



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

SOUSTRUŽENÍ PRUŽINOVÝCH OCELÍ

ON THE TURNING OF SPRING STEELS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN CIBA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Ciba

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Soustružení pružinových ocelí

v anglickém jazyce:

On the turning of spring steels

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analýza soustružení pružinových ocelí se zaměřením na aplikace vyšších řezných rychlostí a moderní řezné materiály.

Cíle bakalářské práce:

Úvod.

Teoretický rozbor problému.

Návrh experimentálních zkoušek.

Realizace experimentů, jejich statistické vyhodnocení. Diskuze.

Závěry.

Seznam odborné literatury:

TLUSTY, J. Manufacturing Process and Equipment. 1st edition. Prentice Hall, 1999. 928 s. ISBN 10-0201498650.

SHAW, M.C. Metal Cutting Principles. Oxford University Press, 2nd ed., 2005, pp. 651, ISBN 0-19-514206-3

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástrojů. VŠ skriptum. Brno : CERM, 2006. s. 230. 1. vyd.. ISBN 80-214-2374-9.

Bergengren, Y., Larson. M. Melander, A. The Influence of Machining defects and Inclusions on The Fatigue Properties of a Hardened Spring Steel. Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures. Volume 18, Issue 10, pp. 1071–1087, October 1995

Ozcatalbasa, Y., Ercanb, F. The effects of heat treatment on the machinability of mild steels Journal of Materials Processing Technology. Volume 136, Issues 1–3, 10 May 2003, pp. 227–238 Isik, Y. Investigating the machinability of tool steels in turning operations. Materials & Design Volume 28, Issue 5, 2007, pp. 1417–1424

Rao, I.V., Lal G.L. Tool life at high cutting speeds. International Journal of Machine Tool Design and Research. Volume 17, Issue 4, 1977, pp. 235–243

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 19.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca sa zaoberá sústružením pružinových ocelí a je zameraná na pozorovanie vplyvu vyšších rezných rýchlostí a moderných rezných materiálov na mikroštruktúru vzorky tanierovej pružiny. Obsahuje experimentálnu skúšku ktorou je metóda Quick stop of tool určená na analýzu deformácii a procesov v mieste tvorby triesky. V závere sú porovnané a vyhodnotené zistené výsledky.

Kľúčové slová

pružinová oceľ, sústruženie, tanierové pružiny, tvorba triesky, quick stop of tool

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with turning of spring steels focusing on the application of higher cutting speed and modern cutting materials. It comprises an experimental exercise Quick stop of tool, designed to analyse the process of a chip formation of the specimen of a disc spring.

Key words

spring steels, turning, disc springs, chip formation, quick stop of tool

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

CIBA, M. *Soustružení pružinových ocelí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 48 s. Vedúci bakalárskej práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému **Soustružení pružinových ocelí** vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Dátum

Martin Ciba

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce pánovi prof. Ing. Miroslavovi Píškovi, CSc. a pánovi Dr. Davidovi Pratovi za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc. Taktiež ďakujem pánovi Dr. Frédéricovi Rossimu za pomoc pri vykonávaní experimentu.

OBSAH

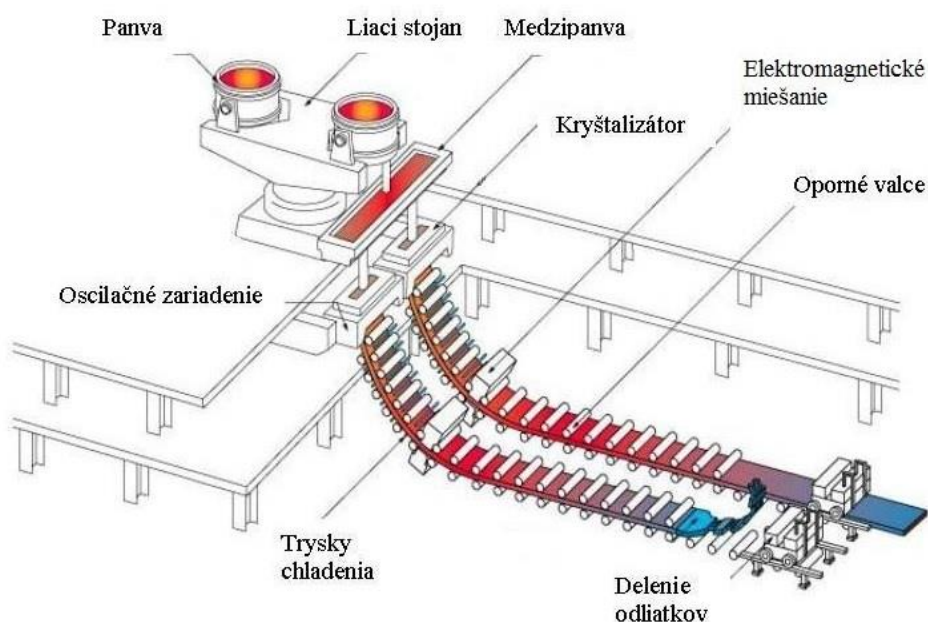
| | |
|---|----|
| ABSTRAKT | 4 |
| PREHLÁSENIE | 5 |
| POĎAKOVANIE | 6 |
| OBSAH..... | 7 |
| ÚVOD | 9 |
| 1. PRUŽINOVÁ OCEĽ | 10 |
| 1.1. Charakteristika pružinových ocelí..... | 10 |
| 1.2. Rozdelenie pružinových ocelí..... | 11 |
| 1.2.1. Nelegované ocele | 11 |
| 1.2.2. Zliatinové ocele | 11 |
| 1.2.3. Legované ocele..... | 12 |
| 1.2.4. Chemické zloženie vybraných legovaných ocelí | 13 |
| 1.3. Tepelné spracovanie pružinovej ocele | 14 |
| 1.3.1. Normalizačné žíhanie..... | 14 |
| 1.3.2. Žíhanie na mätko..... | 14 |
| 1.3.3. Kalenie | 15 |
| 1.3.4. Popúšťanie | 15 |
| 1.3.5. Patentovanie | 15 |
| 1.4. Ťahanie drôtu | 16 |
| 1.5. Štruktúrne vady kontiodliatkov | 17 |
| 1.5.1. Oduhličenie okolia trhlín | 17 |
| 1.5.2. Feritické pásy | 18 |
| 1.5.3. Nauhličenie povrchu kontiodliatku | 18 |
| 1.6. Produkty pružinových ocelí | 19 |
| 1.6.1. Skrutkovité pružiny..... | 19 |
| 1.6.2. Pružné podložky..... | 20 |
| 1.6.3. Zvyšné typy pružín | 20 |
| 1.7. Metóda Quick stop of tool..... | 21 |
| 1.7.1. Konštrukcia prerušovačov rezu | 22 |
| 2. TANIEROVÉ PRUŽINY..... | 25 |
| 2.1. Charakteristiky tanierových pružín | 26 |
| 2.1.1. Geometria tanierových pružín | 26 |
| 2.1.2. Výpočet tanierových pružín | 26 |
| 2.2. Typy usporiadania tanierových pružín..... | 27 |
| 2.2.1. Paket tanierových pružín | 28 |

