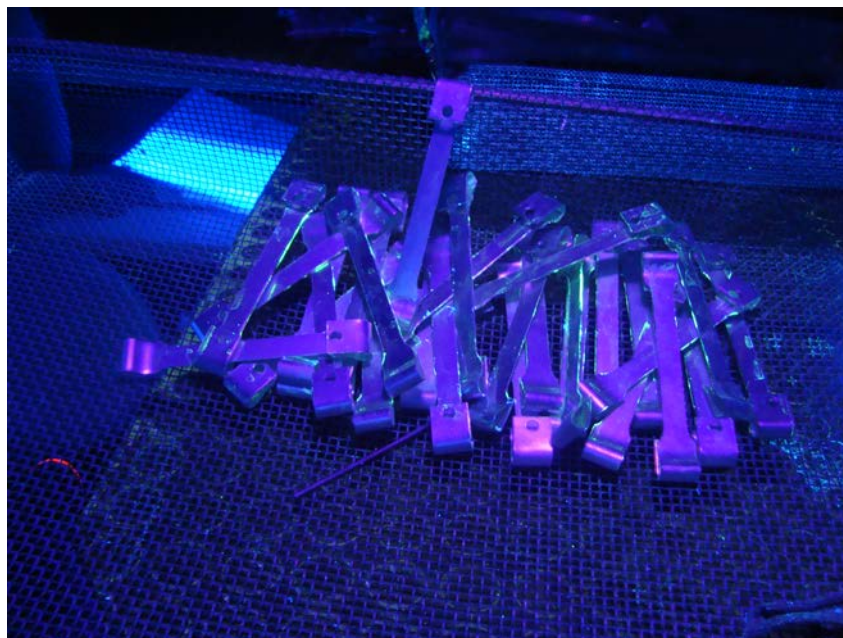


Obr.7.34: Vybavení pro nanášení vývojky



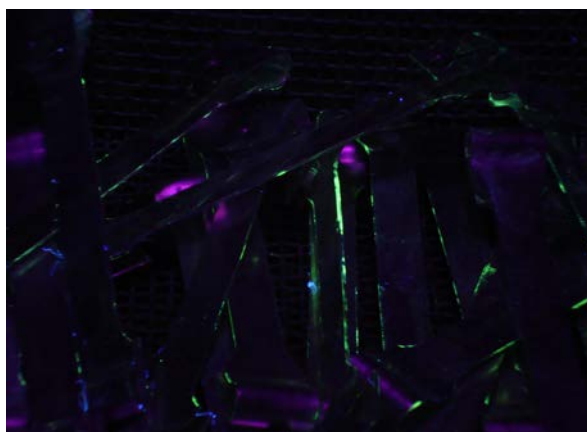
Obr.7.35: Vzorčky po ofouknutí vzduchem

- Kontrola vzorků probíhá ve tmě pod ultrafialovým světlem.

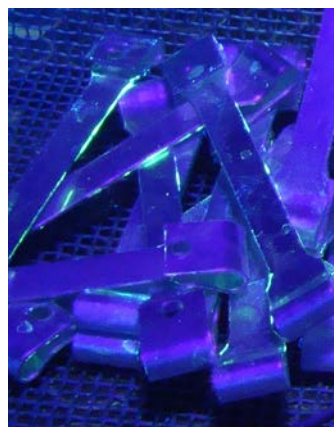


Obr.7.36: pod UV lampou

Na vzorcích vmístě ohybu nebyly zjištěny žádné indikace.



Obr. 7.37



Obr. 7.38

8. Závěr:

Cílem experimentální části bylo zjistit, jak se s časem se mění pevnostní charakteristiky materiálu EN AW 2024 po rozpouštěcím žihání v závislosti na teplotě skladování. Z vypracovaných grafů a záznamů naměřených údajů můžeme říci, že:

U zkoušky tahem vykazují vzorky, které byly stárnuty při teplotě +25 °C na intervalu od 5 do 120 minut, pomalejší růst mechanických vlastností než vzorky s teplotou skladování +35 °C. Při teplotě +25 °C a času skladování od 5 do 30 minut si materiál zachovává své hodnoty tažnosti, meze kluzu a meze pevnosti, což je důležité pro další tváření. Po 60 minutách po rozpouštěcím žihání a skladování při dané teplotě má materiál mez pevnosti 349,34 MPa, mez kluzu 164,39 MPa a tažnost 25,36% kvůli tomu při tváření může dojít ke vzniku vad.

