

**České vysoké učení technické v Praze**

**Fakulta strojní**

**Ústav strojírenské technologie**

**Bakalářská práce**

**Vliv předkovací operace na vlastnosti zápusťkového  
výkovku**

**Autor:** Tom Procházka

**Studijní obor:** Teoretický základ strojírenského inženýrství

**Vedoucí práce:** Ing. František Tatíček, Ph.D.

**Praha 2016**



## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Františkovi Tatíčkoví, Ph.D. za cenné připomínky rady a odborné rady k obsahu této bakalářské práce, zaměstnancům společnosti Strojmetal Aluminium Forging s.r.o. za jejich ochotu a odbornou pomoc, za poskytnutí techniky, zázemí a materiálu při řešení praktické části této bakalářské práce. V neposlední řadě bych rád poděkoval panu Ing. Tomáši Kramárovi, Ph.D., IWE za přípravu metalografických vzorků.

Mé velké poděkování patří také mé rodině za jejich podporu při mém studiu a za zázemí, které mi poskytli.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci *Vliv předkovací operace na vlastnosti zápusťkového výkovku* vypracoval samostatně pod vedením Ing. Františka Tatíčka, Ph.D. a uvedl v seznamu literatury všechny použité literární a odborné zdroje.

Datum: 12. 8. 2016

Podpis:

# Anotace

<b>Jméno autora:</b>	Tom Procházka
<b>Název práce:</b>	Vliv předkovací operace na vlastnosti zápusťkového výkovku
<b>Škola:</b>	České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní
<b>Ústav:</b>	Ústav strojírenské technologie
<b>Školní rok:</b>	2015/2016
<b>Vedoucí DP:</b>	Ing. František Tatíček, Ph.D.
<b>Klíčová slova:</b>	Zápusťkové kování, hliníkové slitiny, mechanické vlastnosti, struktura materiálu
<b>Abstrakt:</b>	<p>Předmětem bakalářské práce „<i>Vliv předkovací operace na vlastnosti zápusťkového výkovku</i>“ je v teoretické části rozdělení kování s důrazem na zápusťkové kování a rozdělení a popis hliníkových slitin. V praktické části se práce věnuje experimentu, který zkoumá, jaký vliv má rozložení deformace mezi předkovací a kovací operací při stejné teplotě ohřevu a stejném tepelném zpracování. Tento experiment byl realizován ve společnosti Strojmetal Aluminium Forging s.r.o. .</p>

# Annotation

**Author:** Tom Procházka

**Theme of thesis:** Influence of the first forging operation on properties of die forged part

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

**Department:** Department of Manufacturing Technology

**Academic year:** 2015/2016

**Supervisor:** Ing. František Tatíček, Ph.D.

**Key words:** Die forging, aluminium alloys, mechanical properties, structure of material.

**Abstract:** The subject of the Bachelor thesis “Influence of the first forging operation on properties of die forged part” is concentrated in the theoretical part on subdivision of forging process with focus to die forging, and division and description of aluminium alloys. The thesis in its practical part is dedicated to an experiment, which investigates influence of distribution of deformation between first forging operation and final forging operation at the same heating temperature and the same heating treatment. This experiment was realized in the company Strojmetal Aluminium Forging s.r.o. .

# Obsah

Obsah.....	7
1 Úvod do problematiky.....	9
2 Rozdělení technologie tváření.....	11
2.1 Rozdělení technologie tváření.....	11
2.1.1 Podle výrobků.....	11
2.1.2 Podle teploty .....	11
2.1.3 Podle tepelného efektu .....	12
2.1.4 Podle účinku tvářecí síly .....	13
2.1.5 Podle vztahu deformační zóny k objemu polotovaru .....	13
2.1.6 Kování.....	14
2.1.7 Volné kování.....	14
2.2 Zápustkové kování.....	16
2.2.1 Zápustkové kování bez výronku .....	17
2.2.2 Zápustkové kování s výronkem .....	18
3 Popis analyzovaného materiálu .....	19
3.1 Označování hliníku a slitin hliníku pro tváření podle ČSN EN 573-1 .....	19
3.1.1 Slitiny série 1000 .....	20
3.1.2 Slitiny série 2000 .....	20
3.1.3 Slitiny série 3000 .....	20
3.1.4 Slitiny série 4000 .....	20
3.1.5 Slitiny série 5000 .....	20
3.1.6 Slitiny série 6000 .....	20
3.1.7 Slitiny série 7000 .....	21
3.2 Slitina EN AW-6082.....	21
4 Návrh experimentu a jeho vyhodnocení.....	23
4.1 Technologický postup výkovku K 2072.....	23
4.2 Kování výkovků.....	24

4.2.1	Přehled kování výkovků pro experiment.....	26
4.3	Tepelné zpracování T6.....	27
4.3.1	Rozpouštěcí žíhání.....	27
4.3.2	Umělé stárnutí.....	27
4.4	Moření.....	28
4.5	Mechanické zkoušky + příprava vzorků pro zkoumání struktury.....	28
4.5.1	Zkouška tvrdosti.....	28
4.5.2	Příprava vzorků pro vyhodnocení makrostruktury + zkušební tyče pro zkoušku tahem....	29
4.5.3	Zkouška tahem.....	32
4.5.4	Vyhodnocení makrostruktury vzorků.....	34
4.6	Srovnání výsledků.....	36
5	Závěrečné zhodnocení.....	40
	Seznam literatury.....	41
	Seznam obrázků.....	42
	Seznam tabulek.....	43
	Seznam příloh na CD.....	43



# 1 Úvod do problematiky

Tváření patří mezi nejstarší technologie a je zároveň jednou z nejpoužívanějších technologií. Jako první se z technologií tváření rozvíjelo kovárenství. Je stejně staré jako objev kovových materiálů a jistě starší než první písemné záznamy. Po dobu své existence prošla tato technologie dlouhým vývojem. V současnosti většinu tvářecích procesů vykonávají moderní tvářecí stroje a ruční kovárenství slouží hlavně pro umělecké účely.

Tváření je technologický proces, při kterém dochází ke změně tvaru výrobku či polotovaru působením velkých vnějších sil bez toho, abychom odebírali materiál ve formě třísek. Tento mechanický děj provází fyzikální a strukturální změny materiálu, které se projeví na mechanických a fyzikálních vlastnostech. Díky procesu tváření dosáhneme nejlepších mechanických vlastností, které nám kovy mohou umožnit.

Tato bakalářská práce se zejména věnuje zápusťkovému kování a experimentu, který byl proveden ve spolupráci se společností Strojmetal Aluminium Forging s.r.o.. Tato společnost se věnuje výrobě výkovků z hliníkových slitin pomocí zápusťkového kování a dodává své výrobky zejména do automobilového či leteckého průmyslu.

Experiment byl proveden na konkrétním výkovku – K 2072. Použitým materiálem k výrobě tohoto výkovku je hliníková slitina EN AW 6082. Kování tohoto výkovku se skládá z operací předkování a následného dokování. Na obrázku se vlevo nachází výkovek po operaci předkování a vpravo po operaci kování.



Obr. 1 – Výkovek K 2072

Výkovky byly vykovány třemi různými způsoby rozložení deformace při stejné teplotě ohřevu a stejném tepleném zpracování. Úkolem práce je zjistit, zdali způsob rozložení deformace mezi předkováním a kovááním, má ve výsledku nějaký zásadní vliv na strukturu a mechanické vlastnosti výkovku.

## 2 Rozdělení technologie tváření

S ohledem na zaměření práce se budu věnovat rozdělení technologie tváření především se zaměřením na zápusťkové kování.

### 2.1 Rozdělení technologie tváření

Tvářecí procesy můžeme rozdělit podle různých kritérií - podle:

- 1) Výrobků
- 2) Teploty
- 3) Tepelného efektu
- 4) Účinku tvářecí síly (závislost na čase)
- 5) Vztahu deformační zóny k objemu polotovaru

#### 2.1.1 Podle výrobků

Tvářecí procesy podle výrobků můžeme rozdělit s ohledem na další použití výrobku. Podle toho můžeme tváření rozdělit na hutní výrobu, což je příprava hutních polotovarů a strojní výrobu, což je výroba součástí z hutních polotovarů.

#### 2.1.2 Podle teploty

Tvářecí procesy podle teploty můžeme rozdělit pomocí teploty rekrystalizace daného materiálu. Teplotu rekrystalizace zjistíme pomocí vztahu

$$T_{rekr} = (0,35 \text{ až } 0,45) \cdot T_{tav}, \quad (2.1)$$

kde  $T_{rekr}$  značí teplotu rekrystalizace a  $T_{tav}$  teplotu tavení materiálu.

Pomocí teploty rekrystalizace dělíme tváření na tváření za studena, za poloohřevu a tváření za tepla.

#### Tváření za studena

Teploty, při kterých tváříme, se pohybují pod teplotou rekrystalizace. Hlavním znakem tváření za studena je zpevňování materiálu, vysoká přesnost rozměrů a kvalitní povrch výkovků. Oproti tomu mezi nevýhody řadíme nutnost použití velkých tvářecích sil z důvodu vyšších přetvárných odporů,

než je tomu u tváření za tepla. Další nevýhodou je omezená tvárnost materiálu. Omezená tvárnost materiálu je způsobena tím, že během tváření za studena dochází k plastické deformaci a tím vyčerpání plastických vlastností materiálu. Napětí nesmí překročit mez pevnosti. Překročením meze pevnosti může dojít ke vzniku trhlin a tím k porušení celistvosti výrobku.

### **Tváření za tepla**

Teploty, při kterých tváříme, se pohybují nad teplotou rekrytalizace. Přesněji můžeme tváření charakterizovat jako: „*tváření za takových teplotně-rychlostních podmínek (za takové teploty a rychlosti deformace), kdy je vlivem uzdravovacích procesů (zotavení a rekrytalizace) probíhajících současně s deformací přetvárný odpor udržován na nízké hodnotě.*“ [3] Výhody tváření za tepla jsou nízké přetvárné odpory (až 10x menší než u tváření za studena). Oproti tomu mezi nevýhody můžeme zařadit horší kvalitu povrchu z důvodu opalu a oxidace povrchu. Dále oproti tváření za studena chybí zpevňování a vlastnosti výrobku za tepla mají méně stejnorodou strukturu a stejnorodé mechanické vlastnosti než za studena.

### **Tváření za poloohřevu**

Jedná se o tváření, které je z hlediska výhod a nevýhod tváření za studena a za tepla určitým kompromisem. Teploty tváření za poloohřevu se pohybují okolo teploty rekrytalizace, přetvárné odpory jsou nižší, než při tváření za studena, ale kvalita povrchu výrobku je lepší, než při tváření za tepla.