| | |
|--|----|
| 2.2.2. Stípec tanierových pružín | 29 |
| 2.2.3. Vodiace elementy | 30 |
| 2.3. Využitie tanierových pružín | 31 |
| 2.3.1. Výstavba strojov a elektrární..... | 31 |
| 2.3.2. Ventily | 31 |
| 2.3.3. Vratné pružiny piestu | 31 |
| 2.3.4. Poistné spojky proti preťaženiu..... | 32 |
| 2.3.5. Zásobníky energie pre bezpečnostné systémy..... | 32 |
| 2.3.6. Pružinové brzdy | 32 |
| 2.3.7. Komponenty upnutia nástrojov | 33 |
| 2.3.8. Vymedzenie vôle | 33 |
| 2.3.9. Upnutie lanovej dráhy | 33 |
| 2.4. Oceľ 51CrV4 (ČSN 41 5260)..... | 34 |
| 2.4.1. Vlastnosti ocele 51CrV4 | 34 |
| 3. EXPERIMENT | 35 |
| 3.1. Získanie koreňa triesky..... | 36 |
| 3.2. Metalografické spracovanie koreňa triesky..... | 37 |
| 3.2.1. Preparácia vzoriek | 37 |
| 3.3. Analýza vzoriek..... | 38 |
| 3.3.1. Štruktúrna analýza..... | 38 |
| 3.3.2. Vznik triesky..... | 39 |
| 3.3.3. Primárna deformácia | 40 |
| 4. DISKUSIA..... | 42 |
| 5. ZÁVER | 43 |
| ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV | 44 |
| ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK..... | 46 |
| ZOZNAM PRÍLOH | 48 |

ÚVOD

Pružinové ocele sú významnou skupinou konštrukčných ocelí ktoré majú široké využitie najmä v automobilovom priemysle. Spôsob výroby volí výrobca s dôrazom na charakteristické požiadavky uplatňované na výrobky určené na zhotovovanie pružín. K nim patria nízke, respektíve obmedzené obsahy prvkov s negatívnym účinkom na vlastnosti (P,S,H,Sn...), vyhovujúca makro a mikro čistota a optimálna štruktúra. Pre výrobu pružín vystupuje do popredia akosť povrchu a minimálna hĺbka oduhličenej vrstvy hutných výrobkov. Pre výrobu veľmi namáhaných pružín výrobcovia odporúčajú používať oceľ s opracovaným povrchom [1].

Posledných desať rokov sa väčšina výroby pružinových ocelí realizovala odlievaním na blokovom kontiliatí a odlievaním do ingotov na kyslíkovej konvertorovej oceliarni (BOF) a na elektrooceliarni (EAF) s následným valcovaním do sochorov na blokoviach. V ďalšom výrobnom toku sú sochory prevalcované na moderných valcovacích tratiach na drôt a tyče [2].



Obr. 1. Schéma kontilatia [3].

Táto práca sa zaoberá analýzou chemického zloženia pružinových ocelí, ich rozdelením a využitím. Ďalej rozoberá analýzu mikroštruktúry konkrétneho vzorku tanierovej pružiny pred a po obrobení. Zaoberá sa taktiež analýzou mikroštruktúry počas tvorby triesky, na čo bude použitá technika vystreľovania nástroja, teda brutálneho zastavenia procesu obrábania, známa pod skratkou QST. V závere sa nachádzajú výsledky týchto experimentov a ich porovnanie.

1. PRUŽINOVÁ OCEĽ

1.1. Charakteristika pružinových ocelí

Pružinové ocele sa vyznačujú vysokou medzou pružnosti a vysokou medzou klzu respektíve medzou 0,2 %, pri pomerne dobrej húževnatosti. V zušľachtenom stave sa pevnosť v ťahu pohybuje v rozmedzí 1300 – 1700 MPa. S rastúcou pevnosťou klesá húževnatosť a tým rastie náchylnosť k šíreniu trhĺn v miestach s vrubovým účinkom. Ako vrub môže pôsobiť poškodenie povrchu, povrchové vady, ale aj vmestky v povrchovej vrstve. Vznik únavových trhĺn ovplyvňuje aj oduhličená vrstva. V zušľachtenom stave, majú pružiny hodnotu predĺženia minimálne 5% a hodnotu zúženia minimálne 25% [1].

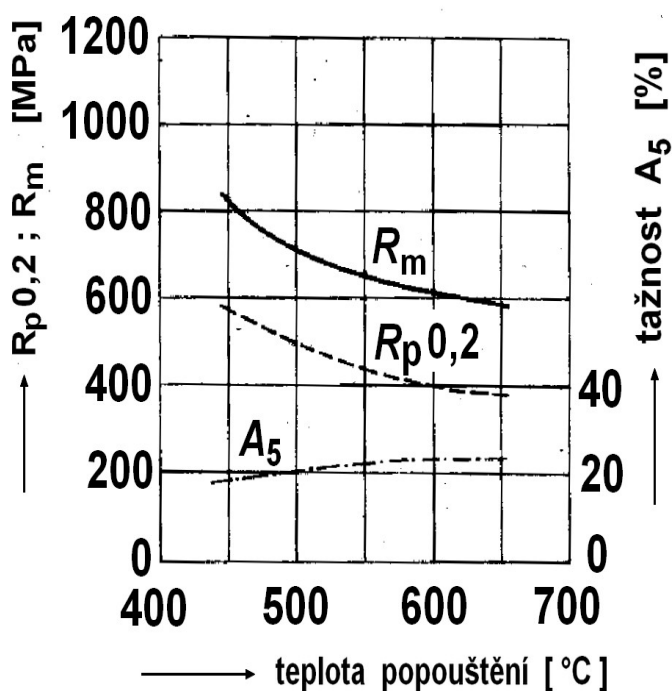
Vždy sa jedná o ocele k zušľachtovaniu, ktorých voľba závisí na priereze pružiny a na tom, aký dôraz sa kladie na húževnatosť. Najlacnejšou prísadou zvyšujúcou medzu pružnosti aj medzu únavy je kremík. Pre zvýšenie prekaliteľnosti sa k nemu obvykle pridáva mangán. Pre zvýšenie životnosti pružín sa môže použiť napríklad guličkovanie [4].