Zkouška elektrické vodivosti ukázala, že s růstem doby skladování elektrická vodivost materiálu klesá. Při teplotě +35 °C elektrická vodivost klesá rychleji, než při teplotě +25 °C. Při teplotě +35°C dochází k rychlejšímu stárnutí. Už od 30 minut skladování má zkoušený materiál tažnost 24,5%, mez kluzu 196,37 MPa a pevnost 380,84 MPa.

Penetrační kontrola neobjevila žádné vady na povrchu vzorků po zkoušce ohybem ani jednoho vzorku. Znamená to, že nemůžeme tedy s jistotou říct za jakých podmínek došlo ke vzniku vad při deformaci tvářením. Pro další zkoušku navrhuji použití plechu o větší tloušťce nebo menšího průměru ohýbacího trnu (méně než 8 mm), by došlo při ohybu k většímu napětí v bodě ohybu. Tímto postupem by se na povrchu zkušební vzorku projevilí znatelnější trhlinky.

SEANAM POUŽITÉ LITIRATURY

- [1] Macek, K., Zuna, P., Janovec, J.: *Fyzikální metalurgie*. Vydavatelství ČVUT Praha, 2008, 143str. ISBN 978-80-01-02935-0.
- [2] Michna, Š., Lukač, I., Očenašek, V., Kořeny, R., Drapala, J., Schneider, H.: *Encyklopedie hliníku*. Vydavatelství ADIN Prešov, 2005, kapitola [1,2,5,6]. ISBN 80-89041-88-4.
- [3] Čižmárová, E., Horník, J., Jeníková, Z., Sobotová, J.: *Nauka o materiálu 1 a 2*, Vydavatelství ČVUT Praha 2014, 9 str. ISBN 978-80-01-05550-2
- [4] Váňová, P., Sojka, J.: *Základy tepelného zpracování. Studijní opora*, 120 str.(přístupná on-line: http://www.fmmi.vsb.cz/export/sites/fmmi/cs/studium-a-vyuka/studijni-opory/636-Vanova_ZTZ.pdf), VŠB TU Ostrava, výstup z projektu 2184/2011/F1, Ostrava 2012.
- [5] Janovec, J., Cejp, J., Steidl, J.: *Perspektivní materiály*. Vydání třetí – přepracované, Vydavatelství ČVUT Praha, 2008, 57 str. ISBN 978-80-01-04167-3.
- [6] *Linky pro tepelné zpracování hliníku* [online].[cit. 2015-05-07]
<http://www.realistic.cz/vyrobní-program/93-linky-pro-tepelne-zpracovani-hliniku>
- [7] Kraus, V., *Tepelné zpracování a slinování* [online].[cit. 2015-05-07]
<http://tzs.kmm.zcu.cz/TZSprcelk.pdf>
- [8] *Značení hliníku a jeho slitin* [online].[cit. 2015-05-19]
<http://www.begroup.com/cz/BE-Group-Czech-Republic/Produkty/Hlinik-1/znaeni-hliniku-a-jeho-slitin-v-stav/>
- [9] *Hliník a jeho slitiny* [online].[cit. 2015-05-19]
<http://www.bikebase.cz/attachments/276.pdf?PHPSESSID=46f35ede6a4ebb0795f187b554216804>
- [10] *Statické zkoušky* [online]. [cit. 2015-06-22]
<http://home.zcu.cz/~dyxon/DATA/Nauka%20o%20M/Zkouska.pdf>
- [11] *Mechanické zkoušky* [online].[cit. 2015-06-22]
http://www.sssebrno.cz/files/ovmt/tahova_zkouska.pdf
- [12] *Nedestruktivní defektoskopie v průmyslu* [online]. 2009 [cit. 2015-06-25]
<http://www.ndt.cz/?mnu=13,0>
- [13] *Konduktometrie* [online].[cit. 2015-06-27] <http://slideplayer.cz/slide/2744468/>
- [14] Tyrbach, J., *Elektrický odpor a vodivost měrný odpor a měrná vodivost*, SPŠ SaE Ústí n. L.,[online].[cit. 2015-06-27] http://web.telecom.cz/tyrbach/Odpor_a_vodivost.pdf
- [15] *Measurement of the Electrical Conductivity* [online].[cit. 2015-06-27]
<http://www.foerstergroup.com/SIGMATEST.171+M52087573ab0.0.html>