#### **2.1.3 Podle tepelného efektu**

Tvářecí procesy podle tepelného efektu můžeme rozdělit podle toho, jak odvádíme se vyvinuté teplo do okolí a jak se akumuluje uvnitř materiálu. Podle toho můžeme dělit tváření na izotermické, adiabatické a polytropické tváření.

#### **Izotermické tváření**

Neboli tváření za stále teploty. Všechno vyvinuté teplo je odváděno do okolí. Deformace tváření je dostatečně pomalá.

## **Adiabatické tváření**

Neboli tváření za stálého tepla. Všechno vyvinuté teplo je akumulováno v materiálu a dojde ke zvýšení teploty kovu. Deformace tváření je extrémně vysoká.

## **Polytropické tváření**

Jedná se nejčastější případ tváření. Vyvinuté teplo je z části odváděno do okolí a z části akumulováno v materiálu.

### **2.1.4 Podle účinku tvářecí síly**

Tvářecí procesy podle účinku tvářecí síly můžeme rozdělit podle rychlosti tváření na statické a dynamické.

#### **Statické (kvazistatické)**

Tváříme klidnou silou. Příkladem statického tváření je lisování.

#### **Dynamické**

Tváříme silou s vyšší rychlostí. Mezi dynamické tváření můžeme zařadit tváření rázem, cyklické nebo výbuchem. Příkladem tváření rázem je kování na bucharu. [3]

### **2.1.5 Podle vztahu deformační zóny k objemu polotovaru**

Tvářecí procesy podle vztahu můžeme rozdělit podle toho, jak měníme tvar a průřez polotovaru. Dělíme je na plošné a objemové tváření.

#### **Plošné**

Při plošném tváření dochází k významné změně tvaru, ale k nevýznamné změně průřezu. Polotovarem pro plošné tváření je nejčastěji plech nebo součást vyrobená z plechu.

## **Objemové**

Při objemovém tváření dochází jak k významné změně tvaru, tak i k významné změně průřezu. Jako polotovary pro objemové tváření můžeme použít ingoty, vývalky, přístřihy tyče kruhového či nekruhového průřezu nebo výstřižky ze silného plechu. Objemové tváření můžeme dále rozdělit na kování (pěchování), válcování, protlačování a tažení (například drátů).

### **2.1.6 Kování**

Kování můžeme rozdělit na volné kování a zápusťkové kování. Jelikož tato bakalářská práce se zabývá zkoušením zápusťkového výkovku, volné kování je zde pouze krátce popsáno a práce se bude dále věnovat zápusťkovému kování.

### **2.1.7 Volné kování**

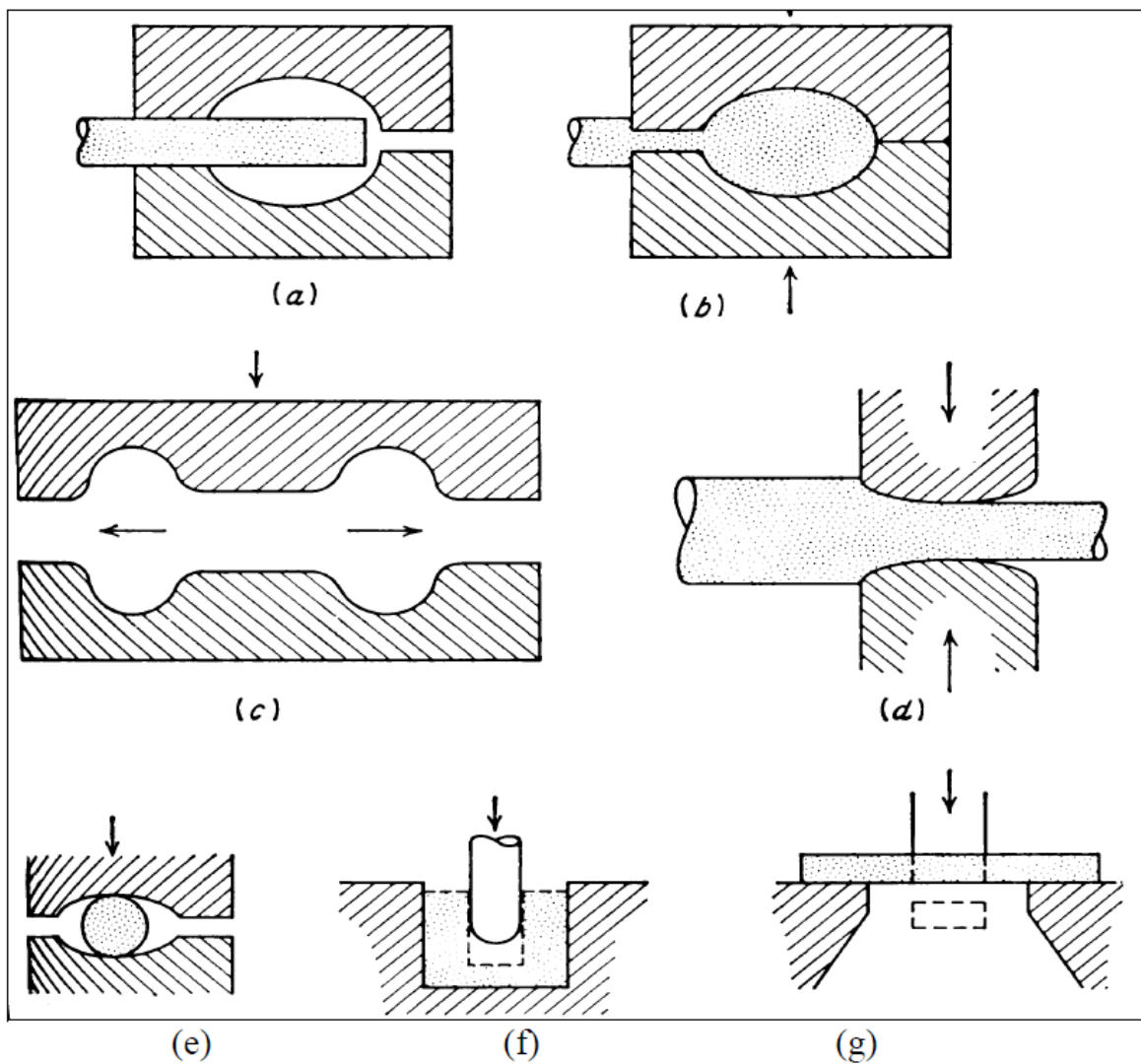
Volné kování můžeme dále rozdělit na ruční a strojní. Ruční kování je prováděno na kovářské kladce a ohřev materiálu probíhá v kovářské výhni. Ruční kování je nejstarší tvářecí technologie, avšak v současnosti kvůli nedostatečné efektivnosti oproti strojnímu kování se používá hlavně v kusové výrobě nebo například pro dekorativní účely.

Strojní kování se provádí za pomoci bucharu nebo lisu. Polotovary pro volné strojní kování můžeme rozčlenit na polotovary tvářené (válcované bloky, tvarové vývalky kruhového a nekruhového průřezu) a polotovary odlité (ingoty).

Operace pro dosažení požadovaného tvaru v oblasti volného kování jsou:

- a) pěchování
- b) prodlužování
- c) rozkování
- d) osazování
- e) prosazování
- f) přisazování
- g) děrování
- h) sekání

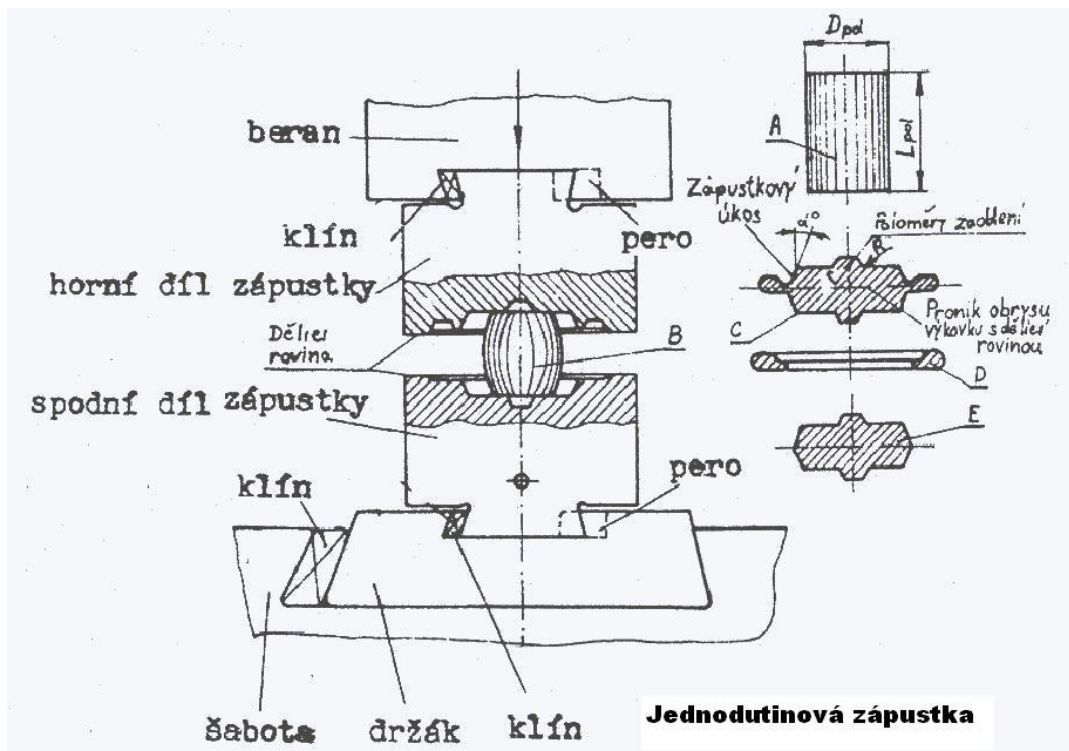
- i) ohýbání
- j) zkrucování



Obr. 2 – Některé základní operace volného kování  
 a, b) osazování a pěchování, c, d) prodlužování, e) profilování, f) děrování, g) prorážení  
 (zdroj: [3])