1.2. Rozdelenie pružinových ocelí

1.2.1. Nelegované ocele

Delia sa na 3 skupiny nelegovaných ocelí – základné, kvalitné a ušľachtilé. Na výrobu málo namáhaných pružín sa používajú výhradne ušľachtilé ocele, ktoré majú najvyšší stupeň chemickej čistoty. Patria do skupiny ocelí 12 podľa ČSN, s obsahom uhlíka od 0,07-0,9% a s obsahom legúr v súčte do 1%. Sú väčšinou určené na zušľachtovanie alebo povrchové kalenie. Používajú sa na menej namáhané pružiny a medzi najpoužívanejšie patria oceľ ČSN 41 2041, ČSN 41 2072 a ČSN 41 2081.

Tieto ocele musia spĺňať požiadavky na minimálne hodnoty nárazovej práce v zušľachtenom stave ($KV > 27^{\circ}\text{C}$ pri -50°C), na hĺbku zakalenej vrstvy (až do priemeru 40 mm) a tvrdosť po zakalení a musia mať obzvlášť nízke hodnoty nekovových prímiesí ($\leq 0,020\%$) [5,7].



Obr. 2. Vzťah popúšťacej teploty a mechanických vlastností nelegovaných ocelí [6].

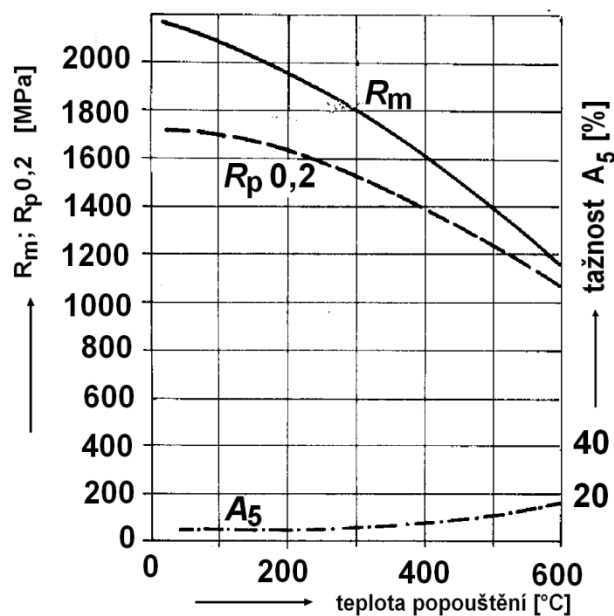
1.2.2. Zliatinové ocele

Patria tu ocele skupín 13 a 14 podľa ČSN, s obsahom legúr do 6%, najčastejšie oceľ 13 251 s obsahom uhlíka 0,47% a 13 270 s obsahom uhlíka 0,65 %. Pružiny z týchto ocelí sa vždy kalia a popúšťajú. Väčšina pružinových ocelí obsahuje kremík, ktorý zvyšuje pevnosť a predovšetkým medzu klzu. Tieto ocele sú však veľmi náchylné k oduhličeniu. Patria tu manganové ocele ČSN 41 3180 a ČSN 41 3250, ktoré sa vyznačujú veľkou prekaliteľnosťou. Ďalej tu patria kremíkové ocele ČSN 41 3251 a ČSN 41 3261, mangan-chrómové ocele ČSN 41 4160 a ČSN 41 4280, kremík-chrómové ocele ČSN 41 4260 a chróm-vanádiové ocele ČSN 41 5260 [7].

1.2.3. Legované ocele

Medzi najpoužívanejšie ocele podľa chemického zloženia radíme ocele chrómové, chróm – vanádiové, kremíko – chrómové, chróm – molybdénové, chróm – molybdén – vanádiové a chróm – molybdén – kremíkové, ktorých presné chemické zloženie je popísané v tabuľke 1.

Tieto druhy ocelí sú používané pre veľmi namáhané pružiny a pružiny pracujúce v sťažených podmienkach, ako je zvýšená vlhkosť alebo teplota, keďže sa jedná o ocele so zvýšenou odolnosťou voči korózii. Ocele s obsahom vanádia a molybdénu sa vyznačujú vyššou prekaliteľnosťou a dobrým znášaním striedavého napätia v ohybe a krútení. Sú menej náchylné na oduhličenie ako ocele s vyšším obsahom kremíka. Patria sem ocele ČSN 41 7023 a ČSN 41 7024 s vysokým obsahom legúr ktoré sa používajú aj na výrobu kuchynských, vreckových aj chirurgických nožov [5].



Obr. 3. Vzťah popúšťacej teploty a mechanických vlastností legovaných ocelí [6].

1.2.4. Chemické zloženie vybraných legovaných ocelí

Tab. 1. [1].

| Oceľ | chemické zloženie stavby(hmotnostný podiel v %) | | | | | | |
|------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| značka | C | Si | Mn | Cr | Mo | V | Ni |
| 38Si7 | 0,35-0,42 | 1,50-1,80 | 0,50-0,80 | | | | |
| 46Si7 | 0,42-0,50 | 1,50-2,00 | 0,50-0,80 | | | | |
| 56Si7 | 0,52-0,60 | 1,60-2,00 | 0,60-0,90 | | | | |
| 55Cr3 | 0,52-0,59 | max. 0,40 | 0,70-1,00 | 0,70-1,00 | | | |
| 60Cr3 | 0,55-0,65 | max. 0,40 | 0,70-1,00 | 0,60-0,90 | | | |
| 54SiCr6 | 0,51-0,59 | 1,20-1,60 | 0,50-0,80 | 0,50-0,80 | | | |
| 56SiCr7 | 0,52-0,60 | 1,60-2,00 | 0,70-1,00 | 0,20-0,45 | | | |
| 61SiCr7 | 0,57-0,65 | 1,60-2,00 | 0,70-1,00 | 0,20-0,45 | | | |
| 51CrV4 | 0,47-0,55 | max. 0,40 | 0,70-1,10 | 0,90-1,20 | | 0,10-0,25 | |
| 45SiCrV6-2 | 0,40-0,50 | 1,30-1,70 | 0,60-0,90 | 0,40-0,80 | | 0,10-0,20 | |
| 54SiCrV6 | 0,51-0,59 | 1,20-1,60 | 0,50-0,90 | 0,50-0,80 | | 0,10-0,20 | |
| 60SiCrV7 | 0,56-0,64 | 1,50-2,00 | 0,70-1,00 | 0,20-0,40 | | 0,10-0,20 | |
| 46SiCrMo6 | 0,42-0,50 | 1,30-1,70 | 0,50-0,80 | 0,50-0,80 | 0,20-0,30 | | |
| 50SiCrMo6 | 0,46-0,54 | 1,40-1,80 | 0,70-1,00 | 0,80-1,10 | 0,20-0,35 | | |
| 52SiCrNi5 | 0,49-0,56 | 1,20-1,50 | 0,70-1,00 | 0,70-1,00 | | | 0,50-0,70 |
| 52MoVč | 0,48-0,56 | max. 0,40 | 0,70-1,10 | 0,90-1,20 | 0,15-0,25 | 0,10-0,20 | |
| 60CrMo3-1 | 0,48-0,56 | max. 0,40 | 0,70-1,00 | 0,70-1,00 | 0,06-0,15 | | |
| 60CrMo3-2 | 0,48-0,56 | max. 0,40 | 0,70-1,00 | 0,70-1,00 | 0,15-0,25 | | |
| 60CrMo3-3 | 0,48-0,56 | max. 0,40 | 0,70-1,00 | 0,70-1,00 | 0,25-0,35 | | |