Seznam příloh

Příloha č. 1- ATEST 5001444743

Příloha č. 2- Analýza, vsáyka číslo 00001817

Příloha č. 3- Testing Parametrs

5001444743

SCAF +33(0) 240306750	N° BL N° Article N° PV CCI/Ligne	25684201 ✓ 13010636 1436_767274 256842.00 / 40 ✓	N° Ligne IP Ref. client N° IMA	01215466/05 4500180806 ✓	Date d'édition Client Qte livrée Page	20.01.2015 LATECOERES ✓ 707.52 2/2 ✓
-----------------------------	---	---	---	-----------------------------	--	---



CERTIFICAT DE RECEPTION
INSPECTION CERTIFICATE / ABNAHMEPRUFZEUGNIS
EN.10204 OCT.2004

Usine d'origine
LABORATOIRE de Contrôle
BP-42 - 01502 ESSEYRE Cedex
Tél. : 01 73 45 50 50
TELEXCO-01 : 01 73 45 50 26

COMMANDE CLIENT - Customer Order - Kundenbestellung		NUMERO-Nummer-Nummer: 767274 ✓		DESTINATAIRE - Destinataire - Empfänger		Cde Client/Client Code	Qte					
J-20140753 SCA FRANCE		SERVICE CENTRES AERO FRANCE NANTES CENTRE COMMERCIAL DE GROS 29 RUE DU BOIS BRIAND 44324 NANTES CEDEX 3 FRANCE		383766/02		AVIS D'EXPEDITION - Dispatch Note - Lieferschein 0081213040						
TOLE PLAQUE AERO 2024.PL F IS.5094.ORIG.10.1L11 (CONF1: 9048.130.ED1/ASN.A3042.H/ AMS.QQA250.5.B.02.2014/CONF2: LN.9073.ED.09.91/DAN.424.ED.07.89/ CONF3:ABS044H.ISSUE.S)---DIM: ✓ LONG: 2500/ LARG: 1250/ EP: 1,2 ✓				EMB: PAPIER PDS COLIS: 1000 KG NET RECEIPT: IS/--CERT: EN10204.3.1 NB: MATIERE : 3.1364/ F 20140753/20				Poids : 2198 KG 207 UNITES				
CAUSE Cause Kiste	ORDRE DE FABRICATION Manufacturing order Verfertigungslfz	PRODUIT Product Produkt	PLATEAU Shee Wabenteil	ETAT Temper Zustand	SENS Direction Richtung	ESSAIS DE TRACTION Tensile Tests Zugversuche			AUTRES ESSAIS Other tests Andere Proben			
						R Tensile Strength MPa	R 0.2 Yield Strength MPa	A 10 Elongation %				
609990	291392/001		01215466/05	T42 ✓	TL TL	413 402	256 245	22 21				
COMPOS - Comings Schmelze		COMPOSITION CHIMIQUE - Chemical Composition - Zusammensetzung										
Mati Mater												
		Autres : Chaque : 0,05% maxi, Total : 0,15% maxi, Aluminium : le reste										
Le Lot et infirm dans le colonne "Fusion" CLAD (partial) of the chemical composition are not spécifiable Accreditations NADCAP : AC7104, AC7114S, AC7101/2 AC7102A, AC7107A, AC7102, AC7102Z Ces éléments (sauf Mg, Ca, Zn > 1%) ne sont pas SFX Autres éléments -> dosage SFX		 		Nous certifions que, sauf exception, ce document est conforme à ce qui est spécifié dans les conditions de vente, les spécifications techniques du marché, les spécifications de l'acheteur et les spécifications particulières y relatives, aux plans, normes et règlements en vigueur et y rapportés. Ce certificat ne doit pas être reproduit, publié, mis en vente ou communiqué à des tiers. Per délégué du responsable qualité 13/10/14 CV By delegation of the Quality Manager IA des Qualitätsmanagern OBSERVATIONS DE LA SURVEILLANCE / Remarks of official inspector								