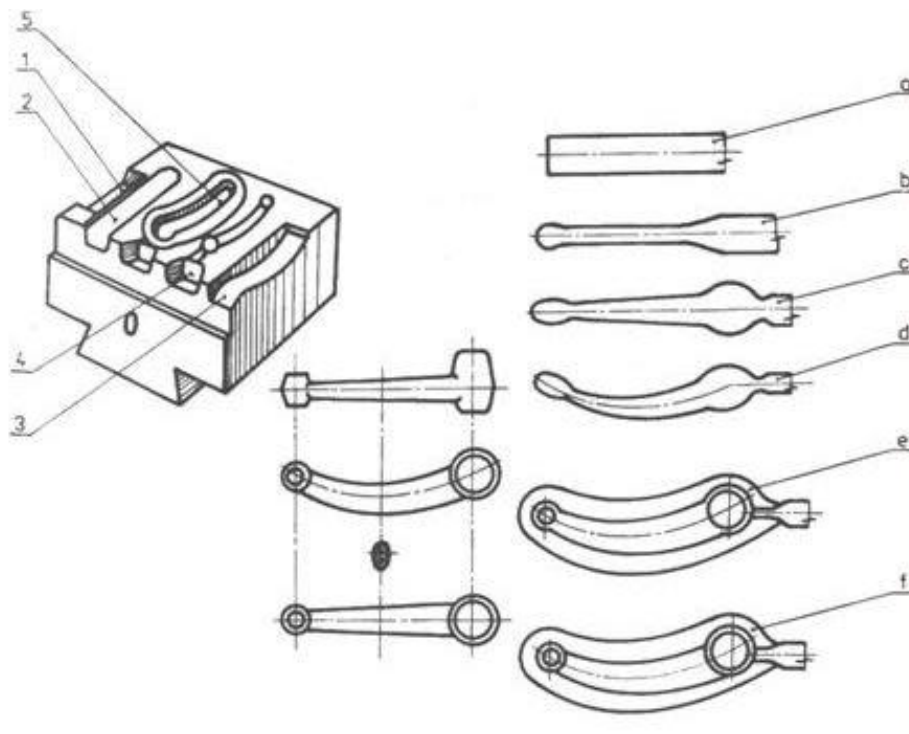
## 2.2 Zápustkové kování

Při výrobě velkého počtu stejných výrobků je vhodné kovat do zápustek. Zápustka je dvoudílný tvarový nástroj, v jehož vrchní a spodní části je vytvořena dutina, která odpovídá tvaru výkovku. Zápustkové kování můžeme dále rozdělit na kování bez výronku (dutina zápustky je uzavřená) a s výronkem (dutina zápustky je otevřená).



Obr. 3 Kování v jednodutinové zápustce na bucharu  
(zdroj: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/03-kovani/04-zapustkove.JPG](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03-kovani/04-zapustkove.JPG))



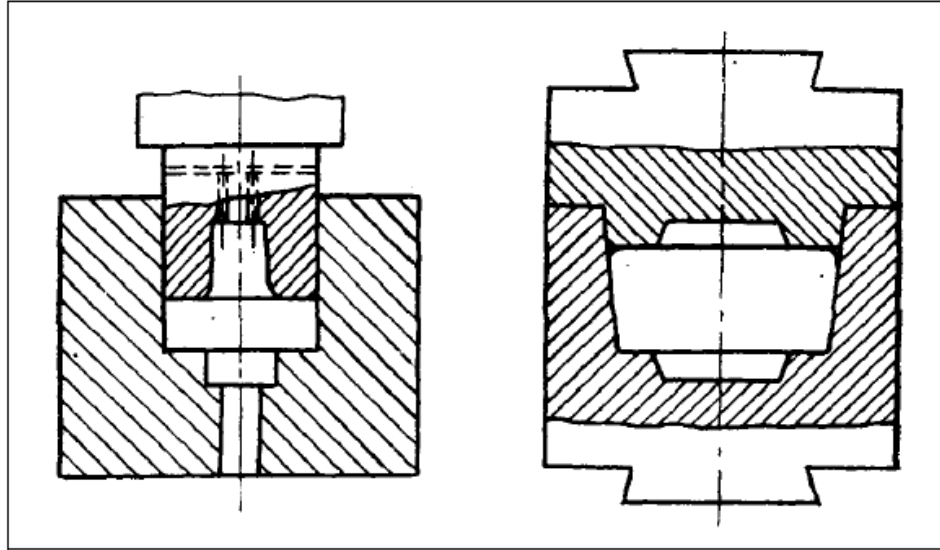


Obr. 4 Kování v postupové zápustce (zdroj: [http://uvp3d.cz/drtic/wp-content/uploads/2014/07/UvP\\_STROJ\\_ST28\\_005\\_003.jpg](http://uvp3d.cz/drtic/wp-content/uploads/2014/07/UvP_STROJ_ST28_005_003.jpg))

1 – prodlužovací dutina, 2 – rozdělovací dutina, 3- ohýbací dutina, 4 – předkovací dutina, 5- dokončovací dutina, a – výchozí polotovár, b – prodlužování, c – rozdělování, d – ohýbání, e – předkování, f – dokončovací kování

### 2.2.1 Zápustkové kování bez výronku

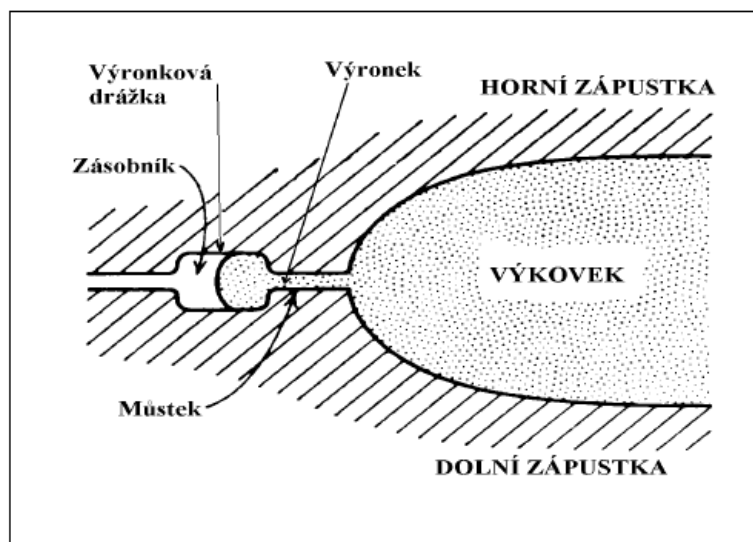
Zápustkové kování bez výronku se používá u jednoduchých rotačních výkovků pouze v hromadné výrobě. Polotovár musí mít úzké tolerance (čeho – objemu či hmotnosti) a musí být přesně dělen, to znamená, že nesmí obsahovat otřepy. Pokud by obsahoval otřepy, ty by se do výkovku zakovaly. Pokud by nebyl polotovár přesně dělen, mohlo by dojít k nedolisování výkovku a tím by vznikl zmetek. Druhý případ, který by mohl nastat, je ten, že pokud by bylo polotovaru příliš hodně, mohlo by způsobit poškození zápustky.



Obr. 3 – Kování do uzavřené zápustky  
 Vlevo na lise, vpravo na bucharu  
 (zdroj: [3])

### 2.2.2 Zápustkové kování s výronkem

Zápustkové kování s výronkem je daleko častější případ a od zápustkového kování bez výronku se liší tím, že zápustka není uzavřená, ale má tzv. výronkovou drážku, kterou může přebytečný materiál odtékat. Po vykování výkovku je nutné výkovek od výronků ostříhnout.



Obr. 4 Princip zápustkového kování s otevřenou dutinou (s výronkem)  
 (zdroj: [3])

### 3 Popis analyzovaného materiálu

Hliníkové slitiny dělíme na slitiny pro tváření a na odlitky. Další kapitola se bude zabývat pouze rozdělením slitin pro tváření.

#### 3.1 Označování hliníku a slitin hliníku pro tváření podle ČSN EN 573-1

Vysvětlení normy na zkoumaném materiálu EN AW-6082: EN znamená, že se jedná o evropskou normu, A označuje hliník, W určuje tvářené výrobky a čtyři číslice 6082 označují chemické složení – hliníková slitina s hořčíkem, křemíkem a manganem.

Tab. 1 Rozdělení podle EN 573-1  
(zdroj: [4])

Hlavní legující prvek	Označení série
Hliník čistoty minimálně 99.00 %	1000
Měď	2000
Mangan	3000
Křemík	4000
Hořčík	5000
Hořčík a křemík	6000
Zinek	7000
Jiné prvky	8000
Nepoužitá skupina	9000

Hodnocení slitin pro tváření závisí na konkrétním použití daného výrobku. Nejčastěji hodnotíme tyto vlastnosti:

*Fyzikální vlastnosti* (elektrická a tepelná vodivost)

*Chemické vlastnosti* (odolnosti proti korozi a schopnost k eloxování)

*Mechanické vlastnosti* (základní mechanické vlastnosti nejen za pokojových hodnot, ale za zvýšených i záporných teplot, únavové vlastnosti, lomové vlastnosti)

*Technologické vlastnosti* (např. učení deformační schopnosti při jejím ohybu)

### **3.1.1 Slitiny série 1000**

Obsahuje hliník minimální čistoty 99%. Tyto slitiny se používají tam, kde jsou požadovány vysoké hodnoty fyzikálních vlastností – vysoká elektrická a tepelná vodivost a vysoká odolnost proti korozi. Použití takových slitin je vhodné v elektrotechnickém a chemickém průmyslu, energetice, architektuře nebo v obalové technice.

### **3.1.2 Slitiny série 2000**

Hlavním legujícím prvkem je měď a sekundárním hořčík. Slitiny jsou dobře tepelně zpracovatelné. V tomto stavu můžeme u těchto slitin dosáhnout maximálních pevnostních vlastností. Jejich problémem je však špatná odolnost proti korozi. Abychom zlepšili odolnost proti korozi, tak se plechy ze série 2000 můžou plátovat fóliemi z hliníkové slitiny vysoké čistoty hliníku nebo některou ze slitin série 6000.

### **3.1.3 Slitiny série 3000**

Slitiny nejsou tepelně zpracovatelné. Zvýšení mechanických vlastností o 20% proti sérii 1000 můžeme dosáhnout přidáním do 1,5% manganu. Tyto slitiny se používají zejména jako výměníky tepla a v architektuře.

### **3.1.4 Slitiny série 4000**

Slitiny nejsou většinou tepelně zpracovatelné. Slitiny s vysokým obsahem křemíku (do 12%) se používají při sváření jako svářecí dráty.

### **3.1.5 Slitiny série 5000**

Hlavním legujícím prvkem je hořčík. Použití těchto slitin je vhodné v potravinářském průmyslu, lodní dopravě či v architektuře.

### **3.1.6 Slitiny série 6000**

Z pohledu mechanických vlastností je důležité množství intermetalické fáze  $Mg_2Si$ . Díky fázi  $Mg_2Si$  jsou slitiny tepelně zpracovatelné a mají určitou podobnost jako samokalitelné oceli –

jsou samokalitelné. Mají výbornou tvařitelnost a svařitelnost, výbornou odolnost proti korozi nebo obrobiteľnosť. Používají se jako součástky v dopravních prostředcích, v konstrukcích mostů, v architektuře nebo u sportovního náčiní.

