

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie  
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie  
Oddělení tváření kovů a plastů

## **Vliv základních technologických parametrů výroby samotvářecího šroubu ve společnosti Kamax s.r.o. na proces tváření závitu při jeho použití**

## **The influence of basic technological production parameters of self-forming screw at Kamax s.r.o. on the process of forming thread in its application**

Michal Brož

**KSP – TP – B**

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Doubek, Ph.D. – *TU v Liberci*

Konzultant bakalářské práce: Lukáš Žďárek – *Kamax s.r.o., Turnov*

### **Rozsah práce a příloh:**

Počet stran: 52

Počet tabulek: 7

Počet příloh: 5

Počet obrázků: 36

Datum: 24. 5. 2013

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	M i c h a l B R O Ź
Studijní program	B2341 Strojírenství
Studijní obor	3911R018 Materiály a technologie
Zaměření	Tváření kovů a plastů

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářské práce na téma:

### **Vliv základních technologických parametrů výroby samotvářecího šroubu ve společnosti Kamax s. r. o. na proces tváření závitu při jeho použití**

#### **Zásady pro vypracování:**

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Seznámení se s problematikou výroby spojovacích prvků ve společnosti Kamax s. r. o.
2. Základní charakteristika technologií tváření s ohledem na způsoby výroby spojovacích součástí.
3. Posouzení jednotlivých technologických podmínek při výrobě samotvářecího šroubu na jeho užité vlastnosti a použití při montáži.
4. Vyhodnocení naměřených výsledků.
5. Závěr.





Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva: v rozsahu cca 30 stran
- přílohy: grafy, tabulky

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

- [1] BRJUCHANOV, A.N.: *Zápusťkové kování Konstrukce a výpočet nástrojů, díl 2., Kování na klikových lizech a vodorovných kovacíh strojích*, Praha, Státní nakladatelství technické literatury, 1956.
- [2] KRAUS, V.: *Povrchy a jejich úpravy*, Plzeň, Západočeská univerzita v Plzni, 2000, 218s. ISBN 80-7082-668-1.
- [3] KUHN, H. *ASM Handbook: Volume 8, Mechanical Testing and Evaluation (Asm Handbook) (Asm Handbook) (Asm Handbook)*, 10. vydání, Ed. Howard Kuhn a Dana Medlin, [s.l.], ASM International, 2000, 998 s. ISBN 0871703890.
- [4] Technická firemní dokumentace.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Doubek, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Lukáš Žďárek (Kamax s. r. o.).



prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
vedoucí katedry

doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.  
děkan

V Liberci dne 15. 2. 2013

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. ( v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ ). Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.



# ANOTACE

## TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: B2341 – Strojírenství  
Student: Michal Brož  
Téma práce: Vliv základních technologických parametrů výroby samotvářecího šroubu ve společnosti Kamax s.r.o. na proces tváření závitu při jeho použití  
The influence of basic technological production parameters of self-forming screw at Kamax s.r.o. on the process of forming thread in its application

Číslo bakalářské práce: KSP – TP – B  
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Doubek, Ph.D. - *TU v Liberci*  
Konzultant bakalářské práce: Lukáš Žďárek - *Kamax s.r.o., Turnov*

### **Abstrakt:**

Bakalářská práce se zabývá vlivem základních technologických parametrů výroby samotvářecího šroubu na proces tváření závitu při jeho použití. Práce zahrnuje porovnávání čtyř typů závitu šroubů, kde každý typ je opatřen stejnými pěti povrchovými úpravami a dvěma druhy tepelného zpracování. K porovnání bylo využito zkoušek pevnosti, tvrdosti, mikrotvrdosti, zašroubovatelnosti, kontroly deformace a průchodnosti závitu. Výsledkem bylo vyhotovení datové matice pro porovnávání sledovaných vlivů.

### **Abstract:**

This thesis deals with the influence of basic technological production parameters of self-forming screw on the process of forming thread in its application. The thesis includes comparing of four types of the screw thread, where each type is equipped with the same five surface finishes and two types of heat treatment. For the comparison were used tests of tensile strength, hardness, microhardness, screwing test, inspection of deformation and patency of thread. The result was to make matrix for comparison of monitored attributes.

## **Místopřísežné prohlášení**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 24. května 2013

.....  
Michal Brož  
Ohrazenice 225  
511 01 Turnov

## **PODĚKOVÁNÍ**

V první řadě bych chtěl jmenovitě poděkovat konzultantu bakalářské práce panu Lukáši Žďárkovi a vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Pavlu Doubkovi Ph.D. za jejich odborné rady, cenné připomínky, trpělivé vedení a čas, který mi věnovali při tvorbě této práce.

Dále patří velké díky mé rodině a přátelům, kteří mi byli oporou po celou dobu studia.



## **OBSAH:**

<b>OBSAH:</b> .....	<b>6</b>
<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>2. TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1 TVÁŘENÍ KOVŮ</b> .....	<b>11</b>
2.1.1 Tváření za studena.....	11
2.1.2 Tažení.....	13
2.1.2.1 Tažení drátů.....	13
2.1.3 Technologie protlačování.....	14
2.1.3.1 Princip protlačování.....	14
2.1.3.2 Vliv tření na proces protlačování.....	15
2.1.3.3 Dopředné protlačování .....	15
2.1.3.4 Zpětné protlačování .....	16
2.1.3.5 Kombinované protlačování .....	16
2.1.3.6 Vodorovné kovací stroje k protlačování .....	16
2.1.3.7 Nástroje pro protlačování.....	18
2.1.3.8 Výhody a zvláštnosti protlačování .....	18
2.1.4 Technologie válcování.....	18
2.1.4.1 Válcování závitů .....	19
<b>2.2 ZUŠLECHŤOVÁNÍ MATERIÁLU</b> .....	<b>20</b>
2.2.1 Kalení .....	20
2.2.1.1 Kalitelnost.....	20
2.2.1.2 Prokalitelnost .....	21
2.2.1.3 Kalící prostředí .....	22
2.2.1.4 Druhy kalení .....	22
2.2.1.5 Povrchové kalení.....	23
2.2.2 Popouštění .....	24
<b>2.3 POVRCHOVÉ ÚPRAVY</b> .....	<b>24</b>
2.3.1 Rozdělení povrchových úprav .....	25
2.3.2 Žárové pokovování v roztavených kovech .....	25
2.3.3 Elektrochemické (galvanické) pokovování .....	25
2.3.3 Geometrie samotvářecího šroubu .....	27
<b>3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b> .....	<b>28</b>



<b>3.1 POPIS VZORKŮ V EXPERIMENTU.....</b>	<b>28</b>
<b>3.1.1 Materiál vzorků .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1.2 Závity vzorků .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1.3 Povrchy vzorků .....</b>	<b>30</b>
<b>3.1.4 Zkušební destičky .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2 PROVÁDĚNÉ EXPERIMENTY.....</b>	<b>32</b>
<b>3.2.1 Měření pevnosti na trhacím stroji .....</b>	<b>32</b>
<b>3.2.1.1 Vyhodnocení měření pevnosti .....</b>	<b>34</b>
<b>3.2.2 Měření tvrdosti .....</b>	<b>34</b>
<b>3.2.2.1 Vyhodnocení měření tvrdosti.....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.3 Měření mikrotvrdosti.....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.3.1 Vyhodnocení zkoušky mikrotvrdosti.....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.4 Zkouška zašroubovatelnosti .....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.4.1 Vyhodnocení zkoušky zašroubovatelnosti .....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.5 Vizualní kontrola deformace závitu .....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.5.1 Vyhodnocení vizualní kontroly .....</b>	<b>44</b>
<b>3.2.6 Kontrola průchodnosti závitu .....</b>	<b>44</b>
<b>3.2.6.1 Vyhodnocení průchodnosti závitu.....</b>	<b>45</b>
<b>4. ZÁVĚR.....</b>	<b>47</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>49</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>52</b>





## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$A_{10}$	Tažnost	[%]
HB	Zkouška tvrdosti dle Brinella	[HB]
HV0,3	Zkouška mikrotvrdosti dle Vickerse	[HV]
VKS	Vodorovné kovací stroje	
f	Koeficient smykového tření	[-]
$\alpha_o$	Úhel záběru	[°]
ARA	Anizotermický rozpad austenitu	
A	Austenit	
B	Bainit	
F	Ferit	
P	Perlit	
Ms	Martenzit start	
Mf	Martenzit finish	
Bs	Bainit start	
Bf	Bainit finish	
Fs	Ferit start	
Ps	Perlit start	
Pf	Perlit finish	
Fe-Fe <sub>3</sub> C	Karbid železa	
$\alpha$	Austenit	
$\delta$	Delta ferit	
$A_1, A_{c1}$	Eutektoidní teplota	[°C]
$A_2$	Curieův bod	[°C]
$A_3, A_{c3}$	Označení teploty v diagramu Fe-Fe <sub>3</sub> C	[°C]
$A_{cm}$	Označení teploty v diagramu Fe-Fe <sub>3</sub> C	[°C]
F	Zatěžující síla	[N]
Zn	Zinek	
Pb	Olovo	
Sn	Cín	
Al	Hliník	
M	Mangan	
Cr	Chrom	



B	Bor	
C	Uhlík	
Si	Křemík	
P	Fosfor	
S	Síra	
Cu	Měď	
M10	Metrický závit velikosti 10	
D	Průměr	[mm]
Ø	Průměrná hodnota; Průměr	
σ	Směrodatná odchylka	

## **1. ÚVOD**

Pro spojování součástí se neustále ve velké míře využívají šroubové spoje. Zejména v automobilovém průmyslu, kde spojují množství součástí jak na karoserii, podvozku, tak i v oblasti motoru a jeho součástí.

Za zlepšováním a vyvíjením nových technologií nezaostává ani šroubárenský průmysl, kde byl vyvinut samotvářecí šroub, který nepotřebuje obrobený závit ve spojovaných součástech, ale postačí pouze předvrtaný otvor, kde si při montáži šroub vytvoří díky své geometrii závit. Díky tomu dochází ke značné ekonomické i časové úspoře na straně zákazníka při výrobě, neboť odpadá operace výroby závitu.

Ve firmě Kamax s.r.o. v Turnově, specializované na výrobu pevnostních šroubů pro automobilový průmysl, takovéto šrouby vyrábějí a to zatím se čtyřmi typy samotvářecích závitů, které se liší svou geometrií. Tyto typy závitu jsou podrobeny různým druhům tepelného zpracování a opatřeny různými druhy povrchové úpravy, což má vliv na velikost zašroubovacího momentu v aplikaci koncového zákazníka.

Právě zjištění těchto odlišných hodnot zašroubovacího momentu dalo podnět k vzniku této práce, která bude základním kamenem pro další rozšiřování projektu v budoucnu, kdy budou přidávány další typy závitů a povrchových úprav.

Výsledkem bude vytvoření srovnávací matice zašroubovacích momentů v závislosti na geometrii, tepelném zpracování a druhu povrchové úpravy. Což ve firmě Kamax s.r.o. umožní okamžitou reakci při volbě geometrie, tepelného zpracování a povrchové úpravy použité na díly nabízené zákazníkovi pro jeho konkrétní aplikaci.

## **2. TEORETICKÁ ČÁST**

Samotvářecí šrouby zkoušené v experimentu jsou vyráběny na strojích vysoké produktivity tvářením za studena, mají různou povrchovou úpravu a jako polotovary pro výrobu slouží tažený drát. Hlavní funkcí šroubu je tváření závitu ve spojovaných součástech. Teoretická část se tedy zabývá výrobou tvářením kovů za studena, tvorbou povrchu mechanickým či elektrochemickým způsobem, tvářením závitu a tepelným zpracováním, které je nezbytné pro získání potřebné tvrdosti a pevnosti.

### **2.1 TVÁŘENÍ KOVŮ**

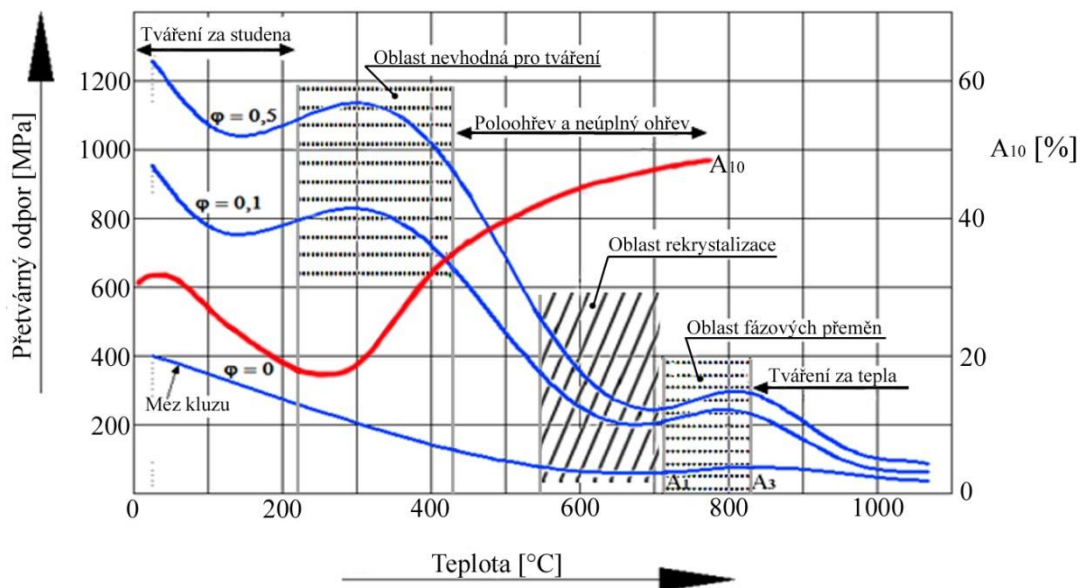
Při tváření, dochází za působení vnějších sil k požadované změně tvaru výrobku nebo polotovaru, případně jeho vlastností, bez odběru třísek při zachování objemu. Fyzikální změny struktury materiálu, které ovlivňují mechanické vlastnosti, jsou vyvolány plastickými deformacemi, které se projeví v okamžiku dosažení napětí na mezi kluzu tvářeného materiálu. [1]

Výhodami tváření jsou vysoká produktivita práce, která je při výrobě spojovacích součástí v tisících či milionech kusů velmi důležitá, vysoké využití materiálu a velmi dobrá rozměrová přesnost tvářených výrobků. Nevýhodou jsou investiční náklady na pořízení strojů a nástrojů, jejichž cena je vysoká a omezení rozměry konečného výrobku. [1]