5001444743

SCAF +33(0) 240306750	N° BL N° Article N° PV CCIt/Ligne	25684201 ✓ 13010636 1436_767274 256842.00 / 40 ✓	N° Ligne IP Ref. client N° IMA	01215466/05 4500180806 ✓	Date d'édition Client Qte livrée Page	20.01.2015 LATECOERES ✓ 707.52 1/2 ✓
-----------------------------	--	---	---	-----------------------------	--	---



CERTIFICAT DE RECEPTION
INSPECTION CERTIFICATE / ABNAHMEPRÜFZEUGNIS
EN.10204 OCT.2004

Usine d'origine
L'ALUMIUM de Contrôle
LCP 42 - BUREAU VERITAS
Tél. : 01 73 59 50 50
TÉLÉPHONE : 04 73 55 54 25

NUMERO Number-Nummer: 767274 ✓		Cite CONSTELLIUM		CR
COMMANDE CLIENT-Customer Order - Kundenbestellung		DESTINATAIRE - Consignee - Empfänger		
J-20140753 SCA FRANCE		SERVICE CENTRES AERO FRANCE NANTES CENTRE COMMERCIAL DE GROS 29 RUE DU BOIS BRIAND 44324 NANTES CEDEX 3 FRANCE		383766/02
		AVIS D'EXPERIMENTATION - Dispatch Note - Liefschein		0081213040

TOLE PLAQUE AERO 2024.PL F ✓
IS.5094.ORIG.10.11.11 (CONF1:
9048.130.ED1/ASN.A3042.H/
AMS.QQA250.S.B.02.2014/CONF2:
LN.9073.ED.09.91/DAN.424.ED.07.89/
CONF3:ABSS044H.ISSUE.8)---DIM: ✓
LONG: 2500/ LARG: 1250/ EP: 1,2 ✓

EMB: PAPIER PDS COLIS: 1000 KG
NET RECEIPT: IS /---CERT:
ENI0204.3.1 NB: MATIERE : 3.1364/
F

Poids : 2198 KG
20140753/20
207 UNITES

CAISSE Case Kiste	ORDRE DE FABRICATION Manufacturing order Fertigungsauftrag	PRODUIT Product Produkt	PLATEAU Slab Walzstiel	ETAT Temper Zustand	SENS Direction Richtung	ESSAIS DE TRACTION Tensile Tests Zugversuche			AUTRES ESSAIS Other tests Andere Proben	
						R Tensile Strength MPa	R 0.2 Yield Strength MPa	A % Elongation %		
						406	246	23		
609988	291392/001	70 TOLES	01215466/05	T42	TL	406	246	23		
					TL	417	255	24		
					TL	402	248	21		
					TL	406	247	22		
					TL	413	256	22		
					TL	402	245	21		
609989	291392/001	70 TOLES	01215466/05	T42	TL	406	246	23		
					TL	417	255	24		
					TL	402	248	21		
					TL	406	247	22		
					TL	413	256	22		
					TL	402	245	21		
609990	291392/001	67 TOLES ✓	01215466/05 ✓	T42 ✓	TL	406	246	23		
					TL	417	255	24		
					TL	402	248	21		
					TL	406	247	22		

COMPOSITION CHIMIQUE - Chemical Composition - Zusammenfassung		SI	FE	CU	MN	MG	CR	NI	ZN	TI	ZR					
Mini	Maxi	0,30	0,50	3,8 4,9	0,30 0,90	1,2 1,8	0,10	0,05	0,25	0,15	0,05					
01215466	Clad	0,09 0,12	0,16 0,25	4,1 40*	0,50 0,02	1,4 6*	81* 25*	0,02 0,01	0,17 0,01	0,02 0,01	0,01 0,01					

Autres : Chaque : 0,05% maxi, Total : 0,15% maxi, Aluminium : le reste * en ppm

Le Lot est indiqué dans la colonne "Plateau"
CLA Designated if the chemical composition are not applicable
Accreditations NADCAP : AC7114, AC7114A, AC7101Z
, AC7101J, AC7101L, AC7102, AC7102Z
Cas généralisé l'ensemble de la norme EN 9100
Autres éléments voir page SEC