### **3.1.7 Slitiny série 7000**

Hlavním legujícím prvkem je zinek v množství 1-8 %. Dalšími legujícími prvky jsou hořčík, měď a chrom. Při maximálních mechanických vlastnostech mají slitiny špatnou odolnost proti korozi. Odolnost proti korozi jde ovšem tepelným zpracováním T7 (zpracováno rozpouštěcím žíháním a uměle opakovaně zestárnuto) zvýšit za snížení hodnot pevnostních vlastností. Použití těchto slitin je zejména v automobilovém a leteckém průmyslu.

## **3.2 Slitina EN AW-6082**

Slitina EN AW-6082 je hliníková slitina, její chemický symbol je AlSi1MgMn. Obsahuje legující prvky křemík, hořčík a mangan. Tuto slitinu můžeme tepelně zpracovávat, konkrétně ve společnosti Strojmetal Aluminium Forging se využívá tepelného zpracování buď T5 (po formování za tepla kaleno a posléze uměle zestárnuto) nebo T6 (zpracováno rozpouštěcím žíháním a uměle zestárnuto).

Díky kombinaci dobré pevnosti a nízké hmotnosti je hojně používaná v lehkých konstrukcích. Po tepelném zpracování je hodnota meze kluzu na úrovni oceli S235. Další vlastnostmi této slitiny jsou dobrá tvařitelnost, dobrá svařitelnost všemi běžnými postupy svařování, je vhodná pro třískové obrábění a má výbornou odolnost proti korozi, a to i v mořském prostředí. Odolnost proti korozi lze ještě zlepšit anodickou oxidací. Tato slitina se používá ve strojírenství, automobilovém průmyslu, stavebním průmyslu nebo u komponentů do hydraulických a pneumatických zařízení.

Tab. 2 Označení a minimální mechanické parametry slitiny EN AW-6082 (F34 – zvýšené hodnoty)  
 (zdroj: <http://www.strojmetal.cz/tabulka-slitin>)

Mezinárodní označení	Chemický symbol	Stav	Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Tažnost $A_5$ [MPa]	Tvrdość podle Brinella $HBW_{2,5/62,5}$
EN AW-6082	AlSi1MgMn	T5/T6	340	300	10	100

## 4 Návrh experimentu a jeho vyhodnocení

Pro experiment byl zvolen konkrétní výkovek K 2072, viz obrázek 5. Materiálem výkovku je hliníková slitina EN AW 6082. Úkolem této práce je zjistit, jaký vliv má rozložení deformace mezi operací předkování a kování při zachování stejné teplotě přířezu a stejném tepelném zpracování.



Obr. 5 Výkovek K 2072

Experiment byl proveden na 10 vzorových výkovecích. První čtyři jsou vykovány standartním způsobem deformace výkovku, tj. 80% předkování, 20% kování, další tři 50% předkování a 50% kování a poslední tři 20% předkování a 80% kování.

### 4.1 Technologický postup výkovku K 2072

- 1) Kontrola vyskladněného materiálu, tyč kruhové průřezu o průměru 30 mm
- 2) Řez – délka na 250 mm, prořez pily: 1 mm
- 3) Upínání sdruženého nástroje + kování – mazadlo: grafit, teplota přířezu: 530 - 545 °C, teplota nástroje: 160 °C
- 4) Rozpouštěcí žíhání – teplota: 520 °C, vydrž: 30 minut
- 5) Upínání kalibru + kalibrace
- 6) Umělé stárnutí – teplota: 170 °C, vydrž: 420 minut
- 7) Moření
- 8) Penetrace

9) 100% vizuální kontrola povrchu

10) Výstupní kontrola – zkouška tvrdosti, zkouška tahem, makra

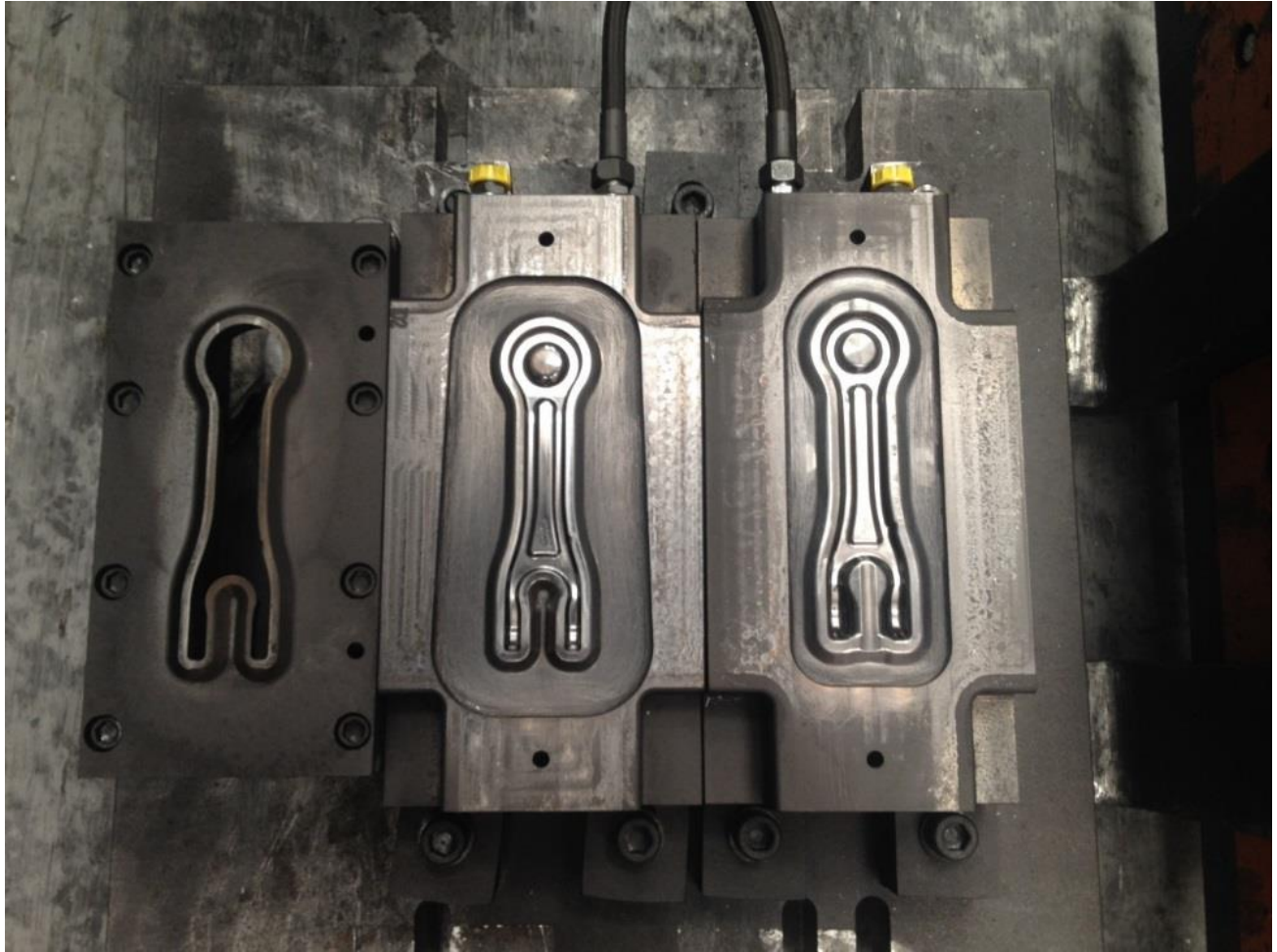
## 4.2 Kování výkovků

Polotovarem výkovku K 2072 je tyč kruhového průřezu o průměru 30 mm, která má délku 250 mm. Hmotnost tohoto přířezu je stanovena na 477,1 gramu. Po vykování a odstřížení přebytečných výronků byly výkovky zváženy. Vážily přibližně 222 gramu. To znamená, že 46,5 % materiálu bylo využito a zbytek tvořil odpad, který je shromažďován a po recyklaci znova zpracováván.

První operací, kterou je třeba učinit, než se začne s kovááním výkovků, je zahřání polotovaru na kovací teplotu. Teplota přířezu je velice důležitá, protože ovlivňuje mnoho faktorů, např. velikost přetvárného odporu a tím velikost tvářecí síly, mechanické vlastnosti výkovku a další faktory.

Kovací teplota by se měla pohybovat v rozmezí 530 – 545 °C. Po ohřátí v peci bylo změřeno, že přířezy mají teplotu 542 °C. Jakmile jsou přířezy zahřáty, je možné přikročit k samotnému kováání. Kování výkovků bylo provedeno na lisu ve třech postupných operacích v zápustce, viz obrázek 6.





*Obr. 6 Zápustka*

V první dutině, na pravé straně, je prováděna předkovací operace, v druhé dutině, uprostřed, kování výkovku a ve třetí dutině, na levé straně, dochází k odstřížení výronků.

Lis obsluhují dva pracovníci – předák a zadák. Předák pomocí mazací pistole vystříká zápustku směsí vody, oleje a grafitu od okují a nečistot. Zadák mezitím vyjme ohřátý přířez z pece a vloží ho do předkovací dutiny. Pokud je polotovar ve správné poloze, předák sešlápne pedál a tím spustí lis, který provede první ránu. Po předkovací operaci společně přesunou výkovek do kovací dutiny a předák sešlápne pedál a provede druhou ránu. Po kovací operaci přesunou výkovek do ostřihovací dutiny a předák sešlápne pedál. Výkovek propadne do připravené lopaty, kterou zadák vloží výkovek do nádrže s vodou, aby se výkovek zchladil a bylo jej možné přepravit k další operaci. V ostřihovací dutině mezitím zůstanou odstřížené výronky, které předák vyjme a vhodí do připraveného kontejneru jako odpad. Celý postup se potom opakuje.

Pracovníci musí přesunovat výkovek mezi jednotlivými dutinami co možná nejrychleji a v pravidelném taktu (pozn. Jinak by každý výkovek měl jinou teplotu a tím i jiné vlastnosti), jelikož výkovek rychle chladne. Z počáteční kovací teploty 542 °C teplota po předkovací operaci klesne na 482 °C a po kovací operaci na 442 °C.

Aby bylo dosaženo na stejné záпустce rozdílných poměrů deformace na předkovací dutině, je třeba mezi záпустky vložit ocelové kalené podložky. Tloušťku destiček byla určena následujícím způsobem: v předepsaném místě etalonu byl změřen rozměr výkovku, který se musí rozměr pohybovat v rozměru  $20^{+1}_{-0,2}$ . Pro způsob 50% předkování a 50% kování byla zvolena tloušťka podložky 10,5 mm a pro způsob 20% předkování a 80% kování výška podložky 14,5 mm.