#### **2.1.1 Tváření za studena**

Tváření za studena, specifické pro výrobu spojovacích součástí, které díky svým menším rozměrům nemusí být z hlediska dostatečně velké síly stroje ohřívány a získají tak i lepší mechanické vlastnosti, probíhá pod rekrystalizační teplotou, kdy teplota tváření je pod 30 % teploty tání tvářeného materiálu (obr. 1). V této oblasti dochází ke zpevňování materiálu, které se zachová. Zároveň roste odpor proti následujícímu tváření a dochází k vyčerpání plastičnosti tvářeného materiálu. Dále dochází k anizotropii mechanických vlastností vlivem vytváření textur, jež vznikají při deformaci zrn ve směru tváření. Díky zpevňování se zvyšují mechanické vlastnosti materiálu (mez pevnosti, mez kluzu) a klesá tažnost. Obnovení deformační

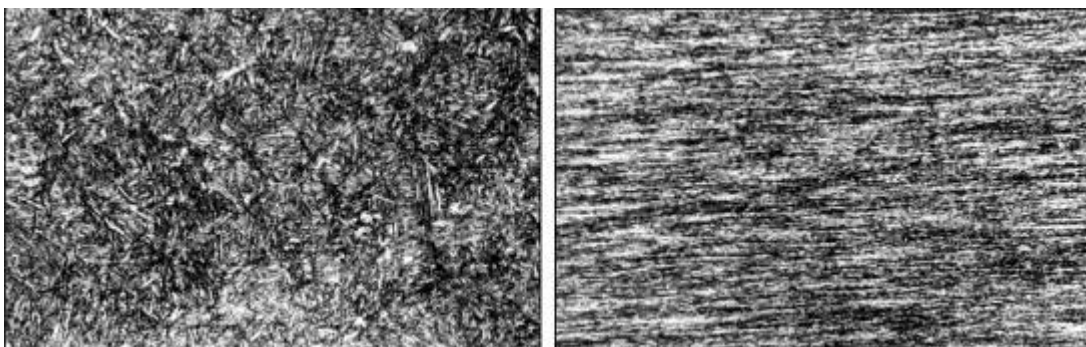
schopnosti materiálu zajistíme ohřátím, kdy v závislosti na velikosti teploty dojde k zotavení či rekrytalizaci. [1]



Obr. 1: Rozdělení tvářecích procesů podle teploty [1]

Výhodou tvářeni za studena je zkvalitnění povrchu, kdy nenastává okujení, přičemž se dosáhne lesklého povrchu. Vysoké přesnosti rozměrů, kdy součástky po tvářeni nemusí být dále zpracovávány, zlepšování vlastností vlivem zpevněním, vysoké produktivity, díky moderním automatům a ekonomické úspoře oproti tvářeni za tepla, protože výrobky nejsou ohřívány. [2]

Nevýhodou a omezením tvářeni za studena je působení velké síly při přetváření, která tak omezuje velikost vyráběných součástí, snížená tvářitelnost za studena a omezenost výroby některých složitých tvarů, protože se při tvářeni za studena využívá operací, kde působí především tlaková napětí.[2]



Obr. 2: Změna tvaru zrn v důsledku tvářeni [3]

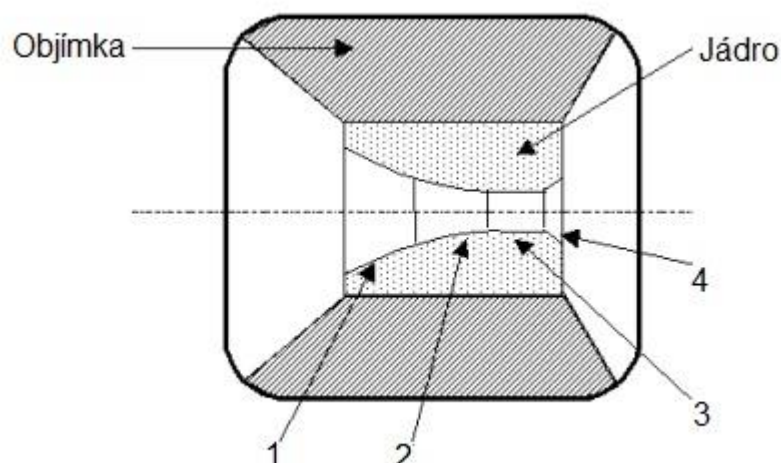
## 2.1.2 Tažení

Tažení je protahování polotovaru otvorem průvlastku, při kterém dochází ke zmenšování příčného průřezu a zvětšování délky. Výsledkem je dosažení přesných tvarů, rozměrů a vyšší jakosti povrchu, spolu se zlepšením mechanických vlastností. Vyrábí se tak dráty, trubky, profily a jako polotovary se používají např. tyče válcované za tepla. Stroje pro tažení jsou tažné stolice. [1]

### 2.1.2.1 Tažení drátů

Polotovarem pro výrobu spojovacích součástí je tažený drát, který se dodává uložený v kruzích, či v rozetě a buď čistě tažený nebo tepelně zpracovaný žiháním, aby byl pro další tváření zajištěn dostatek plastičnosti.

Tažení drátů je vícestupňový tvářecí proces probíhající za studena. Přetvoření je omezeno plasticitou a pevností daného materiálu. Redukci průřezu podporuje radiální tlak vznikající v kuželové části průvlastku (Obr. 3) a nutnou deformační práci, díky které se mění rozměry, vykonávají tahové síly spolu s tlakovými. U tažení drátů (trubek, profilů) je důležité zajištění snížení vnitřního pnutí pomocí maziva, které snižuje součinitel tření, odděluje polotovar a průvlastek, odvádí teplo a zajišťuje hladký povrch. Jinak by mohlo docházet k porušení drátu a vzniku trhlin, které by při dalším použití drátu jako polotovaru tvořili nežádoucí vady. [1]



Obr. 3: Schéma průvlastku [4]

(1 – vstupní kužel, 2 – mazací kužel, 3 – tažný kužel, 4 – kalibrační kužel)

### 2.1.3 Technologie protlačování

Tato technologie se používá pro výrobu finálních výrobků nebo polotovarů (trubek, tyčí, profilů, apod.). V případě spojovacích součástí jako jsou šrouby na výrobu polotovarů pro další tvářecí operaci, kterou je válcování závitu. [1]

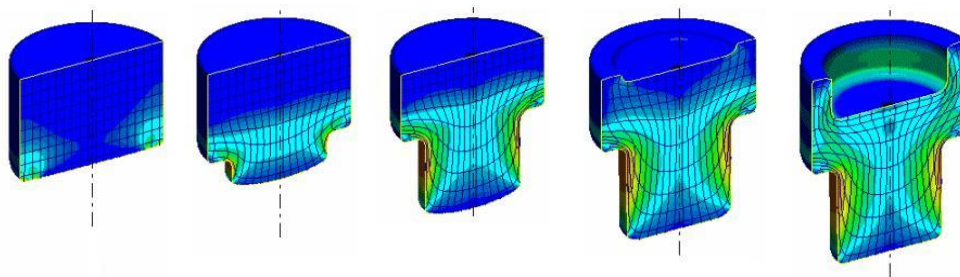
Protlačování lze jako technologii dále rozdělit podle teploty - na protlačování za tepla, za polohřevu a za studena. Dle směru materiálu a nástroje

na dopředné, zpětné, kombinované, stranové a radiální. [1]

Při procesu tažení je v elementu materiálu, který je tvářen, trojosá a všestranně tlaková napjatost. Směr toku tvářeného materiálu je určen konstrukcí nástroje, tzv. protlačovadla. A výsledkem je výrobek nazývaný protlaček. [1]

#### 2.1.3.1 Princip protlačování

Principem protlačování je deformace materiálu v důsledku působících sil do předem stanoveného směru s konečnými výhodnými mechanickými a rozměrovými vlastnostmi konečného výrobku (obr. 4). Protlačování je jedním z procesů, které přispěly k výraznému snížení vlastních nákladů ve výrobě, tedy i k racionalizaci výroby. Přesnost protlačků je obvykle velmi vysoká ( $\pm 0,05$  mm), takže není nutno před montáží protlačky rozměrově upravovat. Využití materiálu je také vysoké, 90 až 100 %. [1]



Obr. 4: Kombinované protlačování [5]

Jakost a výchozí stav materiálu má výrazný vliv na technologii a proces protlačování. Vzhledem k velikosti přetvárných odporů jsou pro protlačování vhodné materiály s tažností větší, než 10 % a kontrakcí větší než 50 % (oceli s obsahem uhlíku do 0,2 % C). Nevhodné jsou materiály, u kterých je nutno vynaložit specifický tvářecí tlak větší jak 2500 MPa, anebo nelze během jedné operace v důsledku chemického složení (tedy zpevnění) získat

deformaci alespoň 25 %. Materiály s nízkou přetvárnou pevností, hliník a jeho slitiny, se dají protlačovat na jednu operaci. Oceli a ostatní kovy se protlačují na více operací. Někdy je potřeba provádět i mezioperační žihání (nejdříve rekrytalizační a potom na měkko).[1]

### 2.1.3.2 Vliv tření na proces protlačování

U vzájemného styku dvou těles je při jejich vzájemném relativním pohybu charakterizující součinitel tření, definovaný jako poměr smykového a normálového napětí ve stykové ploše. Tření ve stykové ploše průtlačníku a průtlačnice výrazně ovlivňuje proces tváření, způsobuje změnu napjatostí, energií potřebných pro tváření a má výrazný vliv na životnost nástroje. Zejména u ocelí se musí provádět vhodná povrchová úprava, jinak dochází k suchému tření a zadření nástroje. Povrchová úprava se skládá z:

- Odstranění povrchových vad (otryskávání, broušení, moření u Al, ...).
- Z chemického a mechanického čištění (omývání, sušení, ...).
- Z fosfátování
- Z nanesení vrstvy maziva. [1] [6]

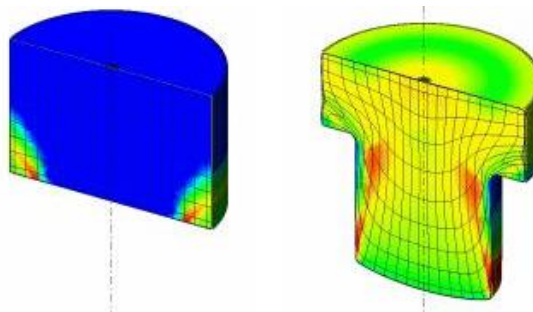
Velikost třecích sil a třecí podmínky mají vliv i na průběh tečení kovu. Závisí na drsnosti povrchu průtlačníku, průtlačnice, jejich opotřebení a na způsobu mazání. Volba maziva se liší podle druhu protlačovaného kovu. Mazivo musí být teplotně stálé, nesmí reagovat s materiálem nástrojů a musí vytvořit homogenní vrstvu (film). U hutnického protlačování se používá jako mazivo sklo nebo látky na jeho bázi. U menších výrobků z oceli, jako například u šroubů, se používá fosfátování, kdy je fosfát nanesen na tažený drát, sloužící jako polotovar. Při protlačování neželezných kovů se používá tzv. košilka (mezera mezi průtlačníkem a průtlačnicí). [6]

### 2.1.3.3 Dopředné protlačování

Při dopředném protlačování se částice materiálu pohybují ve směru průtlačníku. Výchozím polotovarem bývá kalota, získaná např. upichováním, nebo ustřížením z tyčového materiálu, drátu, jako je to v případě výroby šroubů, kdy si stroj sám navádí drát a stříhá z něj polotovar. Výlisky mohou mít kruhový i hranatý tvar, u kterého je nutné zabránit zadírání zaoblením



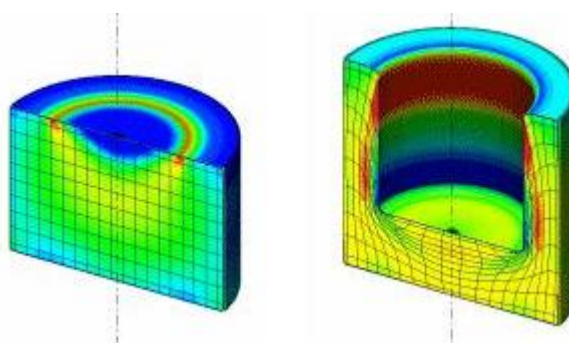
rohů. Používá se při tváření spojovacích materiálu, pouzder, apod., tedy výrobků, u kterých není konstantní průřez (obr. 5).[1]



Obr. 5: Dopředné protlačování [5]

#### 2.1.3.4 Zpětné protlačování

Při zpětném protlačování se částice materiálu pohybují v opačném směru proti průtláčnicku a používá se k výrobě dutých výlisků. Vnitřní tvar dává výlisku průtláčnick a vnější tvar průtláčnice (obr. 6).[1]



Obr. 6: Zpětné protlačování [5]

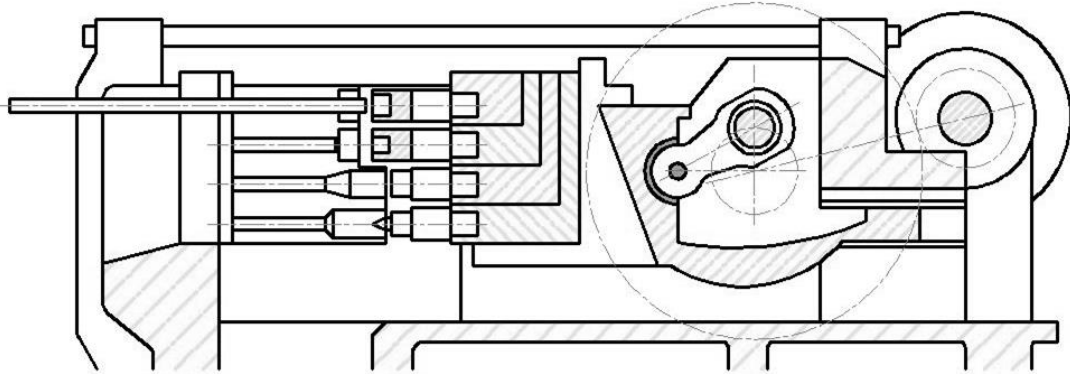
#### 2.1.3.5 Kombinované protlačování

Při kombinovaném protlačování jsou částice materiálu přesouvány ve směru i protisměru pohybu průtláčnicku. Aby materiál dobře zatekl až na dno, musí být stupeň deformace v dolní části průtláčnicku menší než v horní části.[1]

#### 2.1.3.6 Vodorovné kovací stroje k protlačování

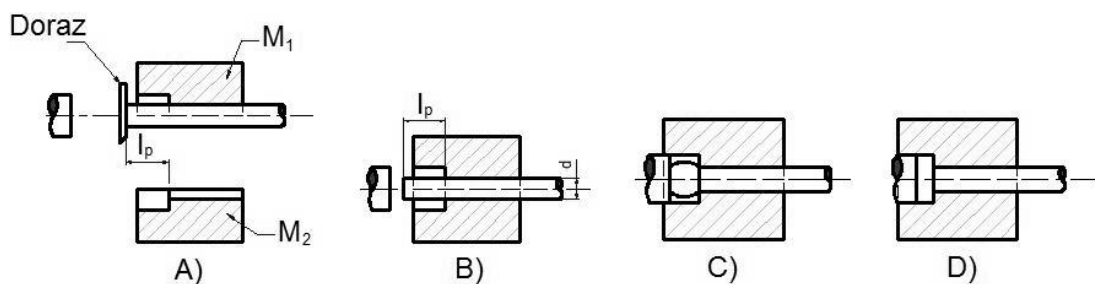
Vodorovné kovací stroje (dále pouze VKS) jsou stroje, které ve výrobě zajišťují částečnou nebo úplnou automatizaci výroby. Patří ke skupině strojů s klikovým mechanismem. Dá se říci, že jsou to v podstatě horizontální klikové lisy. Jedna pracovní část stroje je upnutá na smykadle a spolu s ním vykonává ve vodorovném směru přímočarý pohyb vratný. [7]

Při výrobě spojovacích součástí tyto stroje vykazují vysokou produktivitu, kde časové rozmezí mezi jednotlivými kroky při tváření je velmi krátké a stroj tak za hodinu může vyrobit až tisíce kusů výrobků, což je z časového a hlavně ekonomického hlediska velmi přínosné. Tím pádem se takovýto stroj vyplatí i přes jeho vysoké pořizovací náklady.