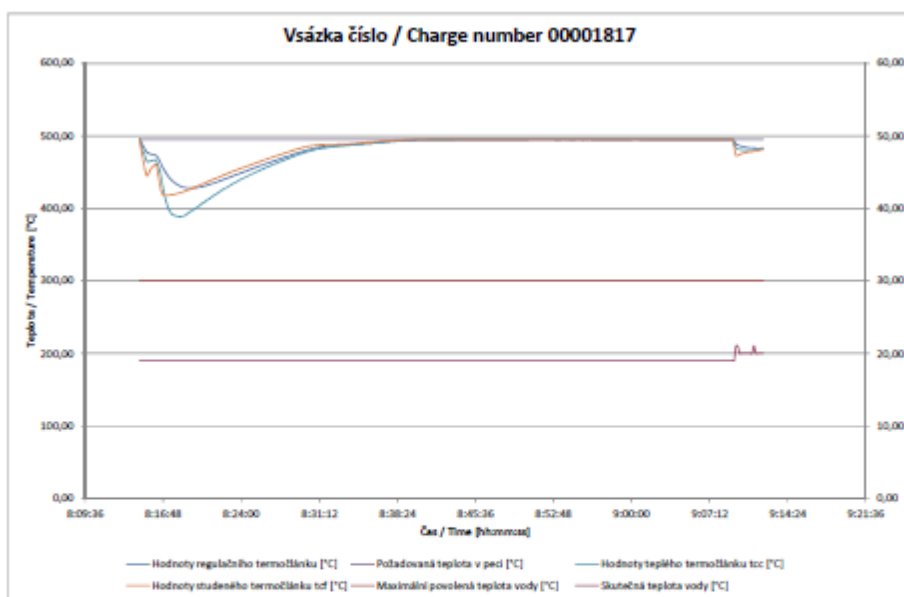


Nous certifions que, sans exception ou dérogation, matériaux et bases, la fabrication a été effectuée conformément aux spécifications techniques du marché, conforme au sous-commande du client et que, toutes opérations de contrôle et essais effectués, ont respecté SOUS TOUS SES ASPECTS, les spécifications particulières y jointes, aux plans, normes et règlements en vigueur s'y rapportant. Ce certificat de lot n'a été reproduit partiellement et sans accord préalable du laboratoire.

Par délégation du responsable qualité 13/10/14 CV
By delegation of the Quality Manager
LA des Qualitymanagers

OBSERVATIONS DE LA SURVEILLANCE / Remarks of official inspector

Příloha č.2



Statistika pro soaking time

Max	495,10	30,00	19,00	495,00	496,40	495,30
Min	490,30	30,00	19,00	495,00	490,40	491,80
Diff	4,80	0,00	0,00	0,00	6,00	3,50
Avr	494,68	30,00	19,00	495,00	495,79	495,01

Bod	Datum	Čís Ms	Hodnoty regulačního termočlánku [°C]	Maximální povolení teplota vody [°C]	Skutečná teplota vody [°C]	Požadovaná teplota v peci [°C]	Hodnoty teplého termočlánku tcc [°C]	Hodnoty studeného termočlánku tdf [°C]
-----	-------	--------	--------------------------------------	--------------------------------------	----------------------------	--------------------------------	--------------------------------------	--

Analyza záznamu parametrů ze vsázky číslo 00001817 pece číslo B1722A
(Analysis of the records from charge number 00001817 for furnace number B1722A)