1.3. Tepelné spracovanie pružinovej ocele

Pre menej namáhané pružiny sa môže použiť uhlíková oceľ s vyšším obsahom uhlíka ktorá nie je tepelne spracovaná. V prípade malých priemerov sa môže pevnosť ocele zvýšiť pomocou ťahania za studena. Väčšie a viac namáhané pružiny z uhlíkových ocelí sa žihajú, kalia, patentujú alebo popúšťajú za účelom zlepšenia mechanických vlastností.

1.3.1. Normalizačné žihanie

Prevádza sa za účelom zjemnenia hrubého austenitického zrna a vytvorenia rovnomernej štruktúry, ale taktiež pre odstránenie Widmannstättenovej štruktúry. Normalizačného žihania sa prevádza pri teplote o 30-50°C vyššej od bodu premeny A_{c3} , čiže na 850 – 890°C a nasleduje postupné ochladenie na vzduchu. Používa sa ako príprava pre následné kalenie, alebo ako konečná operácia tepelného spracovania pre menej namáhané súčiastky [7].

1.3.2. Žihanie na mätko

Účelom žihania na mätko je zníženie tvrdosti, pre nasledujúce obrábanie alebo tvárnenie za studena, vďaka sferoidizácii cementitu. Jedná sa o zohriatie na teplotu tesne pod bodom A_{c1} (710-750°C) a následnú niekoľkohodinovú výdrž na tejto teplote. Nebezpečím pri ochladzovaní je vznik lamelárneho perlitu a nerovnomernosť teploty na okraji a vo vnútri súčiastky. Pre žihanie na mätko je preto vhodnejšie používať menšie alebo priebežné pece, s lepším rozložením teploty, prípadnou možnosťou regulácie teploty počas procesu ochladzovania [7].



Obr. 4. Žihacia pec [8].

1.3.3. Kalenie

Účelom kalenia je zvýšenie tvrdosti ocele, premenou austenitu na martenzit alebo bainit. Skladá sa z ohrevu na kaliacu teplotu, krátkej výdrž na tejto teplote a následného prudkého ochladenia rýchlosťou vyššou než je kritická rýchlosť. Kaliaca teplota je asi 20°C nad A_{c1} alebo A_{c3} , v prípade pružinových ocelí je to teplota medzi 840 – 880°C. Najčastejším kaliacim prostredím je voda, olej, vzduch alebo solný kúpeľ[7].

1.3.4. Popúšťanie

Je ohrev kaleného predmetu na teplotu vyššiu, než je zvyčajná teplota miestnosti, najviac však na teplotu tesne pod bodom A_{c1} , výdrž na tejto teplote a následné ochladenie vhodnou rýchlosťou. Pri pružinových oceliach je popúšťacia teplota medzi 380 až 580°C a proces slúži na zníženie vnútorných napätí vzniknutých po kalení [7].

1.3.5. Patentovanie

Účelom patentovania je dosiahnuť vhodnú štruktúru a vhodné mechanické vlastnosti pred ťahaním drôtu za studena. Jedná sa o najstarší spôsob izotermického kalenia, ktorého požadovanou výslednou štruktúrou je bainit alebo veľmi jemný lamelárny perlit – troostit. Po ohreve na teplotu nad bodom A_{c3} nasleduje ochladenie na teplotu rozpadu, obvykle na 400 až 550°C a ďalšie ochladenie na vzduchu.

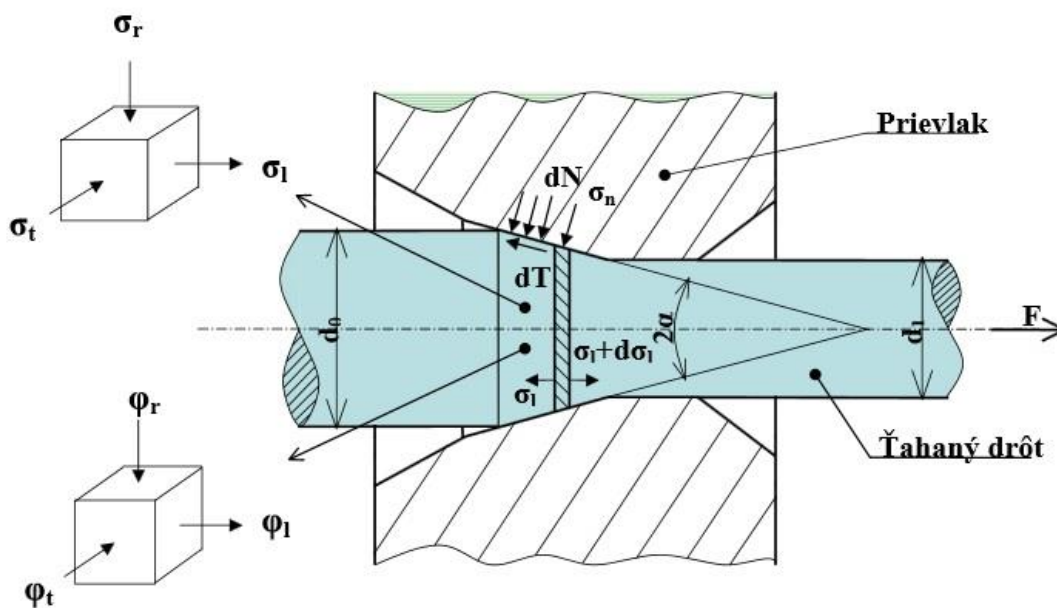
V prípade patentovania je ohrev na austenitizačnú teplotu spravidla odporový a ochladenie a výdrž na teplote rozpadu sa robia hlavne v olovených, menej často v solných kúpeľoch [7].