Obr. 7: Schématický náčrt stroje (přodorys) [7]

Například při výrobě polotovaru šroubu s kulatou hlavou (Obr. 8), naváděcí mechanismus navede drát do stroje, kde je ustřižen na požadovanou délku, poté ho podávací mechanismus přesune do dutiny v nehybné (pravé) polovině části lisovnice  $M_1$  tak, až se konec polotovaru dotkne dorazu (obr. 8A - znázorněn je přední doraz). Poté se uvede v chod boční (příčné) a hlavní smykadlo stroje. Když obě části lisovnice stisknou tyč (obr. 8B), pohybuje se hlavní smykadlo dále a část tyče (délky  $l_p$ ) se tlakem lisovníku deformuje, takže kov vyplňuje dutinu (obr. 8C, 8D). Dutina může být celá buď v lisovnici nebo v lisovníku, nebo zčásti v lisovnici a zčásti v lisovníku. [7]



Obr. 8: Postup jednotlivých kroků na VKS [7]

Mimo takovouto charakteristickou operaci jako je pěchování, lze na VKS hlavně redukovat průřez součásti různých tvarů, což je u tvarově složitějších výrobků, např. šroubů s několika průřezy, velmi důležitá operace. Dále lze provádět výrobu slepých dutin, průchozí děrování, stříhání a ohýbání. [7]

#### **2.1.3.7 Nástroje pro protlačování**

Geometrie nástroje se odvíjí od požadovaného tvaru finálního výrobku. Například pro šrouby je to tvar hlavy, její dosedací plochy, tvar dutiny pro montážní klíč a průřezové redukce dřívku. Geometrii však nelze volit libovolně a tvarové části nástroje jako rádiusy, úkosy a zaoblení musí být voleny s ohledem na možnosti výroby a zároveň na požadavky zákazníka. Nástroj je složen z průtlačníku a průtlačnice a je namáhán vysokými měrnými tlaky. Proto se klade důraz na jeho materiál, tepelné zpracování a drsnost povrchu. [1]

#### **2.1.3.8 Výhody a zvláštnosti protlačování**

Díky deformaci při protlačování za velmi výrazného všestranného nestejněmého stlačení, se dosáhne vysoké tvárnosti (plastičnosti). Rozšiřuje se oblast použití málo tvárných ocelí pro kování za tepla, neboť při protlačování oproti pěchování nevznikají trhliny. Protlačováním lze vyrobit velmi přesné rozměry dřívkové části v tolerancích několika setin milimetru. Lze k němu používat levnějšího polotovaru z válcovaného materiálu běžné nebo vyšší přesnosti a přesto můžeme díky zpevnění, které se vytváří při protlačování, získat kvalitní mechanické vlastnosti a strukturu výkovků, srovnatelnou s výkovky vyrobenými jinými postupy. Oproti kování lze vyrobit protlačováním výrobky na mnohem méně operací a díky mechanizaci vkládání a předávání polotovarů se dá částečně či plně automatizovat. [8]

#### **2.1.4 Technologie válcování**

Kontinuální proces prováděný za tepla nebo za studena, kdy za převažujícího všestranného tlaku dochází k tváření a deformaci materiálu mezi rotujícími pracovními válci. Mezera mezi pracovními válci je menší než vstupní výška materiálu a dochází tak k snižování průřezu válcovaného materiálu a zároveň k jeho rozšiřování a prodlužování. Díky redukci průřezu

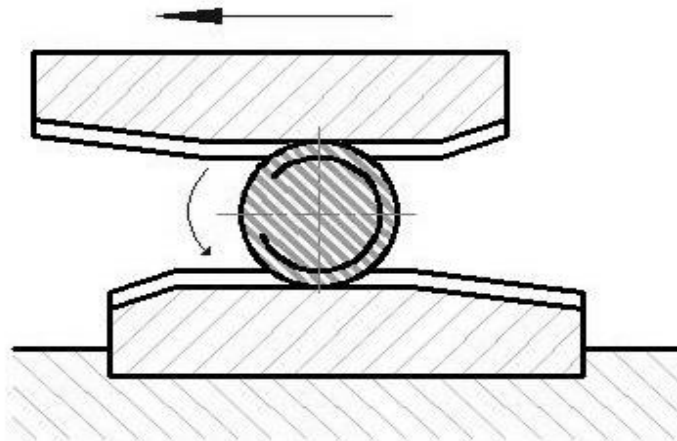
se mění i rychlost materiálu, s kterou materiál vystupuje z válcovací stolice.[1]

Proces válcování je umožněn jen v důsledku tření mezi pracovními válci a válcovaným materiálem. Koeficient tření  $f$  je závislý na kvalitě povrchu válců, tedy na stykových plochách a také na měrném tlaku, tedy na charakteru prokluzu. Součinitel tření a měrný tlak způsobují vznik dvou sil v místě válcování, a to normálové a tečné síly. Limitní podmínkou válcování, která vychází ze silového působení normálových a třecích sil v místě válcování je, že součinitel tření musí být vyšší (nebo minimálně roven) než polovina úhlu záběru, tedy  $f > \operatorname{tg} \alpha_0/2$ . [1]

#### 2.1.4.1 Válcování závitů

Při válcování závitů dochází také k mírnému prodloužení a změně průřezu, proto je nutné ho při návrhu polotovaru vzít v potaz. Polotovar šroubu je nepatrně kratší a má průměr dříku pro válcování závitu přibližně stejný jako je střední průměr budoucího vyválcovaného závitu.

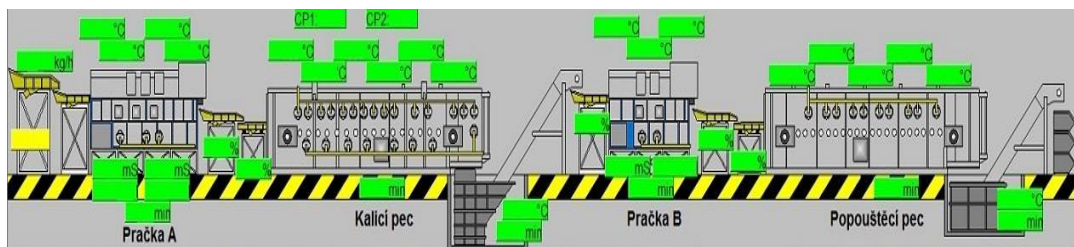
Výroba tvářených závitů je zvláštním způsobem válcování (obr. 9). Závity lze válcovat mezi kotouči (jedním, dvěma nebo třemi) nebo mezi paknami s negativem profilu požadovaného závitu. Nástroj se při odvalování postupně zatlačuje do polotovaru, přičemž postupuje i osově podle stoupání závitu. Zatlačování je vyvozeno hydraulikou. Výhodou tvářených závitů je jejich vyšší únosnost, než je tomu u obráběných závitů, protože zde nedochází k porušení textury materiálu, které při tváření za studena vede k zpevňování a zvyšování mechanických vlastností. [1]



Obr. 9: Válcování závitů [1]

## 2.2 ZUŠLECHŤOVÁNÍ MATERIÁLU

Pro dosažení vhodné struktury a vlastností materiálu, zejména pevnosti, tvrdosti, odolnosti proti opotřebení, bez změny chemického složení oceli, s vysokou vrubovou houževnatostí, se nejčastěji využívá zušlechťování. Je to proces, který se skládá z kalení a popouštění. Hlavní principem je ohřev na určitou teplotu, výdrž na této teplotě a poté ochlazení. Rychlosti ochlazení jsou dány ARA diagramy, které určují rychlost ochlazování pro vytvoření požadované struktury. Celý tento proces se dá provést najednou na kalících linkách (Obr. 10), které výrobek (polotovár) zakalí a v dalším kroku popustí. [9]



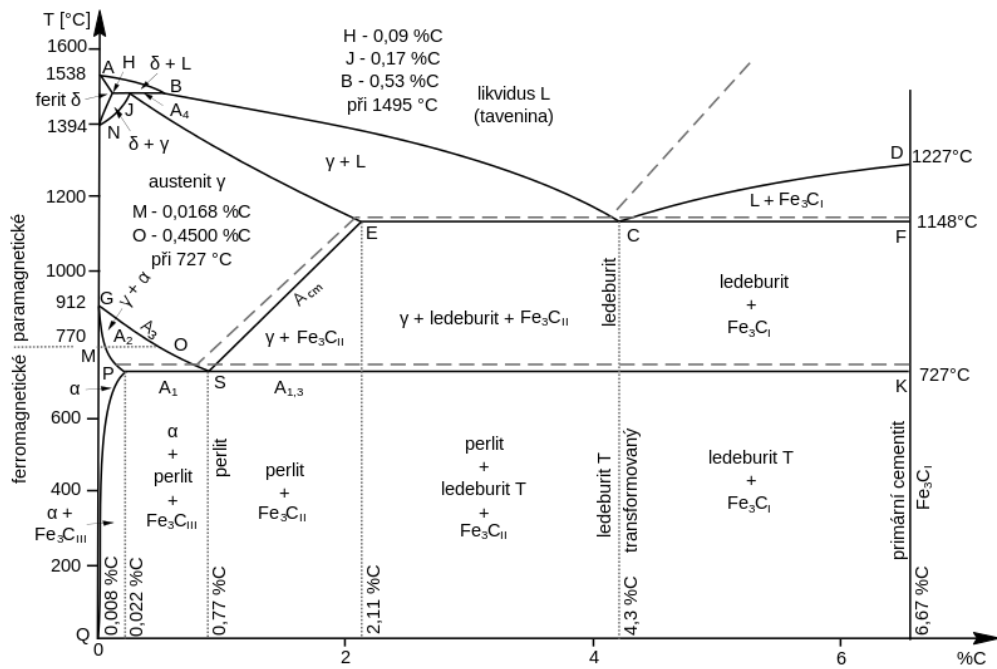
Obr. 10: Schématické zobrazení kalící linky

### 2.2.1 Kalení

Hlavním účelem kalení je zvýšení tvrdosti a pevnosti materiálu. Při kalení se ocel ohřeje 30-70°C nad teplotu austenitizace (Obr. 11), u podeutektoidních ocelí je to nad teplotu  $A_3$ , u eutektoidních a nadeutektoidních nad  $A_1$ , výdrž na této teplotě, abychom dosáhli homogenního austenitu, případně jeho směsi se sekundárním cementitem a ochlazení vyšší než kritickou rychlostí, čímž se potlačí vznik feritu a perlitu a zachovaný nestabilní austenit se přemění na bainit nebo martenzit. [10]

#### 2.2.1.1 Kalitelnost

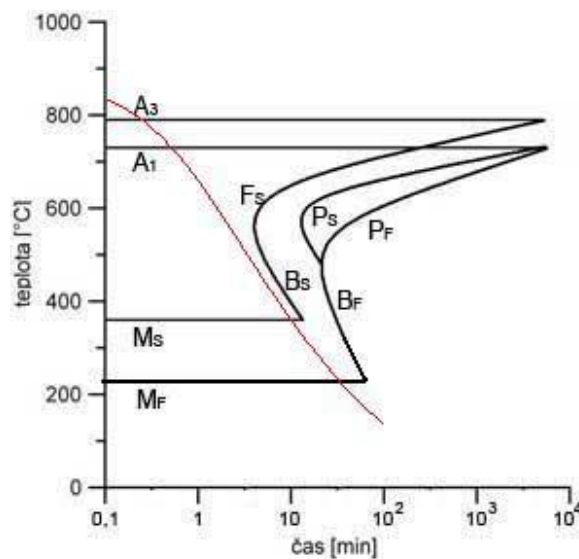
Kalitelnost je schopnost oceli dosáhnout pomocí kalení zvýšené tvrdosti. Nejvyšší dosažitelná tvrdost je dána obsahem uhlíku v oceli. Oceli s malým obsahem C, do 0,2 % považujeme za nezakalitelné a oceli s více než 0,35% obsahu C za dobře kalitelné. [10]


 Obr. 11: Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C [11]

### 2.2.1.2 Prokalitelnost

Je to schopnost dosáhnout po kalení v určité hloubce pod povrchem tvrdosti odpovídající kalitelnosti dané oceli při 50% martenzitu ve struktuře. Prokalitelnost bude převážně závislá na tvaru ARA diagramu (Obr. 12), čím delší bude inkubační doba, tím můžeme dosáhnout větší hloubky zakalené vrstvy při ochlazování. [10]

Prokalitelnost se zjišťuje čelní zkouškou prokalitelnosti (Jominyho zkouška). [10]

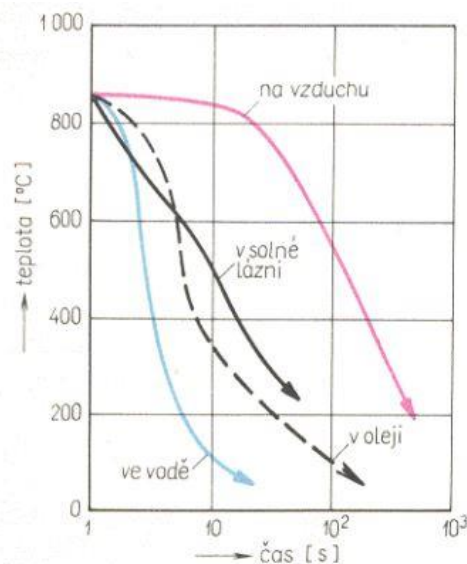


Obr. 12: ARA diagram podeutektoidní oceli [9]