#### **4.2.1 Přehled kování výkovků pro experiment**

Materiál: EN AW 6082

Kovací teplota: 542 °C

Teplota po předkování: 482 °C

Teplota po kování: 442 °C

##### **1. způsob rozložení deformace – 80% předkování, 20% kování**

Počet vzorků: 4

1. rána: 90 kJ

2. rána: 70 kJ

##### **2. způsob rozložení deformace – 50% předkování, 50% kování**

Počet vzorků: 3

1. rána: 90 kJ

2. rána: 70 kJ

Podložky: 10,5 mm

##### **3. způsob rozložení deformace – 20% předkování, 80% kování**

Počet vzorků: 3

1. rána: 90 kJ

2. rána: 70 kJ

Podložky: 14,5 mm

## 4.3 Tepelné zpracování T6

Tepelné zpracování výkovku T6 se skládá ze dvou operací – rozpouštěcího žíhání a umělého stárnutí. Toto tepelné zpracování se zavádí z důvodu zrovnoměnění zrna a tím i zlepšením mechanických vlastností výkovku.

### 4.3.1 Rozpouštěcí žíhání

Teplota: 520 °C

Výdrž: 30 minut

Během tohoto tepelného ošetření vzniká více méně homogenní struktura. Tato struktura je stabilní pro žíhací teplotu, avšak nikoliv pro pokojovou teplotu při pomalém ochlazování. Proto musíme ochlazovat minimálně kritickou rychlostí. „Kritická rychlost ochlazování je nejmenší rychlost ochlazování z rozpouštěcí teploty, při které nenastává rozpad přesyceného tuhého roztoku.“ [4] Díky tomuto ochlazení nedochází k rozpadu tuhého roztoku a tím k vytvrzování. Materiál je tak připraven na umělé stárnutí. Někdy se mezi rozpouštěcí žíhání a umělé stárnutí zavádí tzv. kalibrace. Kalibrace slouží k dorovnání rozměrů výkovku. Zavádí se po rozpouštěcím žíhání, protože během umělého stárnutí se zlepšují mechanické vlastnosti a kalibrace by poté byla obtížnější.

### 4.3.2 Umělé stárnutí

Teplota: 170 °C

Výdrž: 420 minut

Na rozdíl od přirozeného stárnutí, které probíhá za pokojové teploty, umělé stárnutí probíhá za teploty zvýšené. Při tomto procesu dochází ke změně substruktury a v důsledku této změny dochází ke změně mechanických, fyzikálních a technologických vlastností. Zavádí se zejména proto, aby se zlepšily pevnostní vlastnosti. Dosažitelné pevnostní vlastnosti jsou závislé na teplotě a době výdrže. Čím je teplota umělého stárnutí vyšší, tím dříve se dosáhne maximálních pevnostních vlastností. Avšak oproti tomu čím je vyšší teplota, tím jsou maximálně dosažitelné pevnostní vlastnosti nižší. Proto je třeba najít optimum mezi teplotou a dobou výdrže umělého stárnutí.

## 4.4 Moření

Po tepelném zpracování je vhodné výkovky vymořit. Pracoviště, ve kterém moříme, se nazývá mořirna. V této mořirně se nacházejí kádě s kyselinou, zásadou nebo vodou, která slouží pro oplach mezi jednotlivými fázemi moření.

Výkovky mají po kování nelesklý matný povrch a jsou většinou špinavé. Příčinou toho, proč jsou výkovky špinavé, je grafit obsažený v mazivu při kování. Proto se zavádí moření, aby byl grafit a další nečistoty z povrchu výkovku odstraněn a bylo tak dosaženo lesklého a čistého povrchu výkovku.

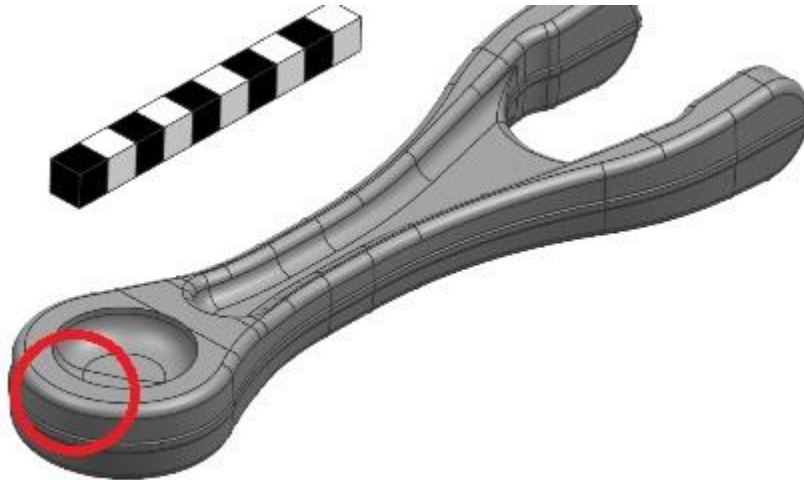
Postup moření je následující: výkovky se nejprve vnoří do kyseliny dusičné, opláchnou se vodou, vnoří se do hydroxidu sodného, opět se opláchnou vodou, ještě jednou se vnoří do kyseliny dusičné, opláchnou se vodou a na závěr se důkladně opláchnou teplou vodou, aby se smyly zbytky mořících látek.

## 4.5 Mechanické zkoušky + příprava vzorků pro zkoumání struktury

### 4.5.1 Zkouška tvrdosti

Zkouška tvrdosti byla provedena podle normy dle Brinella. Hodnoty jsou v HBW <sub>2,5/62,5</sub>. HB označuje zkoušku tvrdosti podle Brinella. W označuje kuličku ze slinutých karbidů. Číslo 2,5 označuje průměr kuličky  $D = 2,5 \text{ mm}$ . Číslo 62,5 označuje zátěžnou sílu, která je 62,5 kg v tíhovém poli, hodnota této síly je podle normy 62,5 kgf. [9]

Na každém výkovku byl proveden jeden vpich a místo tohoto vpichu je na obrázku 7.



Obr. 7 Místo vpichu při zkoušce tvrdosti

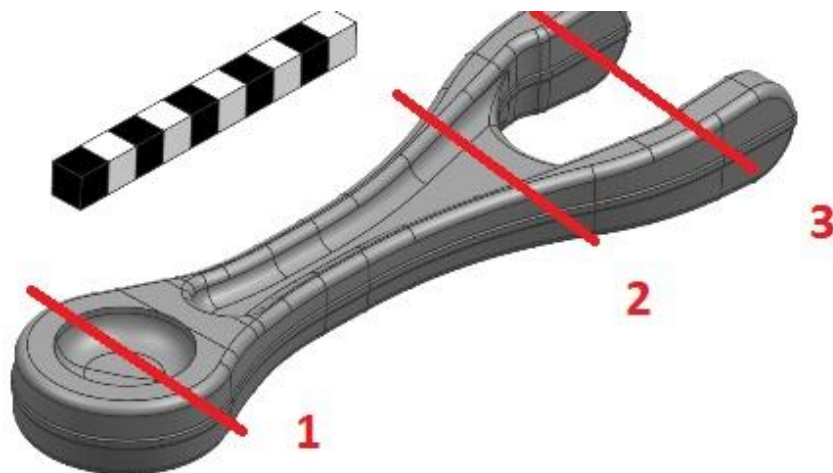
	PK 80%; KOV 20%				PK 50%; KOV 50%			PK 20%; KOV 80%		
číslo vzorku	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3
HBW <sub>2,5/62,5</sub>	117	117	117	119	114	115	117	117	119	120

Tab. 3 Vyhodnocení zkoušky tvrdosti (PK – předkování, KOV – kování)

#### 4.5.2 Příprava vzorků pro vyhodnocení makrostruktury + zkušební tyče pro zkoušku tahem

Po provedení zkoušky tvrdosti se pokračovalo přípravou vzorků pro vyhodnocení makrostruktury a zkušebních tyčí pro zkoušku tahem.

Výkovky byly rozřezány ke zkoumání přechodu hrubozrnné a jemnozrnné struktury. Řezy byly provedeny tak, jak je znázorněno na obrázku 8.



*Obr. 8 Řezy*

Takto nařezané vzorky byly upnuty do frézky a plochy těchto vzorků byly ofrézovány. Aby byly odstraněny stopy po frézování, tak byly vzorky vymořeny stejným postupem tak, jako je to uvedeno v podkapitole moření 4.4.



*Obr. 9 Vzorky po vymoření*

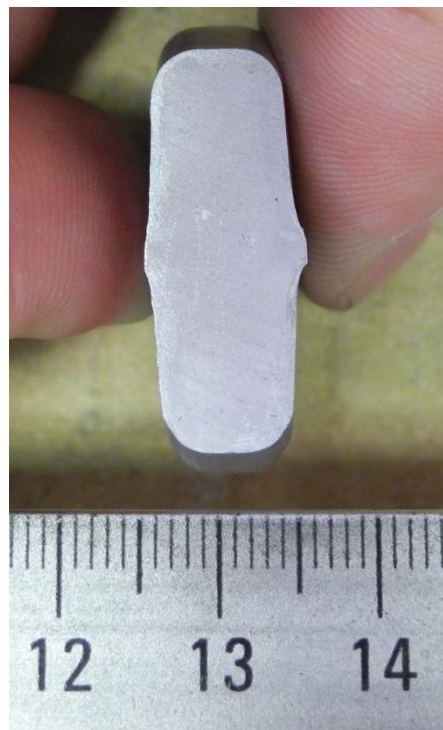
Díky moření jsou na vzorcích vidět rozhraní hrubozrnné a jemnozrnné makrostruktury pouhým okem. Hrubozrnná struktura se nachází zejména po okrajích a od jemnozrnné struktury se nechá rozpoznat podle většího lesku. Příklady v jednotlivých řezech jsou znázorněny na obrázcích 10, 11 a 12. Kompletně vyfotografované vzorky jsou k dispozici v příloze [1].