1.4. Ťahanie drôtu

Je jedným z najpoužívanějších spôsobov prípravy materiálu na výrobu pružín, robí sa z valcovaného polotovaru najčastejšie s kruhovým, oválnym alebo štvorcovým prierezom.

Ťahaním za studena a za tepla sa tvárni východiskový materiál v prievlaku resp. ťažnom krúžku, kde sa znižuje jeho pričný prierez a zväčšuje dĺžka. Pri ťahaní materiálu za studena nastáva štrukturálna zmena, ktorá sa vyznačuje pretiahnutím jednotlivých kryštálov v smere dĺžky. Táto zmena má za následok zníženie tvárnosti a húževnatosti, zvýšenie tvrdosti a pevnosti. Požadované mechanické vlastnosti sa dosahujú deformačným spevňovaním.

Pre zníženie trenia na stykových plochách drôt– prievlak a umožnenie samotného procesu ťahania za studena sa používajú mazivá. Tieto môžu byť tuhé – práškové mazivá, polotuhé - pasty, alebo tekuté - oleje a emulzie. Ako mazivo sa pri ťahaní oceľových drôtov väčších ako $\varnothing 0,5 \div$ až $\varnothing 0,9$ mm väčšinou používajú tuhé – práškové mazivá [9].



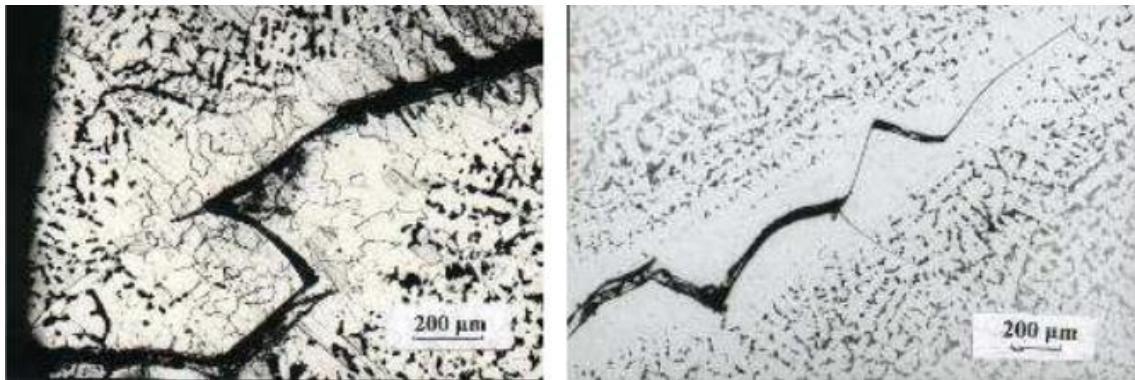
Obr. 5. Princíp ťahania drôtu [9].

1.5. Štruktúrne vady kontiodliatkov

Krehnutie kontiodliatkov a vznik povrchových trhlín pri plynulom odlievaní môže prebiehať v širokom intervale teplôt, od teploty solidu až po teplotu 700°C, čo odpovedá celej dĺžke zariadenia pre plynulé odlievanie. Je preto veľmi zložitá odhaliť príčiny takéhoto krehnutia. Keďže povrchové vady a oduhličený povrch znižujú medzu únavy cyklicky namáhaných pružín, je nevyhnutné minimalizovať ich výskyt [10].

1.5.1. Oduhličenie okolia trhlín

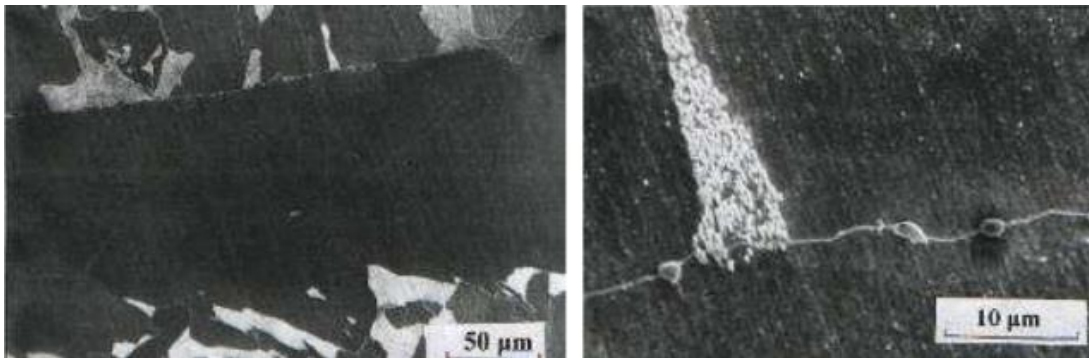
Povrchové vady a oduhličený povrch znižujú medzu únavy cyklicky namáhaných pružín, predstavujú teda výraznú vadu materiálu. Práve v okolí povrchových trhlín je najväčšie riziko výskytu oduhličenej feritickej štruktúry hrúbky do 0,2 mm, ktoré sú dôkazom že trhlina vznikla vo vysokoteplotnej oblasti austenitu. V priebehu ďalšieho ochladzovania v sekundárnej zóne prebiehala pôsobením vody a pary intenzívna oxidácia okolia trhlín spojená s oduhličovaním austenitu a ďalším rastom trhliny. Pri nasledujúcej premene γ_a na α_a austenit ochudobnený o uhlík transformoval na ferit [10].



Obr. 6. Oduhličenie okolo priečnej trhliny [10].

1.5.2. Feritické pásy

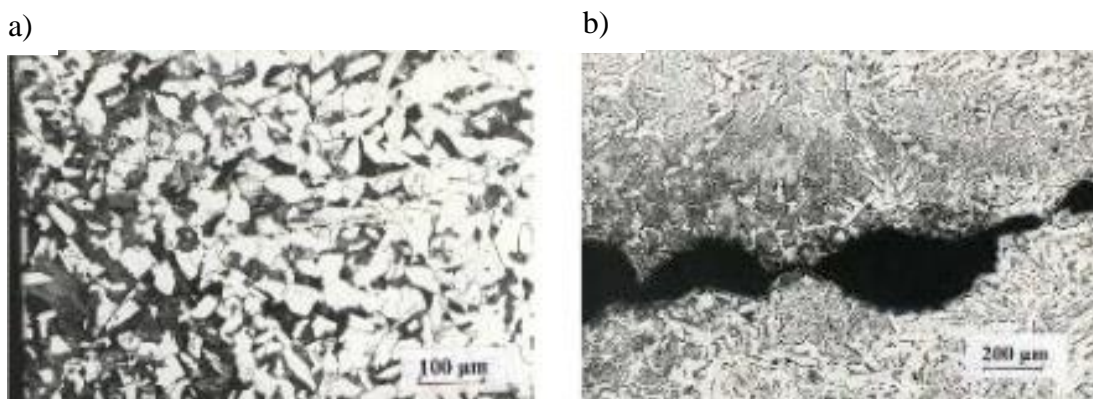
Ďalšou štruktúrnou heterogenitou, ktorá sa vyskytuje v povrchovej kôre defektných kontiodliatkov ale aj výkovkov, sú feritické pásy. Feritické pásy dosahujú väčšinou hrúbku 100 až 200 μm a dĺžku niekedy až niekoľko milimetrov. Príčinou vzniku feritických pásov v kontiodliatkoch je usmernený rast dendritov v povrchovej kôre spojený s heterogenitou chemického zloženia. Pri detailnom štúdiu feritických pásov bolo zistené, že na hraniciach feritických pásov sa nachádzajú drobné oxidické častice, dutinky a mikrotrhliny (Obr. 7.), ktoré môžu iniciovať vznik makroskopických trhlín [10].