### 2.2.1.3 Kalící prostředí

Pro oceli s malou prokalitelností, tj. s krátkou inkubační dobou dle ARA diagramu, musíme volit intenzivnější kalící prostředí. U ocelí s větší prokalitelností postačí prostředí s menší intenzitou ochlazování (olej, vzduch). Při velké rychlosti ochlazování (intenzivním ochlazování) dochází vlivem rozdílných teplot mezi povrchem a jádrem k velkým tepelným pnutím, která se přidávají k pnutím způsobeným vlastní martenzitickou přeměnou. Díky tomu může dojít až k deformaci součásti nebo dokonce k jejímu prasknutí. [10]

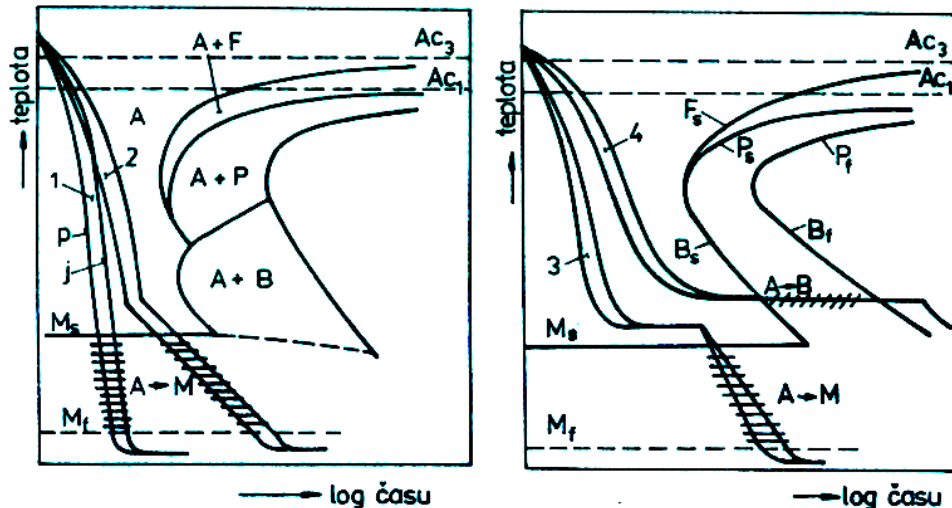
Mezi nejznámější kalící prostředí patří voda, olej, vzduch, roztavené solné a kovové lázně. Všechna tyto prostředí mají různou ochlazovací intenzitu a průběh ochlazování (Obr. 13). [10]



Obr. 13: Průběh ochlazování ve středu vzorku u  $\varnothing 10$  mm, kalených z teploty  $850^{\circ}\text{C}$  do různých prostředí [10]

### 2.2.1.4 Druhy kalení

Základní dva druhy kalení jsou Martenzitické a Bainitické. Názvy jsou odvozeny dle výsledné struktury, kterou chceme po zakalení získat. Další dělení je podle způsobu řízeného ochlazování (viz Obr. 14). Martenzitické kalení se dělí na nepřetržitě a přetržitě, které se dále dělí na lomené, termální a se zmrazováním. Bainitické se dělí na nepřetržitě (pro oceli s předsunutou bainitickou oblastí v ARA diagramu) a izotermické kalení. [10]



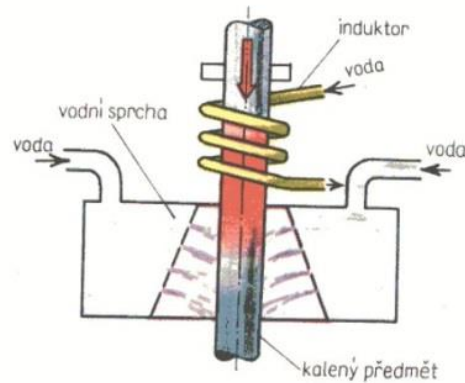
Obr. 14: Způsoby kalení: 1 - základní kalení, 2 – lomené kalení, 3 – termální kalení, 4 – izotermické kalení; j – jádro, p - povrch[12]

### 2.2.1.5 Povrchové kalení

Povrchové kalení spočívá v rychlém zahřátí povrchu oceli do oblastí stability austenitu (plamenem, indukčním ohřevem nebo lasere) a následně se prudce ochladí (proudem vzduchu, vody, nebo pouze odvodem tepla do jádra materiálu). V povrchové vrstvě dojde k martenzitické transformaci, zatímco jádro zůstává neovlivněno a zachovává si svoji houževnatost danou počáteční strukturou celého materiálu. [13]

Pro speciální spojovací součásti, které musí mít pro jejich danou aplikaci dostatečnou pevnost a tvrdost v oblasti závitu, se využívá indukční kalení. Používají se dva druhy, střední nebo vysokofrekvenční. Provádí se pomocí induktoru, který má tvar kalené plochy a je většinou z měděné trubky, kterou prochází chladící medium. Díky průchodu střídavého proudu induktorem dochází k indukci střídavého magnetického pole a vzniku vířivých proudů stejné frekvence. Intenzita od povrchu ke středu klesá. Rychlost a hloubka ohřevu závisí na použité frekvenci a příkonu. [14]





Obr. 15: Schéma indukčního ohřevu a indukčního povrchového kalení [10]

### 2.2.2 Popouštění

Zakalená ocel do oblasti martenzitu vykazuje značné vnitřní pnutí, velkou tvrdost a křehkost. Proto po kalení následuje popouštění, aby se snížilo vnitřní pnutí v materiálu a jeho křehkost (popř. pro získání houževnatější struktury). Principem popouštění je i u jako ostatních tepelných zpracování ohřev na určitou teplotu, výdrž na této teplotě a ochlazení. V případě popouštění se materiál ohřívá pod teplotu  $A_1$  (Obr. 13). [10]

Dle popouštěcí teploty dělíme na:

- a) popouštění za nízké teploty, přibližně do  $350^{\circ}\text{C}$
- b) popouštění za vysoké teploty, obvykle  $350\text{-}600^{\circ}\text{C}$  [10]

## 2.3 POVRCHOVÉ ÚPRAVY

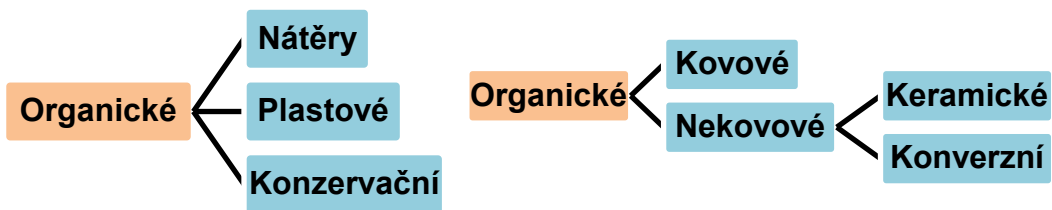
Při používání výrobků v různých prostředích, aplikacích a součástech, dochází k jejich vzájemnému styku, interakci a materiál součásti se opotřebovává, ať už mechanicky, chemicky nebo elektrochemicky. Pro zvyšování jakosti, spolehlivosti, užité hodnoty, ekonomičnosti a technické úrovně výrobků, je pro jejich používání nezbytné používání různých povrchových úprav, které vliv nepříznivých podmínek potlačují nebo se je snaží odstranit. Mezi takovéto nepříznivé podmínky se řadí například degradace vlivem opotřebení a koroze. Povrchové úpravy tedy ovlivňují svými vlastnostmi životnost, provozní spolehlivost, nároky na údržbu, využitelnost, funkčnost a vzhled součásti. Ovšem nesprávně nebo nevhodně provedená povrchová úprava může mít za následek i celkové znehodnocení nejen jedné součásti, ale i celkového výrobku.[15]

### 2.3.1 Rozdělení povrchových úprav

Povrchové úpravy se z chemického hlediska dělí na organické a anorganické (Obr. 16). [16]

Další dělení je na povlaky a vrstvy. Vrstva je vnější součástí materiálu, ve které dochází k chemickým a strukturálním změnám. Tyto změny mají plynulou přechodovou oblast, díky difúzním pochodům, které jsou na povrchu intenzivnější a směrem do středu jejich působení pozvolna klesá (např. vrstvy vzniklé legováním nebo přímým zpracováním povrchu základního materiálu). [16]

Povlak je vrstva cizího materiálu nanášená na základní. Díky tomu se zvětšují rozměry součásti a vlivem odlišných materiálu, které mezi sebou nemají plynulou přechodovou oblast, dochází ke skokové změně chemických, fyzikálních a mechanických vlastností. Proto při nanášení povlaků často nastává problém s jeho nedostatečnou adhezí. [16]



Obr. 16: Základní dělení povrchových úprav [16]

### 2.3.2 Žárové pokovování v roztavených kovech

Jedná se o jednoduchou a rychlou metodu pro vytvoření povlaků dostatečných tloušťek s malou pórovitostí, vhodnou jak pro úpravu polotovarů, jako jsou pásy, plechy, dráty apod., tak i pro finální výrobky. Principem je ponoření očištěného předmětu přes tavidlo do kovové lázně, kde vrstva roztaveného kovu díky tavidlu lépe ulpí na předmětu a po vytažení z lázně tato vrstva ztuhne a stává se tak ochranným povlakem. Díky reakci s roztaveným kovem a tepelným zatížením dochází k vytvoření difúzní mezivrstvy intermetalických fází, která má za následek dobrou soudržnost povlaku s pokovovaným předmětem. Nevýhodou této technologie je

množství použitelných ochranných kovů, které musí mít nízkou teplotu tání, aby nedocházelo k ovlivnění základního materiálu. [15]

Nejčastěji používanými materiály jsou Zn, Sn, Pb a Al. [15]

### 2.3.3 Elektrochemické (galvanické) pokovování

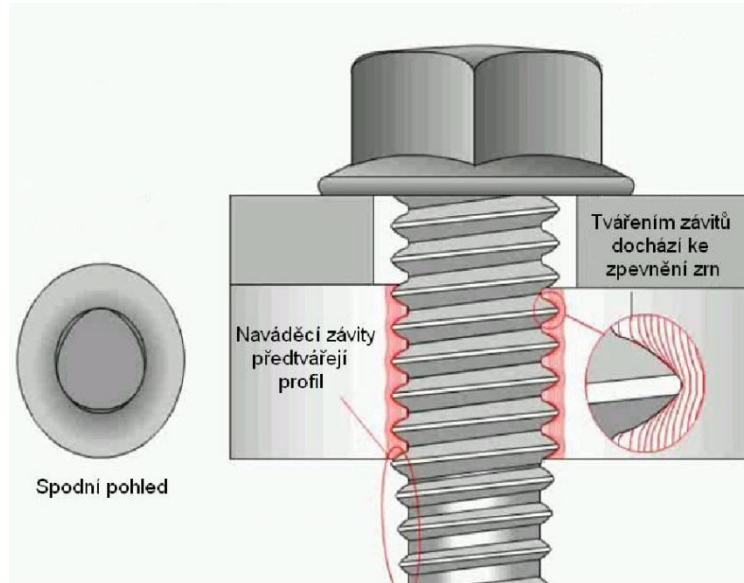
Tato dlouho známá technologie slouží jak pro vytváření tenkých povlaků, tak i pro jejich nanášení na součásti složitých tvarů, především z důvodu korozní ochrany. Základním elektrochemickým dějem je elektrolyza a děje probíhající v galvanických člancích. [15]

Princip elektrolyzy: „Rozpustná anoda uvolňuje kladné ionty kovu do roztoku, které se na katodě vylučují jako čistý kov. Na rozhraní roztok-povrch je určité krystalizační napětí do 100  $\mu\text{m}$ , kovový iont je neutralizován do mřížky. Elektrolyt tvoří roztok soli vylučovaného kovu a vodící sůl pro zvýšení elektrické vodivosti.“ [17]

## 2.4 Samotvářecí šroub

Tento šroub slouží pro přímé sešroubování spojovaných součástí. Díky svému unikátnímu tvaru a náběhu je schopen v protilehlém kusu vytvořit závit, kdy při montáži dojde k přetvoření základního materiálu (Obr. 17). Šrouby jsou standardně opatřeny metrickým závitem, což v případě potřeby umožňuje jeho bezproblémovou výměnu za normální šroub s metrickým závitem. Šrouby jsou vyráběny jak pro kovové materiály, tak i pro spojování dílů z umělých hmot, kde se liší svým tvarem závitu, jeho geometrií, profilem, náběhovou částí a hlavně pevností, která pro spojování ocelí musí mít vysokou pevnost, která je zajištěna indukčním kalením, cementací nebo jinou povrchovou úpravou.

Hlavními výhodami tohoto šroubu je zhotovení závitu bez vzniku ostřin, pouze za pomoci tváření, kde nedojde k porušení vláken základního materiálu. Díky tomu dochází ke zpevňování závitu za studena. Odpadá řezání závitu a šroub se může použít přímo do vrtaných, předlitých, prostřížených otvorů a šetří náklady na obrábění závitu. Spoj je navržený tak, aby se předešlo poškození závitu při montáži (tzv. cross threading). Vstupní kroutící moment a volnost mezi základním materiálem a závitem, zaručuje vyšší odolnost proti samovolnému uvolňování spoje.

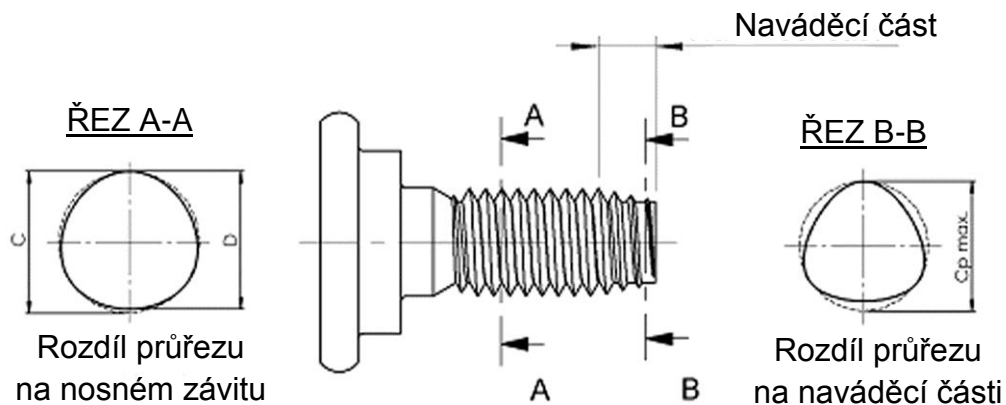


Obr. 17: Tvářením závitu samotvářecím šroubem

### 2.3.3 Geometrie samotvářecího šroubu

Právě díky své unikátní geometrii a tvaru umožňuje přímé spojení součástí. Šroub má dvě základní části, naváděcí a tvářecí, případně stabilizační. Není kruhového průřezu jako normální šrouby, ale má tvar zaobleného trojúhelníka tzv. trilobulární tvar (Obr. 18).