Imported by: almova Date: 25. 03. 2015

nř	Grp	Sev	Date	Heure	Ms	Tr	Designation
1	3	1	25.3.2015	8:14:34	0	APP.	RECORD ORDER
2	1	1	25.3.2015	8:14:34	0	INT.	Start cycle : 3/25/2015 f 8:14:34 AM
3	1	1	25.3.2015	8:14:34	0	INT.	Cycle Type:QUENCHING
4	1	1	25.3.2015	8:14:34	0	INT.	Program name: PROGRAM 24
5	1	1	25.3.2015	8:14:34	0	INT.	Cycle name: 00001817
6	3	1	25.3.2015	8:16:26	0	APP.	Load in the oven
7	3	1	25.3.2015	8:16:33	0	APP.	End of homogenization,start of the cycle
8	3	1	25.3.2015	8:36:00	0	APP.	Start of the dwell decounging
9	3	1	25.3.2015	9:09:16	0	APP.	End cycle
10	3	1	25.3.2015	9:09:19	0	APP.	Quenching with normal speed
11	3	1	25.3.2015	9:09:23	0	APP.	Load in quench pit
12	3	1	25.3.2015	9:09:29	0	APP.	Start of immersion
13	3	1	25.3.2015	9:10:29	0	APP.	End of immersion time
14	3	1	25.3.2015	9:10:54	0	APP.	Start of draining
15	3	1	25.3.2015	9:11:26	0	APP.	End of draining
16	3	1	25.3.2015	9:12:13	0	DIS.	RECORD ORDER
17	3	1	25.3.2015	9:12:13	0	APP.	Lorry on the intermediate position
18	1	1	25.3.2015	9:12:14	0	INT.	End of cycle: 3/25/2015 at: 9:12:14 AM
19	1	2	25.3.2015	9:12:14	0	APP.	Curve export order
20	1	2	25.3.2015	9:12:14	0	APP.	Diary export order

0:00:07	Calculated homogenization time
0:19:34	Calculated recovery time
0:33:16	Calculated soaking time
0:00:07	Calculated quench delay

19	Water temperature before quenching
20	Water temperature after quenching
1	Water temperature rise

Script: (Z.L.) ALUSAT_record_time) 00001817.mv.D (Uzavřeno proř správám. - For reading only.)

This report was verified by: ULMOVÁ Romana

SHA256 TCV: 9e55850ab75b47620wcd2b130b982009e60d58b813d891a446c0c79e39
SHA256 TDC: 461740734725421a999e47589f3ee1b582a6e680c7c47964c08112a6f19e16

Výhodnocení průběhu cyklu: VÝHODNĚ

Remarks: Zkouška - běžná/okl. příloha.

**TENSILE TEST acc.to ASTM E8/ASTM B557/EN2002/1
TESTING PARAMETERS**

Type of machine: Instron 5982 Sensor Force: 100kN
 Contact Extensometer: Average W-E402-J Testing place: Bottom
 Switching points: F0=20N; U12=0,3% Finishing of test: F=50kN; dF=50%
 Dates of length: Le=50mm; Lc=85mm; L0=50mm
 Testing speed: V0=10mm/min; V1=0,5%/min; V2=6%/min

	Protocol No.	Batch Number	Number of sample	Humidity	Ambient temperature	Performed by
1			LAB4001-2024PL-012-SAP-2673377-W1508-113	20.0%	22.7°C	Drachyova Valeriya
2			LAB4001-2024PL-012-SAP-2673377-W1508-115	20.0%	22.7°C	Drachyova Valeriya
3			LAB4001-2024PL-012-SAP-2673377-W1508-116	20.0%	22.7°C	Drachyova Valeriya
4			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-5	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
5			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-3	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
6			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-2	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
7			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-8	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
8			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-10	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
9			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-6	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
10			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-9	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
11			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-7	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
12			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-13	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
13			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-17	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
14			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-18	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
15			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-19	22.0	23.7	Drachyova Valeriya

	Protocol No.	Batch Number	Number of sample	Humidity	Ambient temperature	Performed by
16			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-20	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
17			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-11	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
18			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-12	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
19			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-14	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
20			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-15	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
21			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-16	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
22			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-25	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
23			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-23	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
24			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-21	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
25			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-30	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
26			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-27	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
27			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-26	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
28			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-31	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
29			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-32	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
30			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-35	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
31			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-36	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
32			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-39	22.0	23.7	Drachyova Valeriya

	Protocol No.	Batch Number	Number of sample	Humidity	Ambient temperature	Performed by
33			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-33	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
34			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-34	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
35			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-37	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
36			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-38	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
37			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-40	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
38			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-48	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
39			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-43	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
40			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-44	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
41			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-45	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
42			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-49	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
43			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-51	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
44			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-52	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
45			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-62	22.0	23.7	Drachyova Valeriya
46			LAB4001-2024PL-012-SAP-2688325-W1513-65	22.0	23.7	Drachyova Valeriya