Obr. 7. Škodlivé častice vo feritických pásoch [10].

1.5.3. Nauhličenie povrchu kontiodliatku

Povrch kontiodliatku sa môže lokálne nauhličiť pri použití nevhodného liaceho prášku s vysokým obsahom uhlíka. Lokálne nauhličenie sa prejaví vznikom polyedrickej štruktúry s vysokým podielom perlitu, alebo vznikom ihlicovitej štruktúry Widmannstättenovho typu, (Obr. 8.). Nauhličená štruktúra sa stáva potenciálnym miestom praskania a vzniku mikrotrhlín a trhlín [10].



Obr. 8. a) Štruktúra s vysokým podielom perlitu, b) Windmannstättenova štruktúra [10].

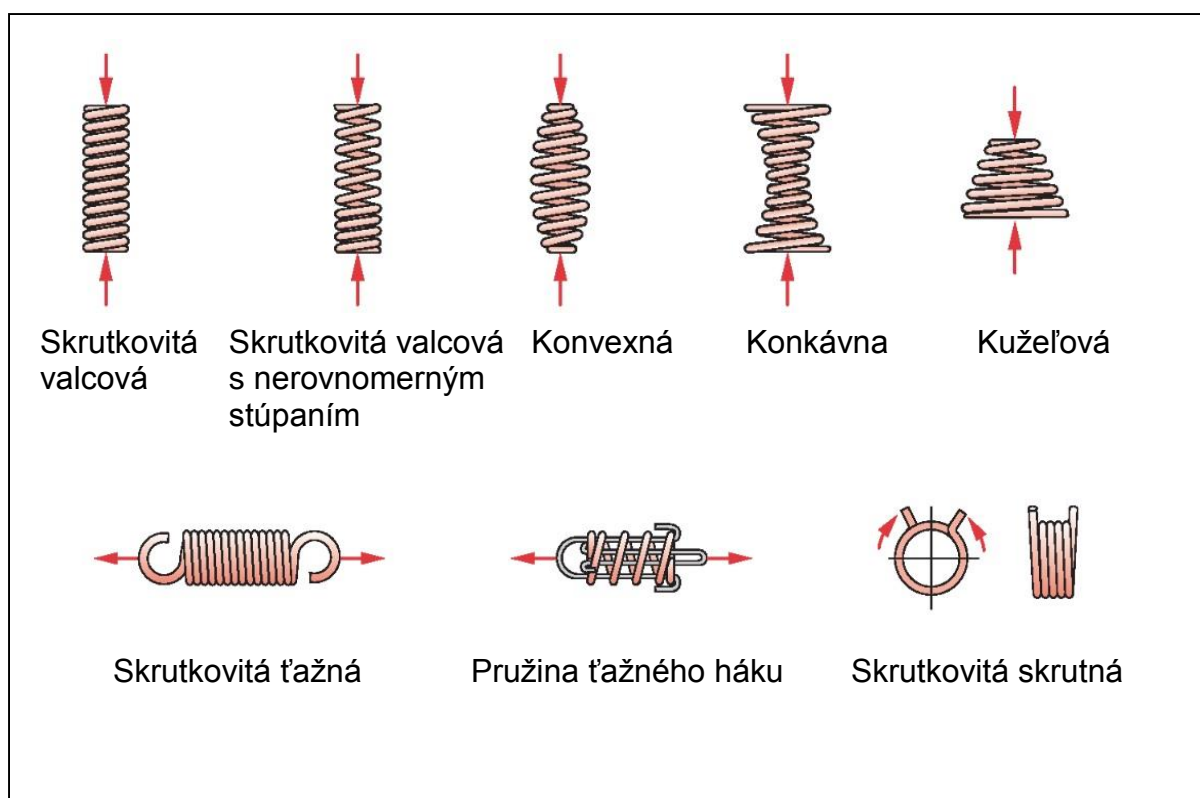
1.6. Produkty pružinových ocelí

Pružinová oceľ sa používa na výrobu nožov a to predovšetkým mačiet, bojových nožov a mečov, kvôli jej vysokej pružnosti a húževnatosti. Hlavným produktom pružinových ocelí však zostávajú pružiny.

Pružiny sú strojné súčasti, ktoré majú schopnosť akumulovať mechanickú energiu na základe pružnej deformácie materiálu. Zachytávajú a tlmia nárazy a otrasy, zaisťujú vratné pohyby a udržuujú rovnováhu síl.

1.6.1. Skrutkovité pružiny

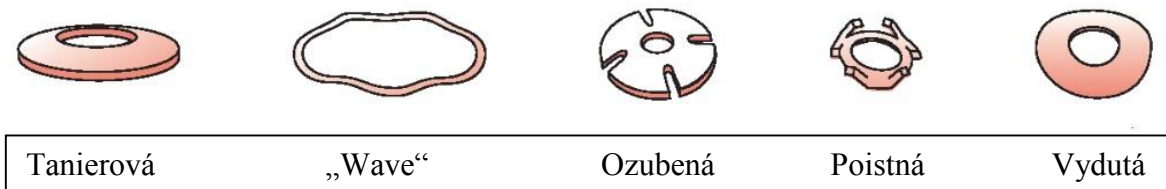
Závity skrutkovitých pružín sú obecné namáhané kombinovaným namáhaním, ktoré je kombináciou tlaku/ťahu, ohybu, krútenia a šmyku. Sú tvorené vinutými drôťmi, so stálou vôľou medzi činnými závitmi a sú spôsobilé vstrebávať vonkajšie sily pôsobiace v ich ose, proti sebe. Pružiny s drôtom do 16 mm sa zvyčajne navíjajú za studena. Formovanie za tepla sa používa pre výrobu vysoko namáhaných pružín väčších rozmerov s priemerom drôtu cez 10 mm. Okrem kruhového prierezu, sa v prípadoch veľkého zaťaženia pri potrebe nízkej stavebnej výšky používajú aj pružiny s obdĺžnikovým prierezom [12].