Geometrie naváděcí a tvářecí části se u každého typu závitu mění. Liší se délkou naváděcí části, rozdílem průřezů vůči opsané kružnici  $C_{p \max}$  a profilem závitu. Rozdílem mezi  $C$  ( $C_{p \max}$ ) a  $D$  se zajistí větší či menší trilobularita. Díky variabilitě geometrie může být dosaženo nízkého krouticího momentu při počátku šroubování a ovlivnění velikosti axiálních sil nutných k zašroubování.



Obr. 18: Příklad geometrie samotvářecího šroubu

### **3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST**

Cílem této experimentální části je měření zašroubovacího momentu, vizuální hodnocení deformace závitu a porovnávání různých vlivů na funkčnost několika typů závitu samotvářecího šroubu.

K vyhodnocení je provedena zkouška zašroubovatelnosti pro každý typ závitu - zjištění zašroubovacího momentu potřebného k vytvoření závitu samotným dílcem v protikus. Posouzení vlivu povrchové úpravy na tento moment, vizuální kontrola deformace závitu, kontrola průchodnosti vytvořeného závitu standardním šroubem s metrickým závitem, ověření pevnosti a tvrdosti celého dílu a mikrotvrdosti indukčně zakalené části závitu.

Všechna tato měření jsou prováděna ve firmě Kamax s.r.o. v Turnově.

#### **3.1 POPIS VZORKŮ V EXPERIMENTU**

Hlavním posuzovaným kritériem je funkčnost závitu. V experimentu jsou posuzovány čtyři druhy samotvářecích závitů o rozměru M10. Jako dílce pro závity sloužili šrouby s označením KX 136341, KX 136307, KX 136003 a KX 136507 (Obr. 19). Každý ze vzorků byl tepelně zpracován a zušlechtěn na pevnost 10.9. Poté byla jedna polovina vzorků od každého typu závitu indukčně zakalena dle normy: WD 952. Po tepelném zpracování následovala povrchová úprava, kdy bylo použito pěti různých povrchových úprav, nanesených na každý druh závitu a tepelné zpracování. Celkem tedy porovnáváme 40 druhů vzorků.

Z důvodu ochranné známky na tuto technologii nelze uvádět přesné hodnoty geometrie a názvy. Jednotlivé názvy (označení) typů závitů, jsou v této práci uvedeny jako ZÁVIT A, ZÁVIT B, ZÁVIT C a ZÁVIT D (Obr. 20, 21)



*Obr. 19: Zleva – KX 136341; KX 136507; KX 136003; KX 136307 po tepelném zpracování*

### 3.1.1 Materiál vzorků

Vzorky jsou vyráběny z oceli 23MnB4 a 37Cr4. Chemické složení ocelí viz. tabulka č.1. Polotovarem je svitek taženého fosfátovaného drátu o  $\varnothing 9,74\text{mm}$ .

Tab. 1: Chemické složení materiálu vzorků

Chemické složení materiálu vzorků [%]							
Materiál: 23MnB4							
C	Si	Mn	P	S	Cr	B	Cu
0,24	0,13	1,2	0,01	0,09	0,21	0,0029	0,23
Materiál: 37Cr4							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Cu
0,35	0,08	0,85	0,01	0,05	1,15	0,01	0,08

### 3.1.2 Závity vzorků

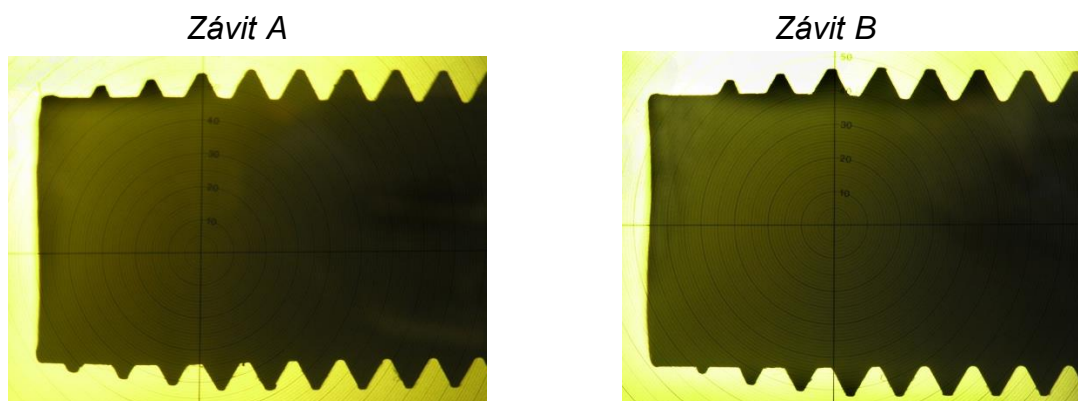
Závity se od sebe liší délkou naváděcí, tvářecí části závitu a jeho profilem.

*Závít A:* Naváděcí část 3 – 4 závity, malá trilobularita, lichoběžníkový profil závitu

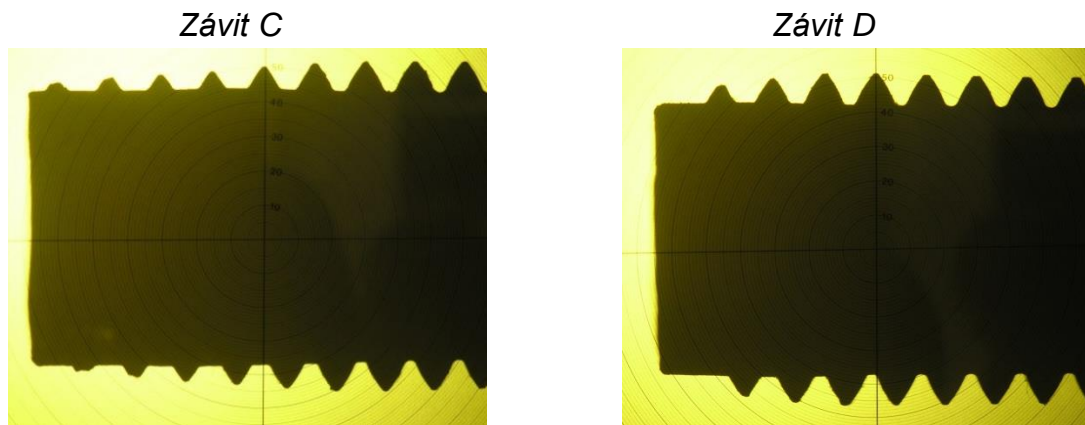
*Závít B:* Naváděcí část 2 – 3 závity, větší trilobularita, lichoběžníkový profil závitu

*Závít C:* Naváděcí část 2 – 5 závitů, malá trilobularita, rádiusový profil závitu

*Závít D:* Naváděcí část 2 – 2,5 závitu, větší trilobularita, rádiusový profil závitu



Obr. 20: Typy zkoušených závitů A a B

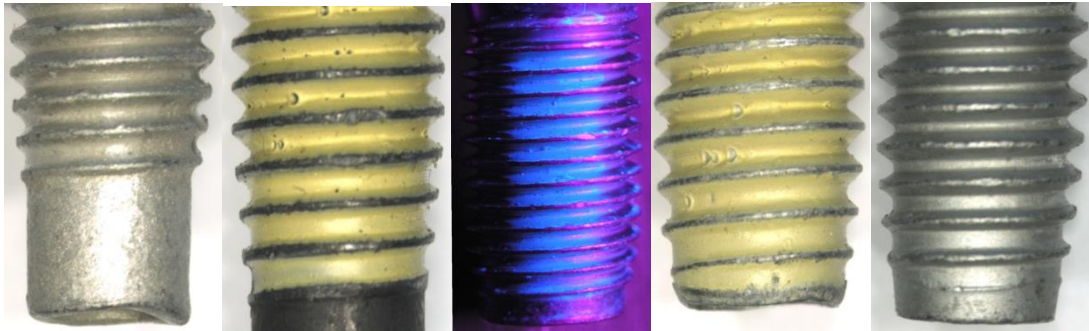


Obr. 21: Typy zkoušených závitů C a D

### 3.1.3 Povrchy vzorků

V experimentu je použito pět druhů povrchové úpravy, které se liší technologií nanášení a přidavkem mazadla.

- Magni 565 + OKS – tzv. organický zinek, mechanicky nanášený, s transparentním mazadlem OKS s UV indikátorem viditelným pod UV světlem. Koeficient tření 0,12 – 0,18.
- DPKL 100-VH301+OKS1765 – mechanicky nanášený, lamelový zinek, opatřený integrovaným mazadlem v pojivu VH301, navíc s mazadlem OKS 1765 na povrchu. Koeficient tření 0,08-0,14.
- ZnNi8 TTFA – galvanicky nanášený Zinek-Nikl, s transparentním mazadlem TTFA s UV indikátorem viditelným pod UV světlem. Koeficient tření 0,09 – 0,14
- Geomet 321+VL+OKS 1765 – mechanicky nanášený, lamelový zinek, opatřený integrovaným mazadlem v pojivu lamel, navíc s mazadlem OKS 1765 na povrchu. Koeficient tření 0,09-0,15
- Geomet 321+VL – mechanicky nanášený, lamelový zinek, opatřený integrovaným mazadlem v pojivu lamel, bez dodatečného mazadla na povrchu. Koeficient třené 0,08-0,14.



Obr. 22: Zleva: Magni 565+OKS; DPKL 100-VH301+OKS1765; ZnNi8 TTFA; Geomet 321+VL+OKS 1765; Geomet 321+VL

### 3.1.4 Zkušební destičky

Pro zkoušku zašroubovatelnosti jsou nezbytné zkušební destičky (Obr. 23) s předvrtanými otvory. Pro kalené šrouby na pevnost 10.9 je určena destička z hliníku dle normy DIN 267-30 a pro indukčně kalené šrouby destička z uhlíkové oceli dle normy WD 952. Hodnoty dané normami jsou zaznamenány v tabulce č.2.

Tab. 2: Dané hodnoty pro zkušební destičky

norma: DIN 267-30		
Tvrдост [HB]	ø díry [mm]	výška destičky [mm]
85-115	9,300-9,336	20
norma: WD 952		
Tvrдост [HV]	ø díry [mm]	výška destičky [mm]
115-150	9,20-9,24	10



Obr. 23: Zkušební destičky pro zkoušku zašroubovatelnosti



## 3.2 PROVÁDĚNÉ EXPERIMENTY

Experimenty byly prováděny dle následujícího postupu:

1. Měření pevnosti na trhacím stroji pro kontrolu pevnosti celého dílu.
2. Měření tvrdosti pro kontrolu tvrdosti celého dílu.
3. Měření mikrotvrdosti pro kontrolu tvrdosti indukčně zušlechtěné povrchové části závitů
4. Zkouška zašroubovatelnosti závitu pro zjištění zašroubovacího momentu.
5. Vizuální kontrola deformace závitu po vyšroubování
6. Kontrola průchodnosti závitu vytvořeného v kontrolní destičce dílem se standardním metrickým závitem.

### 3.2.1 Měření pevnosti na trhacím stroji

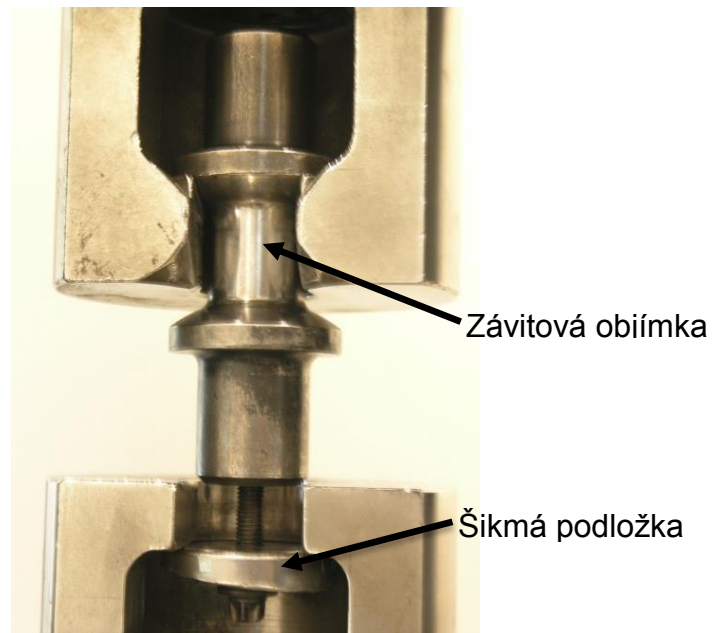
Při nanášení povrchové úpravy nedochází k ovlivnění pevnosti dílu, proto je dle zavedeného postupu měřena pevnost a tvrdost po tepelném zpracování. To platí i pro indukčně kalenou část závitu, která ovlivňuje tvrdost pouze v povrchové vrstvě jeho náběhové části a na celkovou pevnost nemá vliv.

Díky kontrole pevnosti se předejde v dalších měřeních nízké či vysoké pevnosti, která by ovlivňovala funkci závitu a výstupní hodnoty zašroubovacího momentu.

Pro toto ověření byla provedena Zkouška tahem na šikmé podložce (Obr. 24) dle DIN EN ISO 898-1, kdy se pod hlavu šroubu nasadí šikmá podložka a na závit se našroubuje závitová objímka, aby se šroub dal vhodně umístit na trhací stroj, kde zkouška proběhla. Měření se provedlo na trhacím stroji INSPEKT400 (Obr. 26) a výsledné hodnoty byli zaznamenány do tabulky č. 2.

Minimální délka závitu pro provedení této zkoušky je  $2,5xD$ , tedy pro velikost závitu M10x1,5 je to 25 mm a minimální mezní zatížení je 60 300 N.

Vzorky byly zušlechtěny na pevnost 10.9 (1040-1190 MPa).