*Obr. 10 Struktura v řezu 1*



*Obr. 11 Struktura v řezu 2*

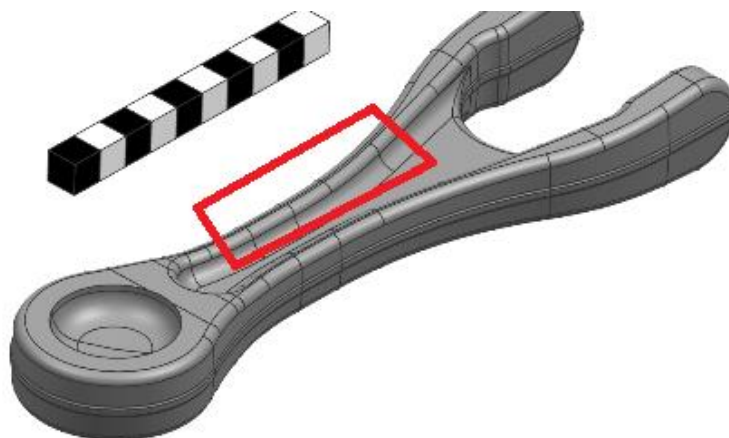


*Obr. 12 Struktura v řezu 3*



### 4.5.3 Zkouška tahem

Zkušební tyče pro zkoušku tahem byly vyříznuty z části, která je znázorněna na obrázku 13.



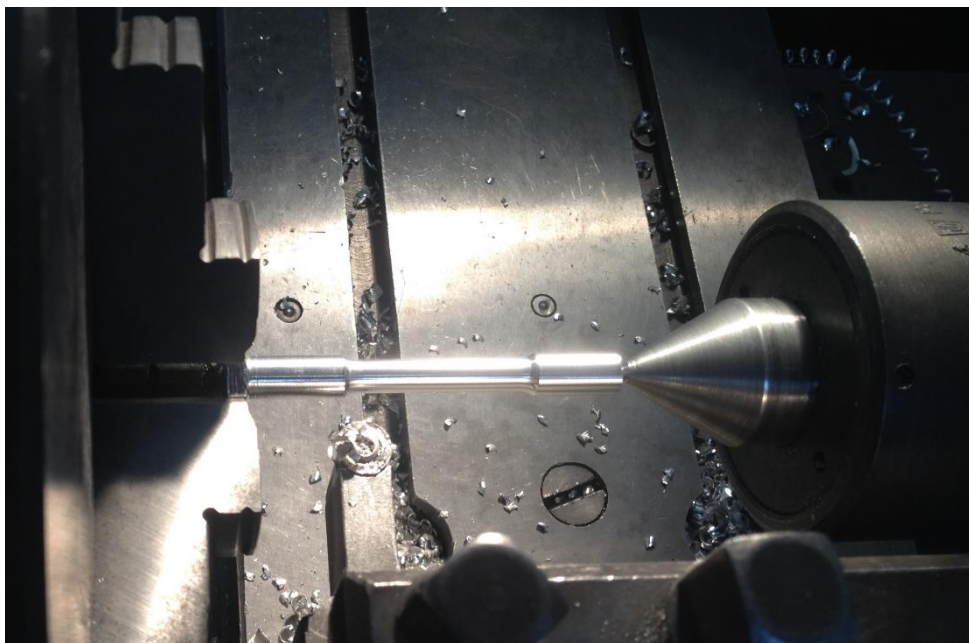
*Obr. 13 Znáznornění části výkovku zkušebních tyčí pro zkoušku tahem*

Nařezané vzorky jsou znázorněny na obrázku 14. Tyto vzorky byly po nařezání upnuty do soustruhu a byly vysoustruženy na předepsaný rozměr, viz obrázek 15. Rozměry zkušební tyče jsou znázorněny na obrázku 16.

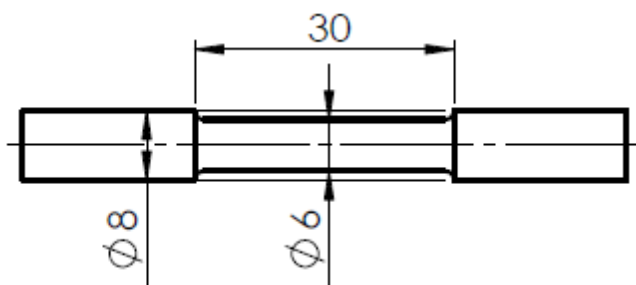


*Obr. 14 Nařezané vzorky pro zkušební tyče*





Obr. 15 Soustružení zkušební tyče



Obr. 16 Rozměry zkušební tyče

Na těchto vysoustružených tyčích byla provedena zkouška tahem. Kompletní zpráva zkoušky tahem a jednotlivé grafy jsou v příloze [2].

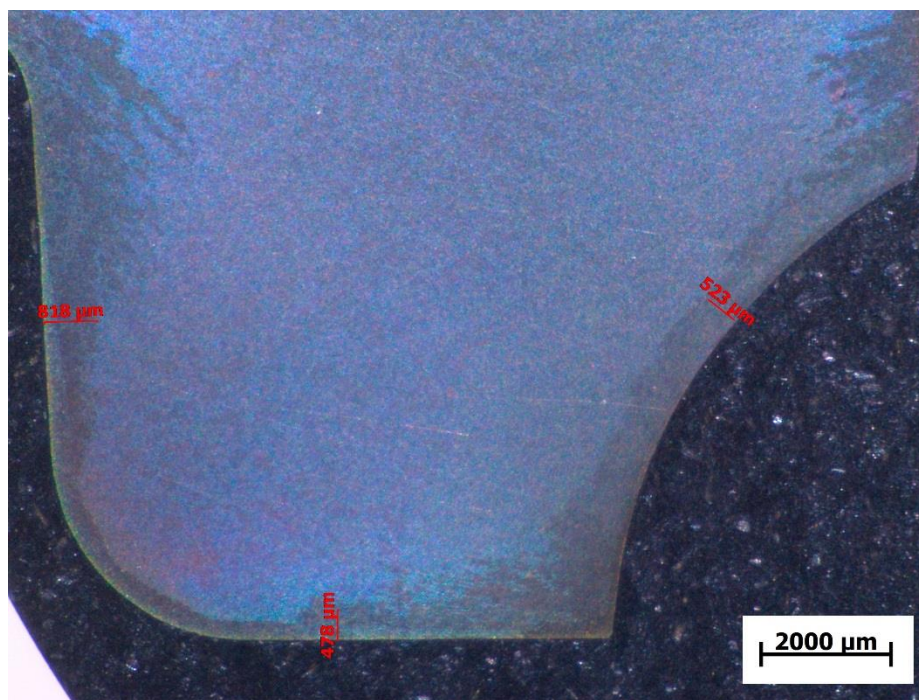
Tab. 4 Výsledky zkoušky tahem ( $R_m$  – mez pevnosti,  $R_{p0,2}$  – smluvní mez kluzu,  $A$  – tažnost)

číslo vzorku	PK 80%; KOV 20%				PK 50%; KOV 50%			PK 20%; KOV 80%		
	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3
$R_m$ [MPa]	386	388	392	397	366	376	369	400	367	391
$R_{p0,2}$ [MPa]	370	371	374	381	352	359	353	380	351	371
$A$ [%]	8,7	9,5	8,2	9,3	7,9	8,8	7,8	11,3	10,2	9,7

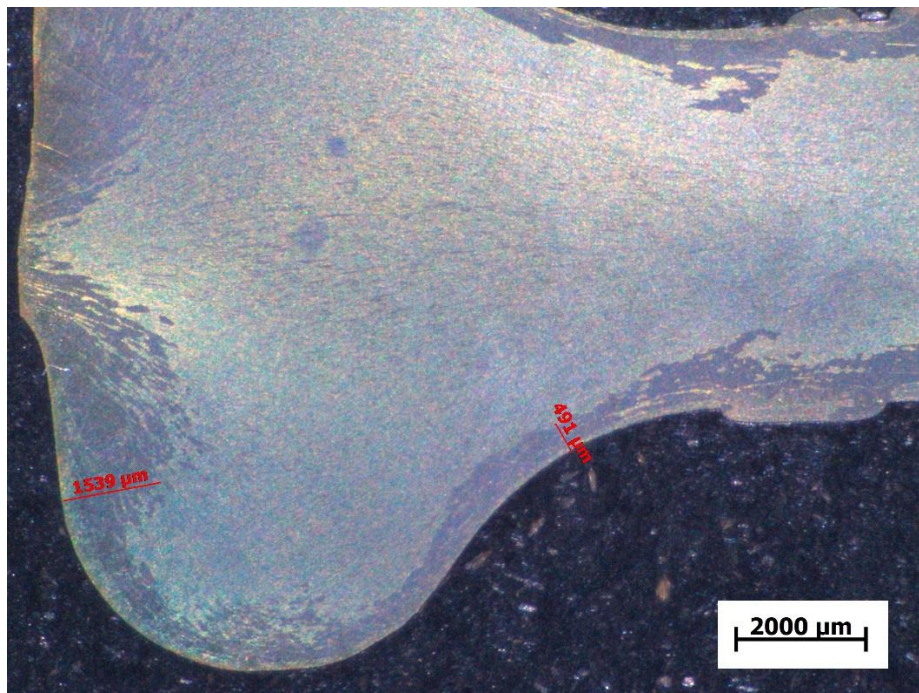
#### 4.5.4 Vyhodnocení makrostruktury vzorků

Postup přípravy vzorků byl následující: jednotlivé vzorky byly rozřezány na metalografické pile, vloženy do lisu pro vytváření vzorků za tepla pro metalografické pozorování. Připravené vzorky byly zasypány granulátem, který byl následně slisován. Povrch takto připraveného vzorku byl broušen a následně leštěn od nejhrubšího kotouče po ten nejjemnější. Po leštění následovalo leptání. K naleptání vzorků bylo použito tzv. Weckovo činidlo. Příprava Weckova činidla je uvedena v encyklopedii hliníku [4] na straně 420. Složení Weckova činidla je následující: 100 ml vody, 4 g manganistanu draselného a 1 g hydroxidu sodného.