Obr. 9. Typy skrutkovitých pružín [11].

1.6.2. Pružné podložky

Špeciálny typ pružín, ktorých výhodou je schopnosť tlmiť vibrácie aj v miestach, kde sú skrutkovité pružiny nepoužiteľné kvôli svojim rozmerom. Príkladom sú wave podložky využívané pre tlmienie hluku a vibrácii ložísk, prípadne v rôznych elektronických prístrojoch malých rozmerov. Všetky pružné podložky sú schopné vstrebávať záťaž v smere osy a v prípade potreby znesenia väčšej záťaže, sa používa viac vrstiev danej pružnej podložky na sebe [18].

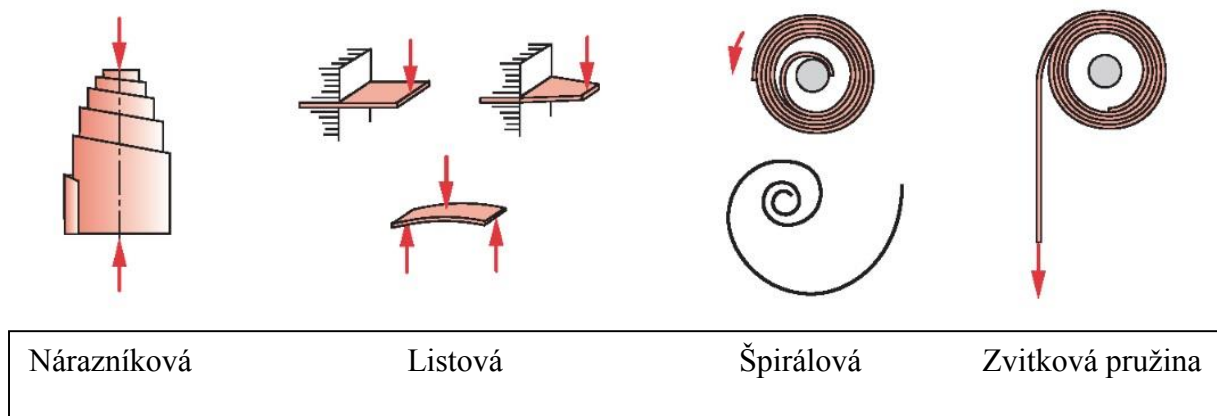


Obr. 10. Typy pružných podložiek [11].

1.6.3. Zvyšné typy pružín

Významným druhom používaných pružín sú listové pružiny, ktoré sa vo väčšine prípadov používajú v sadách, pretože tak dokážu tlmiť väčšie nárazy a zaťaženia. Existujú listy s konštantným, parabolickým, obdĺžnikovým, lichobežníkovým aj trojuholníkovým tvarom. Majú bohaté využitie v automobilovom priemysle, pri výrobe prítlačných zariadení a v poľnohospodárskom priemysle, ich nevýhodou je však náročnosť na údržbu akým je napríklad potreba mazania v niektorých prípadoch [13].

Nárazníkové pružiny, nazývané tiež Silentbloky, slúžia na pružné uchytenie komponentov nápravy, prevodovky či motora ku karosérii. Sú konštruované tak, aby zniesli aj náročnú prevádzku bez akéhokoľvek mazania alebo údržby. Okrem kovového obalu sú tvorené špeciálnou gumenou zmesou alebo polyuretánom.



Obr. 11. Ostatné typy pružín [11].

1.7. Metóda Quick stop of tool

Jedná sa o prelomovú metódu štúdie tvorby triesky pri obrábaní materiálu sústružením, frézovaním, brúsením alebo iným spôsobom. V porovnaní s ostatnými metódami, umožňuje analýzu triesky priamo v momente jej tvorby bez jej poškodenia. Najrozšírenejšia je metóda okamžitého prerušenia rezu, ktorou sa získa koreň triesky.

Na metalurgickom výbruse tohto koreňa triesky, je možné pozorovať aké zmeny prebehli v oddelenom materiáli a stanoviť charakteristické veličiny. Ďalej je možné stanoviť začiatok aj koniec prvej plastickej deformácie, z toho posúdiť jej intenzitu a popísať textúru triesky, stanoviť jej uhol, ďalej určiť priebeh mikrotvrdosti, rozoberať druhú plastickú deformáciu atď.

Aby namerané hodnoty odpovedali skutočným podmienkam rezu, boli vyvinuté takzvané prerušovače rezu, pre každý spôsob obrábania. V dnešnej dobe sa už táto metóda nepoužíva, keďže ako omnoho jednoduchšia na manipuláciu je metóda využívanie vysokorýchlostných kamier [17].



Obr. 12. Fotografia metalografického výbrusu koreňa triesky [15].

1.7.1. Konštrukcia prerušovačov rezu

Vzhľadom k tomu, že rôzne spôsoby obrábania sa odlišujú rôznou kinematikou rezných pohybov, je potrebné používať rozdielne typy prerušovačov pre každý spôsob obrábania. Existujú výnimky v podobe čiastočne univerzálnych prerušovačov, ktoré môžu byť použité v prípade vŕtania, vyhrubovania a rezania vnútorných závitov [14].

1.7.1.1. Prerušovač rezu pre vŕtanie a ďalšie osové operácie

Prerušovač, ktorého autorom je pán Doc.Ing. Vojtěch Dráb, CSc, patrí do kategórie „náhle zlúčenie pohybu obrobku a rezného nástroja“. Používa sa na vŕtačkách, kde sa do vretena vkladá nosné puzdro s kuželom. Na ne je potom nasadené puzdro so štyrmi zubami, ktoré je po nosnom puzdre voľne posuvné. V pracovnej polohe je však fixované skrytým systémom vo vnútri. Vŕtaná vzorka je vložená a upnutá do držiaku so 4 protíahlými unášačmi, vložená do príruby kde sa voľne otáča. V pracovnej polohe je proti otáčaniu zaistená strihovým kolíkom.