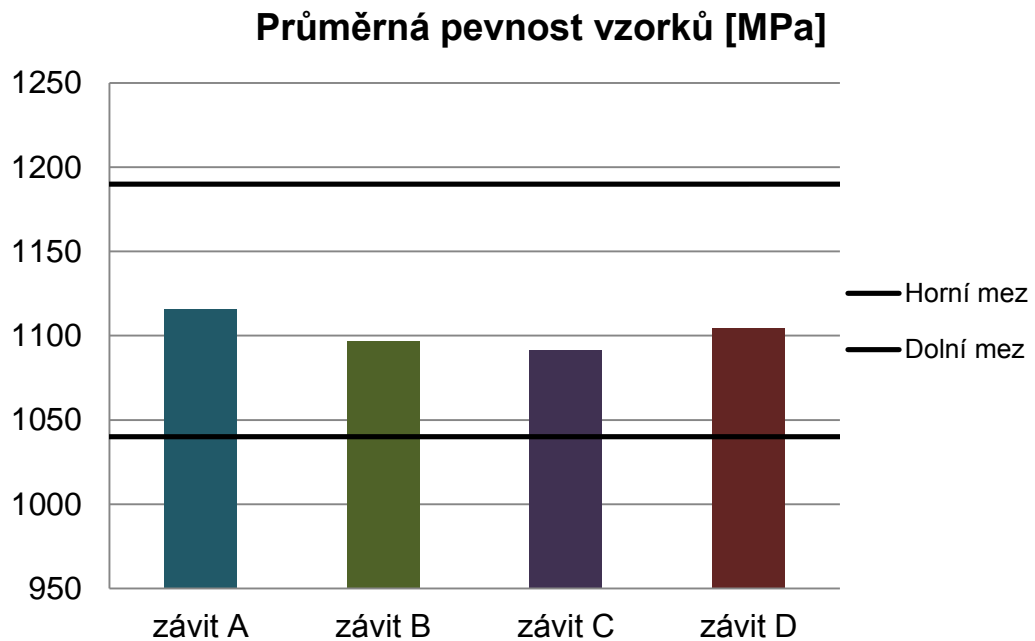
Obr. 24: Zkouška tahem na šikmé podložce

Tab. 3: Naměřené hodnoty pevnosti po zušlechtění na pevnost 10.9

Měření pevnosti [MPa]				
	závit A	závit B	závit C	závit D
1.	1095	1083	1097	1132
2.	1131	1086	1083	1116
3.	1096	1093	1100	1120
4.	1137	1098	1104	1135
5.	1129	1105	1086	1102
6.	1049	1110	1094	1093
7.	1156	1095	1078	1088
8.	1104	1102	1085	1099
9.	1112	1093	1092	1078
10.	1149	1103	1094	1085
∅	1116	1097	1091	1105
σ	30	8	8	19

∅ - průměrná hodnota pevnosti

σ - směrodatná odchylka pevnosti



Obr. 25: Graf průměrné pevnosti vzorků



Obr. 26: Trhací stroj INSPEKT 400 [18]

#### 3.2.1.1 Vyhodnocení měření pevnosti

Z naměřených hodnot pevnosti namátkově vybraných deseti kusů pro každý typ závitu můžeme říci, že tvrdost všech vzorků se pohybuje v povoleném rozmezí 1140-1190 MPa.

#### 3.2.2 Měření tvrdosti

Měření tvrdosti podle Brinella probíhalo dle normy ČSN ISO 6506. Jako indentor byla použita ocelová kulička o  $\varnothing$  2,5 mm a působící zatěžující síla

F=187,5 N po dobu 10 – 15 s, na přístroji Wolpert UH 930 firmy Wilson Hardness (Obr. 28).

Vzorky pro toto měření musí být bez nečistot dosedací plochy a okujení. Při broušení místa pro měření tvrdosti se materiál nesmí zahřát, a proto se použilo dvoustupňové broušení – první pro úběr materiálu a druhé pro zlepšení povrchu k odečítání. Odečítání bylo prováděno standardně dle zkoušky na hlavě šroubu, kde nedochází k viditelné deformaci vzorku, minimálně 6,25 mm od kraje vzorku jak udává norma.

K měření bylo namátkově odebráno deset kusů od každého zušlechtěného dílce s různým typem závitu a stejné množství pro zušlechtěné dílce s indukčně zpracovanou oblastí závitu.

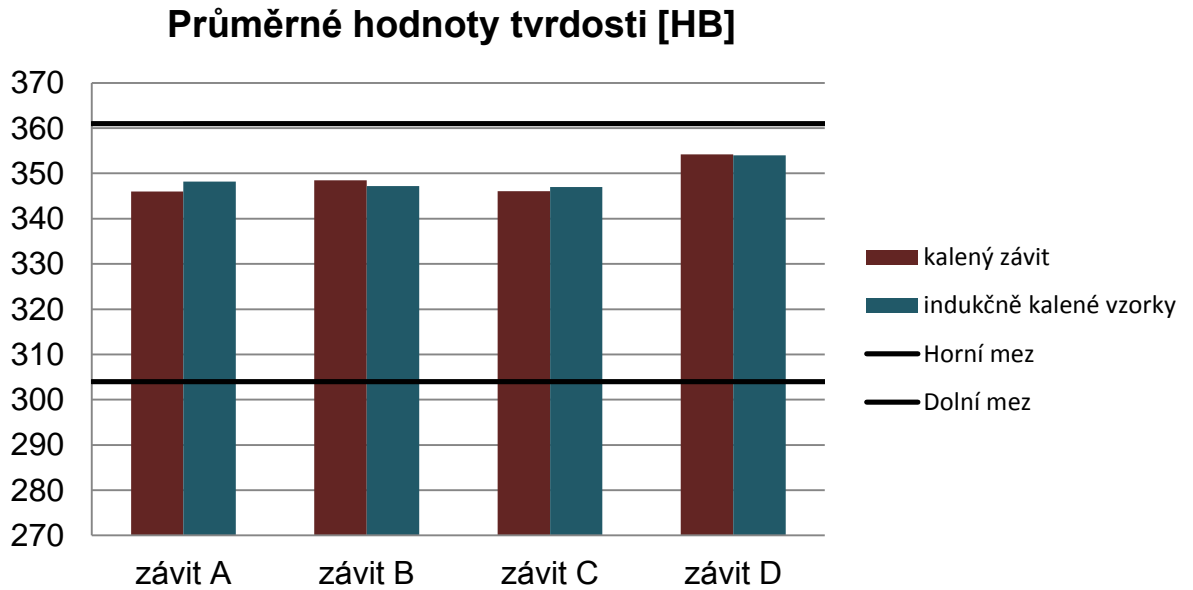
Hodnoty tvrdosti se dle normy mají pohybovat mezi 304-361 HB. Tato zkouška byla provedena pro ověření, zda tvrdost šroubu je po zušlechtění v mezích a po indukčním kalení náběhové části závitu celkově neovlivněná. Změřené výsledky jsou zaznamenány v tabulce č. 4

Tab. 4: Naměřené hodnoty tvrdosti

Měření tvrdosti [HB]								
závit	závit A		závit B		závit C		závit D	
tepelné zpracování	kalený	indukčně kalený	kalený	indukčně kalený	kalený	indukčně kalený	kalený	indukčně kalený
1.	338	344	340	350	340	341	351	353
2.	341	348	348	348	343	344	355	352
3.	350	342	345	343	353	351	357	358
4.	339	351	350	349	342	350	350	360
5.	349	353	355	347	351	352	360	353
6.	356	345	353	345	348	347	359	349
7.	345	343	350	351	349	349	358	347
8.	352	355	353	342	350	347	355	356
9.	343	352	347	348	342	345	348	355
10.	347	349	344	349	343	344	349	357
∅	346	348	349	347	346	347	354	354
σ	6	4	4	3	4	3	4	4

∅ - průměrná hodnota pevnosti

σ - směrodatná odchylka pevnosti



Obr. 27: Graf průměrných hodnot tvrdosti vzorků



Obr. 28: Tvrdoměr Wolpert UH 930 [19]

### 3.2.2.1 Vyhodnocení měření tvrdosti

Tabulka naměřených hodnot potvrzuje, že při indukčním zpracování povrchu nedochází k ovlivnění celého dílce, proto že hodnoty tvrdosti se jak pro jen zušlechtěné dílce, tak i pro zušlechtěné s indukčním kalením náběhu a řezné části závitu pohybují ve stanovených mezích 304-361 HB.

### 3.2.3 Měření mikrotvrdosti

K ověření tvrdosti indukčně zakalené povrchové vrstvy naváděcí a řezné části závitu šroubu (obr. 29), byla provedena zkouška mikrotvrdosti.

V případě nízkých hodnot by docházelo při zašroubovací zkoušce k stržení, deformaci závitu a v případě velkých hodnot by šroub v této oblasti mohl díky zvýšené křehkosti při zkoušce prasknout.

K měření mikrotvrdomosti byla využita zkouška dle Vickerse HV0,3, při které se jako indentor použil diamantový čtyřboký jehlan s vrcholovým úhlem  $136^\circ$ . Měřící zatížení 300 g, vpichy byly měřeny 0,25 mm pod dnem závitu (Obr. 30) a celá zkouška proběhla dle normy WD 952 na přístroji ZHV1-M od firmy Zwick/Roell (Obr. 31).

Aby bylo měření možné, museli se vzorky nejprve připravit. Příprava probíhala obdobně jako při vytváření metalografického výbrusu, tedy podélným řezem šroubu, následným zalisováním za tepla do černého bakelitu, broušením a leštěním.

Předepsaná oblast indukčního kalení je 5-7 závitů a minimální tvrdost 450 HV. Naměřené hodnoty mikrotvrdomosti jsou zaznamenány v tabulce č. 5.



Obr. 29: Indukčně zakalená oblast Obr. 30: Vtisk indentoru při měření



Obr. 31: Měřící přístroj[20]

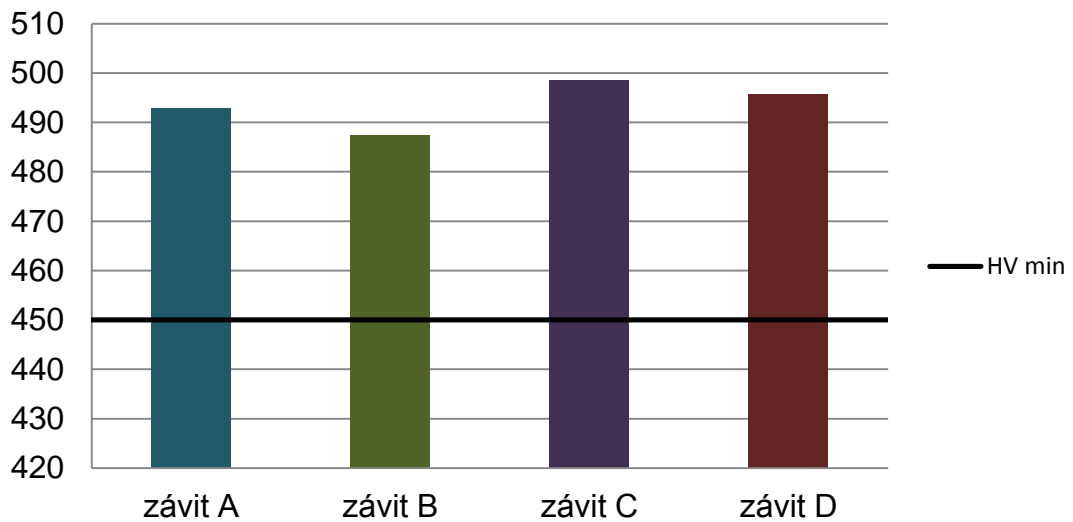
Tab. 5: Naměřené hodnoty mikrotvrdości povrchové vrstvy indukčně kalené části závitu

Měření mikrotvrdości závitu [HV]				
	závit A	závit B	závit C	závit D
1.	495	491	493	497
2.	492	485	495	489
3.	501	482	498	490
4.	497	486	502	493
5.	495	483	494	495
6.	493	488	501	501
7.	487	494	492	498
8.	484	492	505	496
9.	502	488	507	497
10.	483	485	499	500
ø	493	487	499	496
σ	6	4	5	4

ø - průměrná hodnota pevnosti

σ - směrodatná odchyška pevnosti

Průměrné hodnoty mikrotvrdości závitů [HV]



Obr. 32: Graf průměrných hodnot mikrotvrdości vzorků

### 3.2.3.1 Vyhodnocení zkoušky mikrotvrdosti

Výsledky v tabulce č.5 se pohybují nad minimální hodnotou tvrdosti 450 HV, která je dána normou WD 952. Díky tomu můžeme říci, že všechny vzorky, které byly indukčně zakaleny, mají vyšší tvrdost než je minimální stanovená a také se pohybují přibližně kolem stejných hodnot.

### 3.2.4 Zkouška zašroubovatelnosti

Hlavním měřeným a funkčním parametrem práce je zkouška zašroubovatelnosti, která byla provedena dle dvou norem: DIN 267-30 pro zušlechtěné šrouby do hliníkové destičky a WD 952 pro zušlechtěné šrouby s indukčně kalenou oblastí do destičky z uhlíkové oceli. Postup zkoušek je stejný, liší se pouze zkušební destičkou. Cílem a výsledkem měření je průměrná hodnota maximálního zašroubovacího momentu při zašroubovávání do zkušební destičky (Obr. 33). Maximální povolená hodnota zašroubovacího momentu dle obou norem je 40,5 Nm.

Hodnoty zašroubovacího momentu byly měřeny vyhodnocovací jednotkou TorqueStar Opta s momentovým klíčem se snímačem UTA Wrench (Obr. 34) a zaznamenány do tabulky č. 6.



Obr. 33: Průběh zkoušky zašroubovatelnosti

V začátku měření je šroub nejprve ručně naveden tak, aby byla totožná osa dílce s osou díry, poté se nasadí správný nástavec na momentový klíč se snímačem a začíná se zašroubovat do doby, než se ve zkušební



destičce vytvoří závit v celém průřezu a zašroubovací moment se snižuje. Při měření nesmí dojít k dotyku dosedací plochy šroubu a destičky, neboť by došlo k znehodnocení výsledku utahovacím momentem.