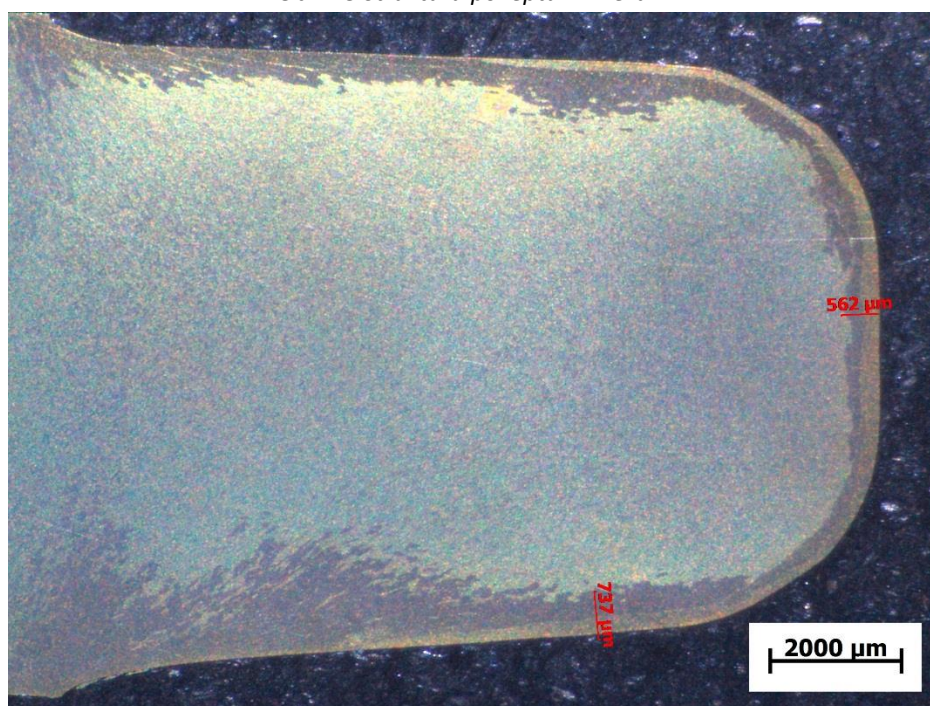
Příklady v jednotlivých řezech jsou znázorněny na obrázcích 17, 18, 19. Kompletně vyfotografované vzorky jsou uvedeny o podkapitolu níže a v příloze [3].



Obr. 17 Struktura po leptání v řezu 1



Obr. 18 Struktura po leptání v řezu 2



Obr. 19 Struktura po leptání v řezu 3

## 4.6 Srovnání výsledků

Značení v dalším textu:

Výkovek deformace 1. rozdělení deformace - 80% předkování, 20% kování

Výkovek deformace 2. rozdělení deformace - 50% předkování, 50% kování

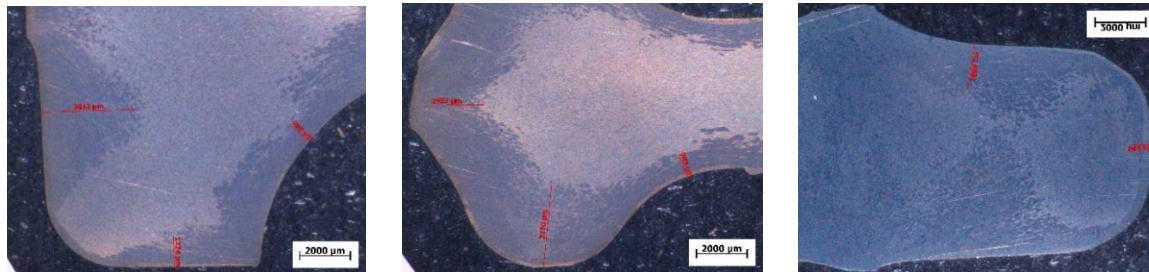
Výkovek deformace 3. rozdělení deformace - 20% předkování, 80% kování

V tomto přehledu jsou shrnuty výsledky mechanických zkoušek a výsledky zjištěné po leptání makrostruktury. V levé části se nachází řez číslo 1, uprostřed řez číslo 2 a vpravo řez číslo 3, jak je to vidět na obrázku 8.



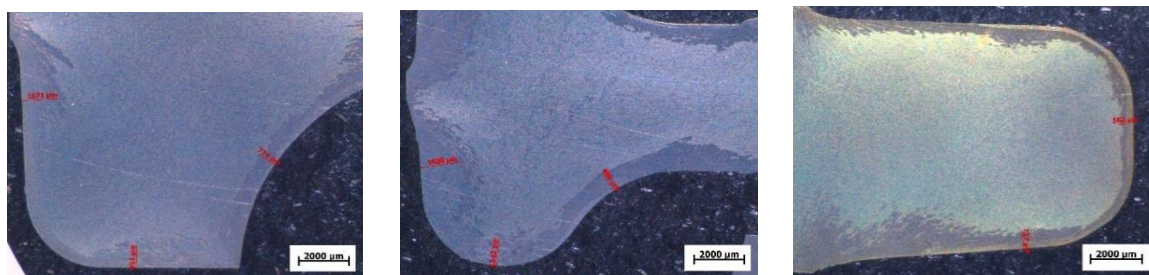
### Výkovek deformace 1, číslo 1

Mechanické zkoušky -  $R_m = 386 \text{ MPa}$ ;  $R_{p0,2} = 370 \text{ MPa}$ ;  $A = 8,7 \%$ ;  $HBW = 117$



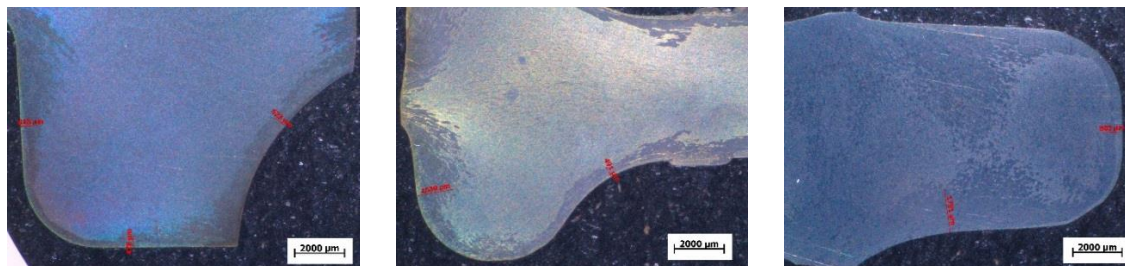
### Výkovek deformace 1, číslo 2

Mechanické zkoušky -  $R_m = 388 \text{ MPa}$ ;  $R_{p0,2} = 371 \text{ MPa}$ ;  $A = 9,5 \%$ ;  $HBW = 117$



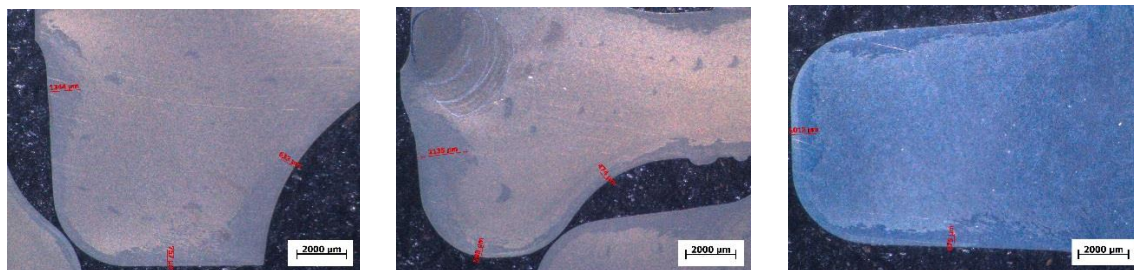
### Výkovek deformace 1, číslo 3

Mechanické zkoušky -  $R_m = 392 \text{ MPa}$ ;  $R_{p0,2} = 374 \text{ MPa}$ ;  $A = 8,2 \%$ ;  $HBW = 117$



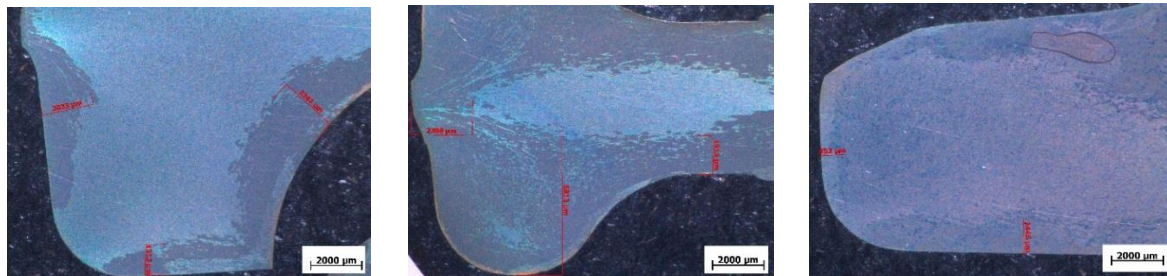
### Výkovek deformace 1, číslo 4

Mechanické zkoušky -  $R_m = 397 \text{ MPa}$ ;  $R_{p0,2} = 381 \text{ MPa}$ ;  $A = 9,3 \%$ ;  $HBW = 119$



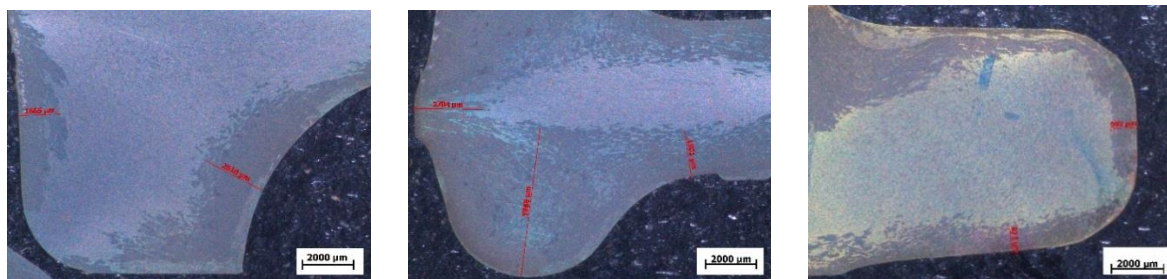
### Výkovek deformace 2, číslo 1

Mechanické zkoušky –  $R_m = 366 \text{ MPa}$ ;  $R_{p0,2} = 352 \text{ MPa}$ ;  $A = 7,9 \%$ ;  $HBW = 114$



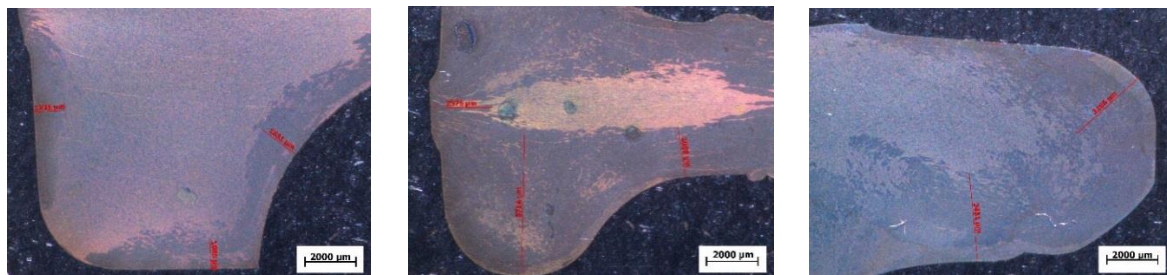
### Výkovek deformace 2, číslo 2

Mechanické zkoušky –  $R_m = 376 \text{ MPa}$ ;  $R_{p0,2} = 359 \text{ MPa}$ ;  $A = 8,8 \%$ ;  $HBW = 115$



### Výkovek deformace 2, číslo 3

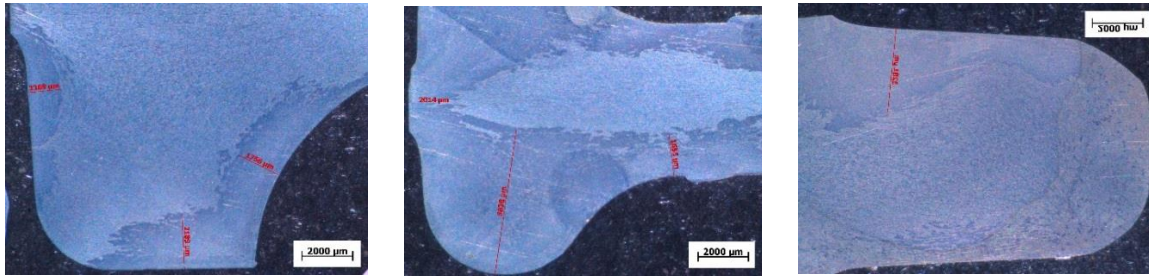
Mechanické zkoušky –  $R_m = 369 \text{ MPa}$ ;  $R_{p0,2} = 353 \text{ MPa}$ ;  $A = 7,8 \%$ ;  $HBW = 117$





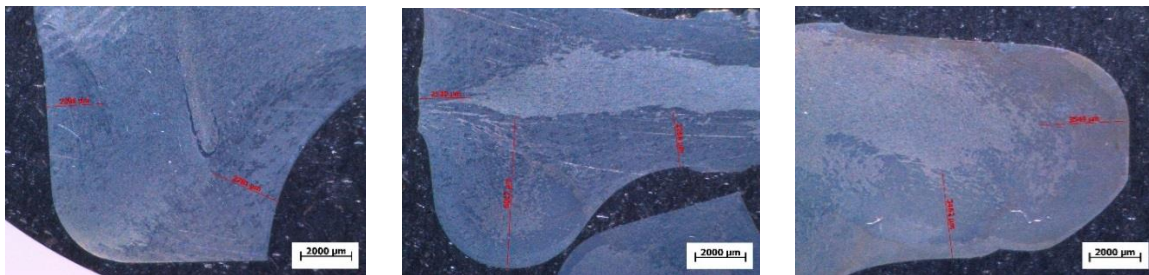
### Výkovek deformace 3, číslo 1

Mechanické zkoušky –  $R_m = 400 \text{ MPa}$ ;  $R_{p0,2} = 380 \text{ MPa}$ ;  $A = 11,3 \%$ ;  $HBW = 117$



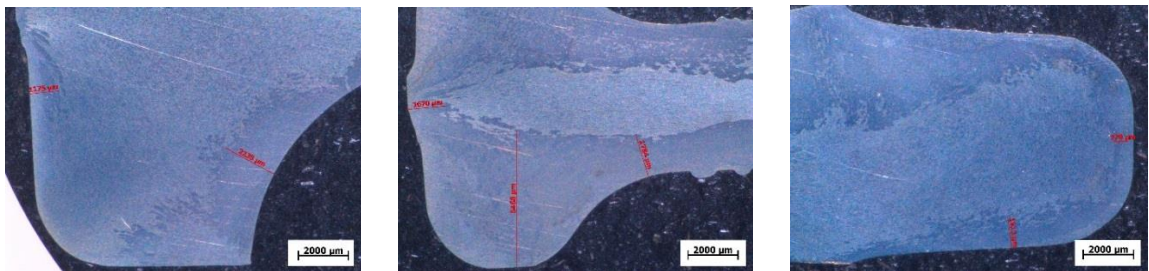
### Výkovek deformace 3, číslo 2

Mechanické zkoušky –  $R_m = 367 \text{ MPa}$ ;  $R_{p0,2} = 351 \text{ MPa}$ ;  $A = 10,2 \%$ ;  $HBW = 119$



### Výkovek deformace 3, číslo 3

Mechanické zkoušky –  $R_m = 391 \text{ MPa}$ ;  $R_{p0,2} = 371 \text{ MPa}$ ;  $A = 9,7 \%$ ;  $HBW = 120$



## 5 Závěrečné zhodnocení

Tato bakalářské práce se zabývá vlastnostmi výkovku v závislosti na rozložení deformace mezi předkovací a kovací operací, a vyhodnocením mechanických vlastností při stejném tepelném zpracování výkovků a stejné teplotě ohřevu. Závislost rozložení deformace na vlastnosti výkovku byla zkoumána na konkrétním výkovku K 2072.

První část bakalářské práce se věnuje rozdělení technologií tváření. Po rozdělení technologií tváření se práce věnuje rozdělení objemového tváření s důrazem na zápusťkové kování.

Druhá část bakalářské práce se věnuje rozdělení hliníkových slitin podle normy ČSN EN 573-1, popisu jednotlivých skupin hliníkových slitin a hliníkové slitině EN AW 6082.

Třetí část bakalářská práce se zabývá samotným experimentem, podle kterého byl zjišťován vliv rozložení deformace mezi předkováním a kováním za stejné teploty ohřevu a stejném tepelném zpracování. Aby bylo možné posoudit mechanické vlastnosti výkovku, byla provedena zkouška tvrdosti podle Brinella a zkouška tahem. Následně byly po provedení mechanických zkoušek připraveny vzorky pro sledování struktury po vykování. S ohledem na problémy při přípravě vzorku pro mikroskopické pozorování byly vzorky vyhodnoceny pouze makroskopickým pozorováním.

V rámci experimentu jsem zjistil, že standardní způsob výroby (varianta 1) s tepelným zpracováním T6 (viz. kap. 4.3), vyšel z pohledu struktury nejlépe. U dalších dvou způsobů tváření (varianta 2 a 3) došlo ke zhrubnutí struktury. To se projevilo i na hodnotách mechanických vlastností po tepelném zpracování, které nebyly tak konzistentní jako u standardního způsobu výroby, což nedává předpoklady pro zavedení v sériové výrobě. Čím byla předkovací operací provedena menší velikost deformace, tím docházelo ke zvětšování tloušťky hrubozrnné vrstvy. Hodnoty mechanických zkoušek se příliš nelišily, proto nelze jednoznačně určit, zdali, z pohledu mechanických vlastností, má rozložení deformace vliv na tyto hodnoty.

Cílem práce bylo vyhodnocení experimentu, kterým se mělo zjistit, zdali má rozložení deformace mezi předkováním a kování vliv na mechanické vlastnosti a strukturu. S ohledem na výše uvedené výsledky práce doporučuji věnovat se této problematice dále z hlediska naleptávání nebo zkusit další poměry předkování.



## Seznam literatury

- [1] NOVOTNÝ, Jiljí, Jan ŠANOVEC, Bohumír BEDNÁŘ a Viktor KREIBICH. *Technologie I: (slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy)*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02351-6.
- [2] NĚMEC, Milan, Jan SUCHÁNEK a Jan ŠANOVEC. *Základy technologie I*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03530-1.
- [3] PETRUŽELKA, Jiří a Richard BŘEZINA. *Úvod do tváření I*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001. ISBN 80-7078-877-1.
- [4] *Encyklopedie hliníku*. Děčín: Alcan Děčín Extrusions, 2005. ISBN 80-89041-88-4.
- [5] Informace o hliníku a hliníkových profilech. *ALUCAD Bohemia, s.r.o.* [online]. [cit. 2016-08-04]. Dostupné z: <http://www.alucad.cz/informace/>
- [6] Hliníkové profily, hliníkové plechy, hliníkové profily pro fotovoltaiku a zasklívání, hliníkové chladiče. *Alunet – hliníkové profily na míru* [online]. [cit. 2016-08-04]. Dostupné z: <http://www.alunet.cz/>
- [7] Strojmetal. *Strojmetal alluminum forging* [online]. [cit. 2016-08-04]. Dostupné z: <http://www.strojmetal.cz/>
- [8] ČSN EN 573-1 (421401) *Hliník a slitiny hliníku – Chemické složení a druhy tvářených výrobků – Část 1: Číselné označování*, červenec 2005
- [9] ČSN EN ISO 6506-1 *Kovové materiály - Zkouška tvrdosti podle Brinella - Část 1: Zkušební metoda*, květen 2015
- [10] ČSN EN ISO 6892-1 *Kovové materiály - Zkoušení tahem - Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty*, březen 2010
- [11] ČSN 42 0315 *Zkoušení kovů. Zkušební tyče válcové s hladkými válcovými hlavami pro zkoušku tahem*, říjen 1981
- [12] ČSN 42 0466 *Příprava metalografických vzorků z mědi, hliníku, jejich slitin a kompozitů na jejich bázi*, únor 1996

## Seznam obrázků

[1] Výkovek K 2072

[2] Některé základní operace volného kování (zdroj: [3])

[3] Obr. 3 Kování v jednodutinové zápustce na bucharu

(zdroj: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/03-kovani/04-zapustkove.JPG](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03-kovani/04-zapustkove.JPG))

[4] Kování v postupové zápustce

(zdroj: [http://uvp3d.cz/drtic/wp-content/uploads/2014/07/UvP\\_STROJ\\_ST28\\_005\\_003.jpg](http://uvp3d.cz/drtic/wp-content/uploads/2014/07/UvP_STROJ_ST28_005_003.jpg))

[5] Výkovek K 2072

[6] Zápustka

[7] Místo vpichu při zkoušce tvrdosti

[8] Řezy

[9] Vzorky po vymoření

[10] Struktura v řezu 1

[11] Struktura v řezu 2

[12] Struktura v řezu 3

[13] Znázornění části výkovku zkušebních tyčí pro zkoušku tahem

[14] Nařezané vzorky pro zkušební tyče

[15] Soustružení zkušební tyče

[16] Rozměry zkušební tyče

[17] Struktura po leptání 1

[18] Struktura po leptání 2

[19] Struktura po leptání 3

## Seznam tabulek

- [1] Rozdělení podle EN 573-1 (zdroj: [4])
- [2] Označení a minimální mechanické parametry slitiny EN AW-6082 (F34 – zvýšené hodnoty)  
(zdroj: <http://www.strojmetal.cz/tabulka-slitin>)
- [3] Vyhodnocení zkoušky tvrdosti (PK – předkování, KOV – kování)
- [4] Výsledky zkoušky tahem (Rm – mez pevnosti, Rp0,2 – smluvní mez kluzu, A – tažnost)

## Seznam příloh na CD

- [1] Fotodokumentace – struktura vzorků po nařezání
- [2] Vyhodnocení zkoušky tahem
- [3] Fotodokumentace – struktura vzorků po leptání