*Obr. 34: Měřicí přístroj TorqueStar Opta s momentovým klíčem UTA Wrench [21]*

Tab. 6: Tabulka maximálních zašroubovacích momentů

		Tabulka maximálních zašroubovacích momentů [Nm]												
Tep. Zpracování	Povrchová úprava	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	∅	σ	
		závit A	zušlechťený	Magni 565+OKS	27,3	31,7	29,1	28,5	30,8	30,3	27,9	32,1	32,4	29,9
DPKL 100-VH301+OK1765	30,6			29,9	34,3	33,7	29,1	28,5	31,7	34,2	30,2	31,9	31,4	2,0
ZnNi8-TTFA	34,6			33,3	32,8	37,1	37,7	31,9	32,8	31,5	32,5	36,5	34,1	2,1
Geomet 321+VL+OKS 1765	35,6			37,3	38,7	32,6	30,4	35,8	36,1	32,9	29,9	36,8	34,6	2,8
Geomet 321+VL	34,9			41,2	36,1	35,3	37,8	39,3	33,6	40,7	36,7	39,9	37,6	2,5
indukčně kalený	Magni 565+OKS		25,7	30,2	29,3	24,2	28,4	26,7	26,9	30,5	27,5	27,9	27,7	1,9
	DPKL 100-VH301+OK1765		30,3	33,6	30,4	32,2	32,7	28,3	29,1	28,8	28,4	33,2	30,7	2,0
	ZnNi8-TTFA		30,5	33,8	30,9	34,3	32,7	35,5	36,1	29,9	34,8	36,8	33,5	2,3
	Geomet 321+VL+OKS 1765		30,3	29,9	29,7	31,8	32,4	31,2	33,3	32,9	30,4	31,5	31,3	1,2
	Geomet 321+VL		33,9	32,5	32,7	35,8	33,2	34,3	34,7	33,7	35,2	33,9	34,0	1,0
závit B	zušlechťený	Magni 565+OKS	24,5	23,6	23,8	25,3	26,1	25,8	26,4	24,3	24,9	25,3	25,0	0,9
		DPKL 100-VH301+OK1765	24,8	26,4	23,8	25,4	24,3	25,9	24,7	25,5	25,4	26,1	25,2	0,8
		ZnNi8-TTFA	29,7	30,3	34,2	36,7	25,3	33,8	35,4	26,7	24,1	32,5	30,9	4,2
		Geomet 321+VL+OKS 1765	25,8	26,4	27,8	25,6	24,5	24,2	26,3	27,5	26,8	25,1	26,0	1,1
		Geomet 321+VL	34,5	34,9	32,3	32,8	33,7	33,9	33,5	35,3	32,8	34,2	33,8	0,9
	indukčně kalený	Magni 565+OKS	24,6	27,4	26,7	25,3	23,6	25,1	27,2	23,9	25,8	24,2	25,4	1,3
		DPKL 100-VH301+OK1765	25,7	28,1	23,8	24,9	25,8	28,3	27,6	29,3	24,5	26,9	26,5	1,7
		ZnNi8-TTFA	30,5	32,8	28,1	35,4	33,9	34,3	29,4	30,8	27,3	36,8	31,9	3,0
		Geomet 321+VL+OKS 1765	25,3	28,6	28,4	24,1	25,6	27,3	27,8	26,8	26,3	24,1	26,4	1,6
		Geomet 321+VL	31,8	36,3	30,6	32,1	33,9	36,9	37,3	36,3	33,2	34,4	34,3	2,2

∅ - průměrná hodnota maximálního zašroubovacího momentu

σ - směrodatná odchylka zašroubovacího momentu

Tab. 6: Tabulka maximálních zašroubovacích momentů

		Tabulka maximálních zašroubovacích momentů [Nm]											
Tep. Zpracování	Povrchová úprava	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Ø	σ
		zušlechťený	Magni 565+OKS	20,9	19,3	16,3	17,2	18,7	19,8	20,5	21,7	21,4	19,3
	DPKL 100-VH301+OK1765	22,8	26,2	25,2	15,3	24,2	19,1	20,2	21,3	22,4	20,1	21,7	3,1
	ZnNi8-TTFA	20,5	24,8	21,9	18,8	20,5	19,7	24,3	22,8	25,3	22,1	22,1	2,1
závit C	Geomet 321+VL+OKS 1765	20,1	18,5	22,3	22,8	21,5	21,8	19,9	23,2	23,0	21,3	21,4	1,5
	Geomet 321+VL	23,4	22,8	24,7	25,8	22,9	20,5	21,8	20,9	19,6	24,0	22,6	1,9
	Magni 565+OKS	19,3	22,8	22,1	20,5	18,5	17,6	21,6	22,9	23,3	21,9	21,1	1,9
	DPKL 100-VH301+OK1765	25,3	18,8	24,9	22,8	26,4	20,5	21,3	23,4	22,0	24,2	23,0	2,2
	ZnNi8-TTFA	20,0	22,2	19,1	21,9	23,3	23,6	20,3	21,2	22,5	19,9	21,4	1,5
	Geomet 321+VL+OKS 1765	20,2	20,1	19,9	16,8	18,3	17,8	19,5	21,4	18,2	21,3	19,4	1,4
zušlechťený	Geomet 321+VL	18,5	15,2	19,3	20,5	19,9	18,5	16,3	17,8	18,0	19,2	18,3	1,5
	Magni 565+OKS	13,8	14,5	15,2	14,7	13,9	15,6	15,3	15,1	15,2	14,8	14,8	0,6
	DPKL 100-VH301+OK1765	16,5	18,7	18,2	16,3	17,3	17,8	18,9	16,9	19,1	17,6	17,7	0,9
	ZnNi8-TTFA	18,2	21,2	19,5	18,7	19,9	19,3	17,8	18,3	19,6	18,4	19,1	1,0
	Geomet 321+VL+OKS 1765	17,1	18,2	17,7	17,3	16,9	18,6	18,2	18,7	18,5	17,9	17,9	0,6
	Geomet 321+VL	21,3	15,6	20,9	14,4	16,8	17,9	18,3	20,7	15,2	17,8	17,9	2,3
závit D	Magni 565+OKS	18,4	16,3	17,5	19,3	17,8	16,8	18,7	19,8	18,2	19,1	18,2	1,1
	DPKL 100-VH301+OK1765	18,7	22,1	19,3	19,8	22,4	21,6	20,7	18,5	19,5	18,9	20,2	1,4
	ZnNi8-TTFA	19,1	22,8	24,3	23,9	23,5	22,4	21,7	21,9	20,3	19,8	22,0	1,7
	Geomet 321+VL+OKS 1765	18,3	21,9	19,1	20,2	20,7	21,4	19,5	18,9	18,2	17,8	19,6	1,3
	Geomet 321+VL	25,9	26,3	26,4	22,8	23,4	20,2	21,5	24,1	20,9	23,5	23,5	2,1

Ø - průměrná hodnota maximálního zašroubovacího momentu

σ - směrodatná odchylka zašroubovacího momentu

### 3.2.4.1 Vyhodnocení zkoušky zašroubovatelnosti

Závity nevykazují razantní rozdíl vlivu povrchové úpravy na zašroubovací moment, a to díky podobným koeficientům tření, jejichž předpis viz. kapitola 3.1.3 Povrchy vzorků, je dán normami a skutečné hodnoty jsou týdně ověřovány a zaznamenávány ve firmě Kamax s.r.o., kde se pohybují kolem hodnoty 0,13. Ve všech případech, kromě zušlechtěného závitu D a indukčně kaleného závitu C, má nejmenší hodnotu zašroubovacího momentu povrch Magni 565+OKS, a největší hodnotu Geomet 321+VL, ostatní tři povrchy mají srovnatelné hodnoty. Proto při pozdějším návrhu na konkrétní aplikaci zákazníka nebude výsledkům zašroubovacího momentu v závislosti na povrchu přisuzována taková váha, ale budou se brát jiná hodnotící kritéria povrchových úprav, jako např. cena, čistota a korozní odolnost.

Z hlediska geometrie a tepelného zpracování vykazuje nejvyšší průměrné hodnoty závit A, a to pro zušlechtěné vzorky 33,5 Nm a pro indukčně kalené 31,5 Nm. Nejnižší průměrné hodnoty vykazuje závit D. Pro zušlechtěné vzorky 17,5 Nm a následně indukčně kalené 20,7 Nm. Celkově nižší, ale podobné hodnoty, mají závity C a D, které mají rádiusový profil závitu, zatímco závity A a B s lichoběžníkovým profilem mají také podobné hodnoty, ale průměrně vyšší. Porovnáním výsledků závitů s odpovídajícími profily (A s B a C s D) bylo zjištěno, že závity s větší tilobularitou mají menší hodnoty zašroubovacího momentu, přibližně o 3-6 Nm.

Maximální průměrné hodnoty zašroubovacího momentu byly využity pro sestavení srovnávací matice zašroubovacích momentů v tabulce č. 7.

### 3.2.5 Vizuální kontrola deformace závitu

Vizuální kontrola deformace závitu se provádí po vyšroubování dílce z kontrolní destičky. Kontroluje se tvar závitu po vyšroubování a jeho deformace. Závit se může deformovat vlivem povrchové úpravy, vadou v materiálu šroubu, nevhodnými vlastnostmi volenými vůči protikusů, díky nesouososti díry a šroubu při zašroubovávání, tedy špatně provedené zkoušce, voleného povrchu z hlediska kluzných vlastností a špatnému průměru díry. Deformace vlivem pevnosti a tvrdosti byla vyloučena zkouškami těchto vlastností.

Z důvodu rozsáhlosti počtu vzorků je uveden pouze příklad deformovaného a dobrého dílu (Obr. 35).



Obr. 35: Vizuální kontrola deformace závitu: a) závit nedeformovaný b) závit deformovaný

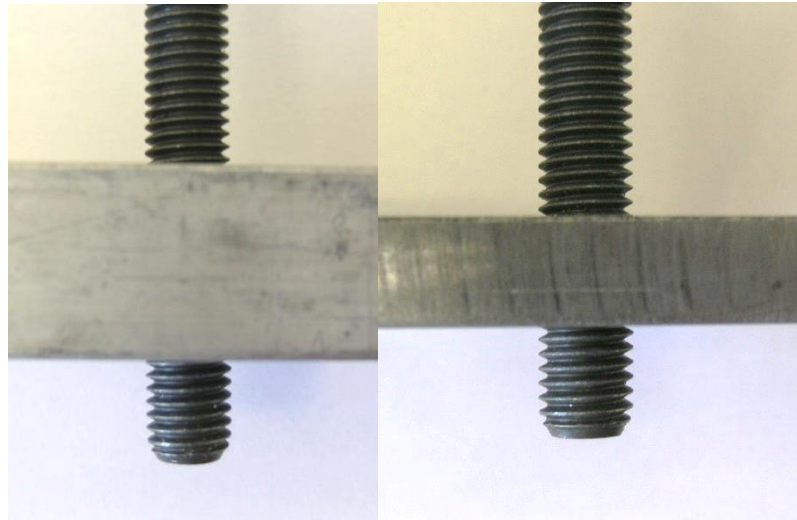
### 3.2.5.1 Vyhodnocení vizuální kontroly

Díky správné volbě tepelného zpracování vzorků v závislosti na materiálu zkušebních destiček, povrchové úpravy s ideálními kluznými vlastnostmi a popřípadě použitými mazadly, nedocházelo až na výjimky nesprávného navedení dílu do díry zkušební destičky k nežádoucí deformaci závitu samotvářecího šroubu.

### 3.2.6 Kontrola průchodnosti závitu

Kontrola průchodnosti závitu (Obr. 36) se provádí šroubem s dostatečně dlouhým, standardním závitem M10x1,5, kdy do díry se závitem vytvořeným samotvářecím šroubem ve zkušební destičce je tento kontrolní šroub zašroubován tak, aby na druhé straně zkušební destičky přesahovala jeho část s plným závitem.

Tato zkouška se provádí pro zjištění, zda bude při opětovné montáži do vytvořené díry možno zašroubovat šroub se standardním závitem.



*Obr. 36: Kontrola průchodnosti závitu, vlevo do hliníkové destičky, vpravo do ocelové destičky*

### **3.2.6.1 Vyhodnocení průchodnosti závitu**

Závity, u kterých v předešlé zkoušce zašroubovatelnosti nedošlo k deformaci, jsou díky správnému navedení, dodržení geometrie a trilobularity šroubu při jeho výrobě průchozí pro šroub se standardním stoupáním závitu M10x1,5.

Tab. 7: Výsledná srovnávací matice zašroubovacích momentů

	Tep. Zpracování	Povrchová úprava	Ø [Nm]	Deformace závitu	Průchodnost závitu
závit A	zušlechtěný	Magni 565+OKS	30,0	OK	OK
		DPKL 100-VH301+OK1765	31,4	OK	OK
		ZnNi8-TTFA	34,1	OK	OK
		Geomet 321+VL+OKS 1765	34,6	OK	OK
		Geomet 321+VL	37,6	OK	OK
	indukčně kalený	Magni 565+OKS	27,7	OK	OK
		DPKL 100-VH301+OK1765	30,7	OK	OK
		ZnNi8-TTFA	33,5	OK	OK
		Geomet 321+VL+OKS 1765	31,3	OK	OK
		Geomet 321+VL	34,0	OK	OK
závit B	zušlechtěný	Magni 565+OKS	25,0	OK	OK
		DPKL 100-VH301+OK1765	25,2	OK	OK
		ZnNi8-TTFA	30,9	OK	OK
		Geomet 321+VL+OKS 1765	26,0	OK	OK
		Geomet 321+VL	33,8	OK	OK
	indukčně kalený	Magni 565+OKS	25,4	OK	OK
		DPKL 100-VH301+OK1765	26,5	OK	OK
		ZnNi8-TTFA	31,9	OK	OK
		Geomet 321+VL+OKS 1765	26,4	OK	OK
		Geomet 321+VL	34,3	OK	OK
závit C	zušlechtěný	Magni 565+OKS	19,5	OK	OK
		DPKL 100-VH301+OK1765	21,7	OK	OK
		ZnNi8-TTFA	22,1	OK	OK
		Geomet 321+VL+OKS 1765	21,4	OK	OK
		Geomet 321+VL	22,6	OK	OK
	indukčně kalený	Magni 565+OKS	21,1	OK	OK
		DPKL 100-VH301+OK1765	23,0	OK	OK
		ZnNi8-TTFA	21,4	OK	OK
		Geomet 321+VL+OKS 1765	19,4	OK	OK
		Geomet 321+VL	18,3	OK	OK
závit D	zušlechtěný	Magni 565+OKS	14,8	OK	OK
		DPKL 100-VH301+OK1765	17,7	OK	OK
		ZnNi8-TTFA	19,1	OK	OK
		Geomet 321+VL+OKS 1765	17,9	OK	OK
		Geomet 321+VL	17,9	OK	OK
	indukčně kalený	Magni 565+OKS	18,2	OK	OK
		DPKL 100-VH301+OK1765	20,2	OK	OK
		ZnNi8-TTFA	22,0	OK	OK
		Geomet 321+VL+OKS 1765	19,6	OK	OK
		Geomet 321+VL	23,5	OK	OK

Ø - průměrná hodnota maximálního zašroubovacího momentu

## **4. ZÁVĚR**

Cílem této bakalářské práce bylo vytvoření srovnávací matice zašroubovacích momentů v závislosti na geometrii, tepelném zpracování a druhu povrchové úpravy pro samotvářecí šrouby, vyráběné ve firmě Kamax s.r.o. v Turnově. Pro vytvoření této matice byly provedeny zkoušky pevnosti, tvrdosti, mikrotvrdosti, zašroubovatelnosti, vizuální kontrola deformace závitu a průchodnost závitu vytvořeného samotvářecím šroubem.

V měření pevnosti bylo ověřeno, že vzorky po tepelném zpracování mají přibližně stejnou hodnotu pohybující se v povolených mezích. Zkouška tvrdosti dle Brinella potvrdila předpoklad, že indukčně kalená část závitu nijak neovlivňuje celkovou tvrdost pohybující se ve stanovených hodnotách. Ze zkoušky průchodnosti závitu v závislosti na jeho vizuální kontrole deformace vyplývá, že pokud nedojde ve výrobním procesu k vytvoření vadné geometrie, špatnému provedení tepelného zpracování a následné montáže, samotvářecí šroub se nebude deformovat a závit vytvořený v protikusu bude průchozí. S použitím průměrných hodnot maximálních zašroubovacích momentů byla vytvořena výsledná matice (tabulka č. 7).

Z podobných průměrných hodnot maximálního zašroubovacího momentu pro jednotlivé typy závitů a tepelné zpracování je zřejmé, že v závislosti na vybraných standardních povrchových úpravách s danými třecími vlastnostmi (koeficient tření), používaných v automobilovém průmyslu na spojovací součásti, se hodnota měřeného momentu razantně nemění, tudíž o volbě povrchové úpravy ke konkrétní aplikaci budou převážně rozhodovat jiné vlivy, jako např. korozní odolnost a cena, které však nebyli předmětem této práce.

Dále výsledky potvrdily, že tepelné zpracování vzhledem k materiálu zkušebních destiček bylo vhodně zvoleno a nedocházelo k deformacím.

Největší vliv na výsledné hodnoty má geometrie závitu samotvářecího šroubu. Závity A s B a C s D mají vzájemně obdobné výsledky, protože mají stejný profil závitu, avšak závity s větší trilobularitou B, D jeví menší hodnoty zašroubovacího momentu a závity s menší trilobularitou hodnoty větší.

Nelze jednoznačně určit, který závit v kombinaci s povrchovou úpravou a tepelným zpracováním je nejlepší, to záleží na konkrétní aplikaci. Z hlediska samosvornosti, by to byl díky největšímu zašroubovacímu momentu pro





vytváření závitu do hliníku Závít A v kombinaci s povrchovou úpravou Geomet 321+VL a do oceli také Závít A s Geomet 321VL. Z hlediska jednoduchosti montáže do hliníku, by to byl Závít D v kombinaci s povrchovou úpravou Magni 565+OKS a do oceli také Závít D s Magni 565+OKS.

Srovnávací matice zašroubovacích momentů byla vypracována dle zadání firmy Kamax s.r.o. v Turnově. Dle zjištěných výsledků, by bylo možné po ověření matice zjednodušit pouze na vliv geometrie, tepelného zpracování a meze koeficientu tření.



## **SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [ 1 ] LENFELD, P.: *Technologie II. – část 1*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. 110s. ISBN 978-80-7372-465-5. Dostupné na WWW: <[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/index.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm)>
- [ 2 ] JÍLEK, L.; HOREČKA, P.: *Tvářitelnost oceli na šrouby a ložiska za studena*. Hradec nad Moravicí, 2008. 8s. Dostupné na WWW: <[http://www.metal2013.com/files/proceedings/metal\\_08/Lists/Papers/178.pdf](http://www.metal2013.com/files/proceedings/metal_08/Lists/Papers/178.pdf)>
- [ 3 ] Internetový článek: Application of longitudinal cold rolling method in mass production of stepped shafts used in combustion engines. Duben 2013. Dostupné na WWW: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1644966512600302>>
- [ 4 ] Informace firmy Cartech. Březen 2013. Dostupné na WWW: <<http://www.cartech.com/techarticles.aspx?id=1544>>
- [ 5 ] Učební texty z oblasti teorie a technologie tváření VŠB – TU v Ostravě. Březen 2013. Dostupné na WWW: <<http://www.345.vsb.cz/jirihruby/TTV/index.htm>>
- [ 6 ] FARLÍK, A.; ONDRÁČEK, E.: *Teorie dynamického tváření*. Praha, SNTL, 1968
- [ 7 ] BRJUCHANOV, A., N.; REBELSKIJ, A., V.: *Zápustkové kování II*. Moskva, 1952. 352s. Překlad: VLADYKA, J.
- [ 8 ] BRJUCHANOV, A., N.; REBELSKIJ, A., V.: *Zápustkové kování III*. Moskva, 1952. 224s. Překlad: VLADYKA, J.
- [ 9 ] Učební texty z oblasti tepelného zpracování ocelí VŠCHT v Praze. Duben 2013. Dostupné na WWW: <[http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm\\_tepelne\\_zpracoceli/teorie2.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_tepelne_zpracoceli/teorie2.htm)>



- [ 10 ] elektronická publikace: DRIML, B.: Kalení a popouštění. Březen 2013. Dostupná z WWW:  
<<http://www.elitalycea.wz.cz/files/tep/tep07.pdf>>
- [ 11 ] Internetový článek: Fe-Fe<sub>3</sub>C. Březen 2013. Dostupný z WWW:  
<<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fe-C-cs.svg>>
- [ 12 ] Studijní podklady Nauka o materiálu I. TUL. Březen 2013. Dostupné na WW:  
<[http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady\\_kmt\\_bakalari/NOM1/NOM%201.htm](http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_bakalari/NOM1/NOM%201.htm)>
- [ 13 ] Učební texty z oblasti metalografie VSCHT v Praze: Březen 2013. Dostupné na WWW:  
<[http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm\\_metalografie\\_3/teorie.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_metalografie_3/teorie.htm)>
- [ 14 ] Internetový článek o povrchovém kalení. Duben 2013. Dostupný na WWW:  
<<http://www.tumlikovo.cz/povrchove-kaleni/>>
- [ 15 ] KRAUS, V.: *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2000. 218s. ISBN 80-7082-668-1. Dostupné z WWW:  
<<http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf>>
- [ 16 ] VRASPÍROVÁ, E.: *Bakalářská práce*. Brno : VUT v Brně, 2010. 66s. Dostupná z WWW:  
<[http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=30476](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30476)>
- [ 17 ] KUBÍČEK, J. Renovace a povrchové úpravy [on-line]. Vydáno: 11.12.2006, [cit. 2013-03-20]. Dostupné z WWW:  
<[http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory\\_soubory/renovace\\_a\\_povrchove\\_upravy\\_kubicek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/renovace_a_povrchove_upravy_kubicek.pdf)>
- [ 18 ] Informace firmy Hagewald & Peschke. Duben 2013. Dostupné z WWW:  
<[http://www.grimas.hu/SiteCollectionImages/332\\_Hegewald/Inspekt/10-005-000%20inspekt%20400%20flyer%20engl.pdf](http://www.grimas.hu/SiteCollectionImages/332_Hegewald/Inspekt/10-005-000%20inspekt%20400%20flyer%20engl.pdf)>



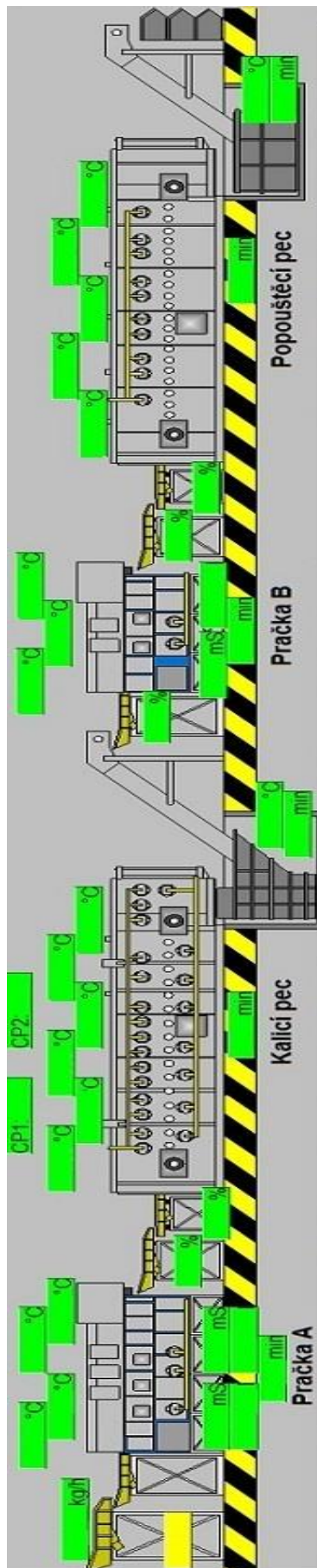
- [ 19 ] Informace firmy Wilson hardness. Duben 2013. Dostupné na WWW:  
<<http://www.wilson-hardness.com/Products/UniversalTesters.aspx>>
  
- [ 20 ] Informace firmy ZwickRoell. Duben 2013. Dostupné na WWW:  
<[http://www.amsler-pruefsysteme.ch/index.php?main=zwick-roell-haerte-detail&id=vickers\\_brinell\\_und\\_knoop](http://www.amsler-pruefsysteme.ch/index.php?main=zwick-roell-haerte-detail&id=vickers_brinell_und_knoop)>
  
- [ 21 ] Informace firmy Torque s.r.o.; Duben 2013. Dostupné na WWW:  
<<http://www.torque-systems.cz/obchod/n-0/uta-is-wrenches.html>>



## **SEZNAM PŘÍLOH**

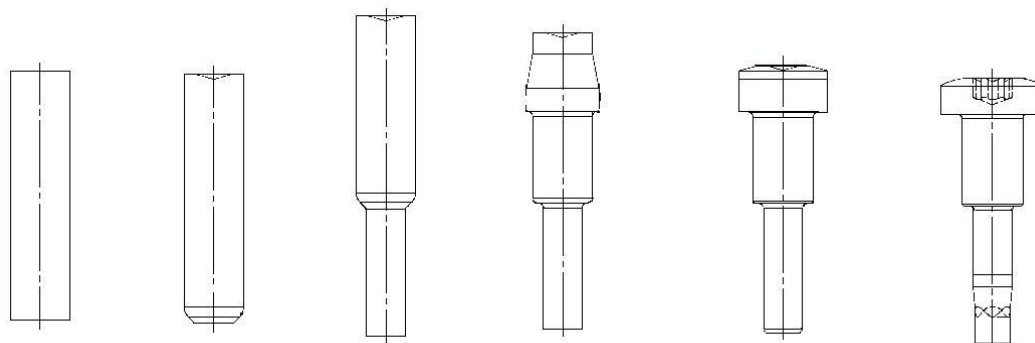
- 1. Schématické zobrazení kalící linky**
- 2. Lisovací postup KX 136003.0**
- 3. Lisovací postup KX 136007.0**
- 4. Lisovací postup KX 136507.0**
- 5. Lisovací postup KX 136341.0**

Příloha č. 1



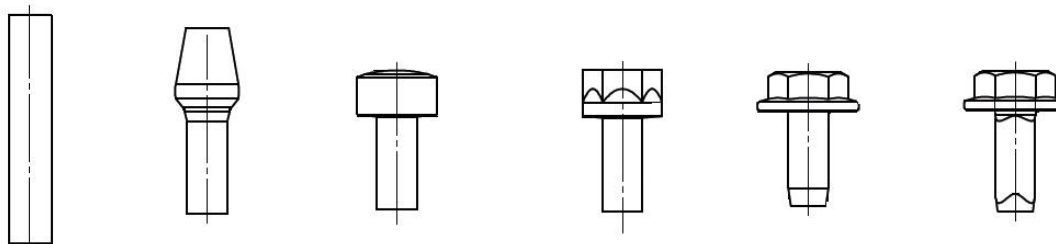
### Příloha č.2

Lisovací postup dílu KX 136003.0



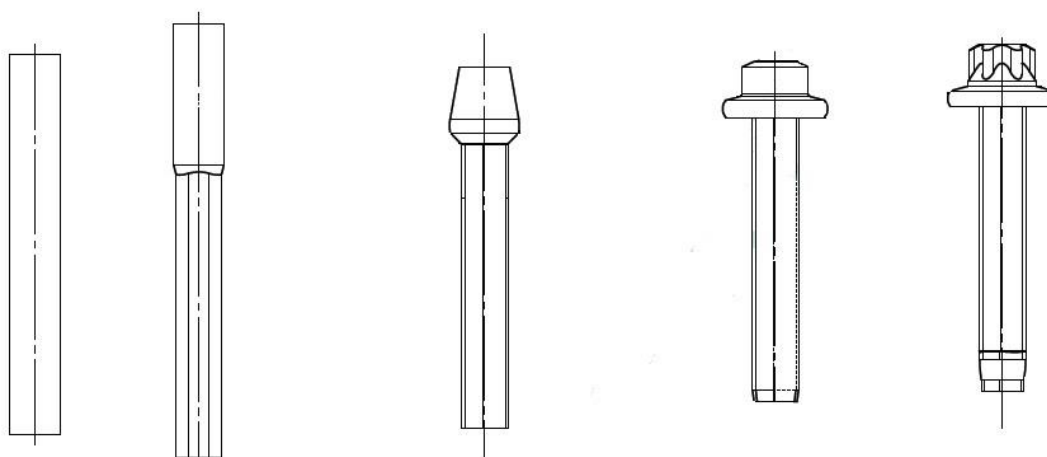
### Příloha č.3

Lisovací postup dílu KX 136007.0



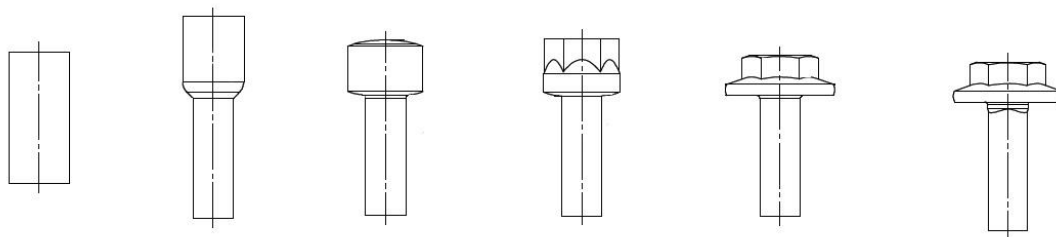
### Příloha č. 4

Lisovací postup KX 136507.0



## Příloha č. 5

Lisovací postup KX 136341.0





## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 sb. O právu autorském, zejména §60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do její skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 24. 5. 2012

.....

## **Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a license for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 24. 5. 2013

.....