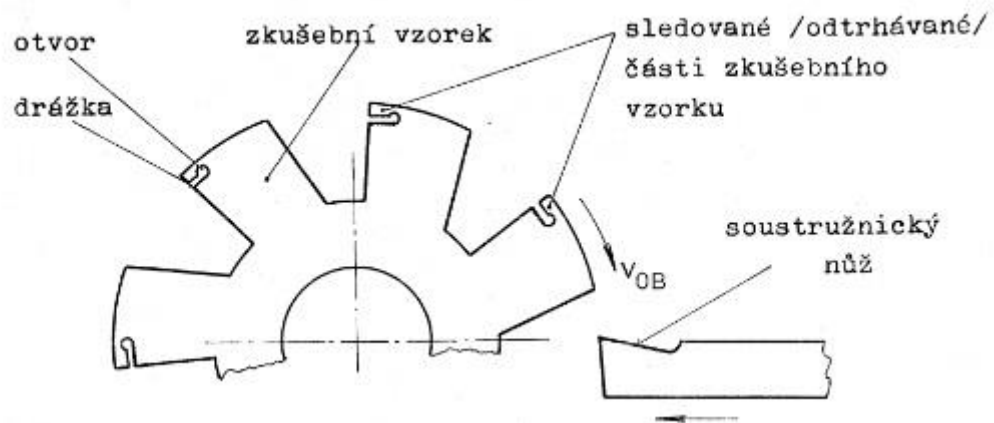
Po nastavení rezných podmienok sa spustí posuv a prebieha vŕtanie. Fixačný systém je zvonku uvoľnený, vonkajšie puzdro sklízne dole a zapadne do unášačov držiaku, pričom prestrihne strihový kolík a obrobok sa začne otáčať spolu s vrtákom. Po vypnutí otáčania sa z držiaku vyjme vzorka s pripojenými trieskami [14].



Obr. 13. Prerušovač rezu pre vŕtanie a ďalšie osové operácie [16].

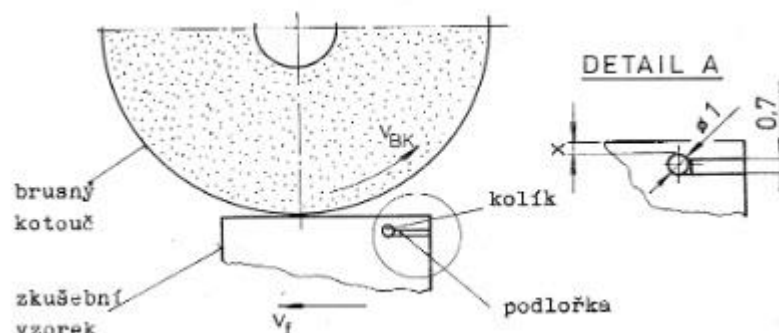
1.7.1.2. Prerušovač rezu pre sústruženie podľa patentu autorov Buda - Vasilko

Podstata prerušovača spočíva v tom, že v dôsledku ťahového napätia vyvolaného reznou silou v zoslabenom mieste nad otvorom odtrhne časť materiálu zo zóny rezania. Aby nedošlo k predčasnej deformácii skúšobného vzorku, je do drážky vkladaná planparalelná doštička. Do otvoru sa pre zaistenie odvodu tepla vkladá medený drôt. Po úspešnom získaní koreňa triesky, ho podrobíme analýze mikroštruktúry pre získanie potrebných informácií [14].



Obr. 14. Prerušovač rezu pre sústruženie [16].

Autori patentu ho s úspechom patentovali taktiež ako prerušovač rezu pri brúsení obvodom kotúča, ktorého priebeh je znázornený na obrázku nižšie. Počas experimentu dôjde postupným odbrusovaním k zmenšovaniu miery x až na hodnotu, kedy ťahové napätia v tomto prípade rovné reznej sile F_c prekročí medzu pevnosti R_m a dôjde k odtrhnutiu sledovanej časti vzorku. Ten je vrhnutý dopredu reznou silou a blíži sa k obvodovej rýchlosti brúsneho kotúča. Preto treba do jeho dráhy správne umiestniť molitanovú krabicu, alebo iný prostriedok ktorý jeho pohyb bezpečne a bez jeho poškodenia zastaví [14].



Obr. 15. Prerušovač rezu pre rovinné brúsenie obvodom kotúča [16].

1.7.1.3. Prerušovač rezu pre sústruženie s celokarbidovým nástrojom a manuálnym prerušením rázom



Obr. 16. Prerušovač rezu pre sústruženie s celokarbidovým nástrojom a manuálnym prerušením rázom [16].

1.7.1.4. Prerušovač rezu pre sústruženie spúšťaný tlakom plynu



Obr. 17. Prerušovač rezu pre sústruženie spúšťaný tlakom plynu [16].

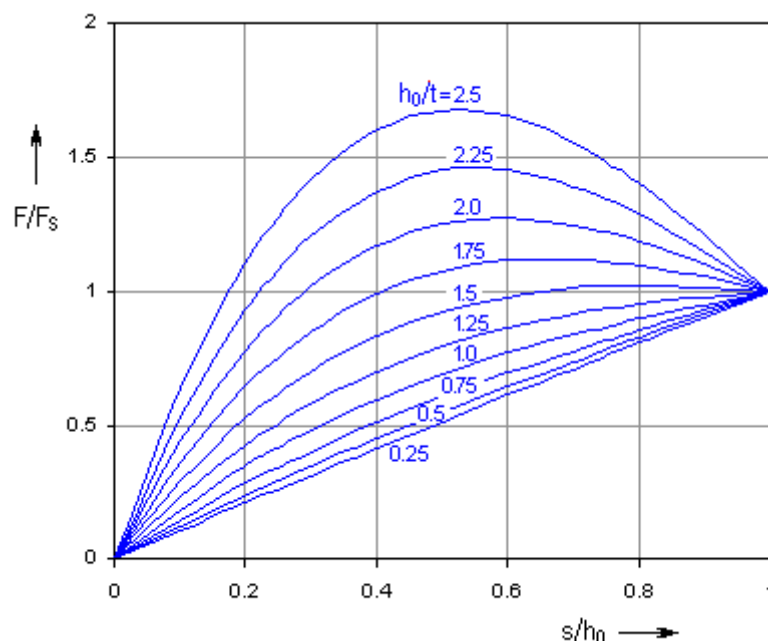
2. TANIEROVÉ PRUŽINY

Sú to medzikruhové prstence v tvare dutého komolého kužeľa, spôsobilé prijímať vonkajšie sily pôsobiace v ich ose proti sebe. Prierez pružiny je spravidla obdĺžnikový. Pružiny väčších rozmerov ($t > 6$ mm) sa niekedy vyrábajú s obrobenými dosadacími plochami.

Tanierové pružiny sú určené pre veľké zaťaženia pri malých deformáciách, používajú sa jednotlivito alebo v sadách. Pri použití pružín v sade je nutné vziať do úvahy vplyv trenia. Trenie v sade činí na každú vrstvu približne 3 až 5 % zaťaženie, o túto silu treba teda zvýšiť pracovné zaťaženie [18].

Od iných typov pružín sa odlišujú nasledujúcimi charakteristikami:

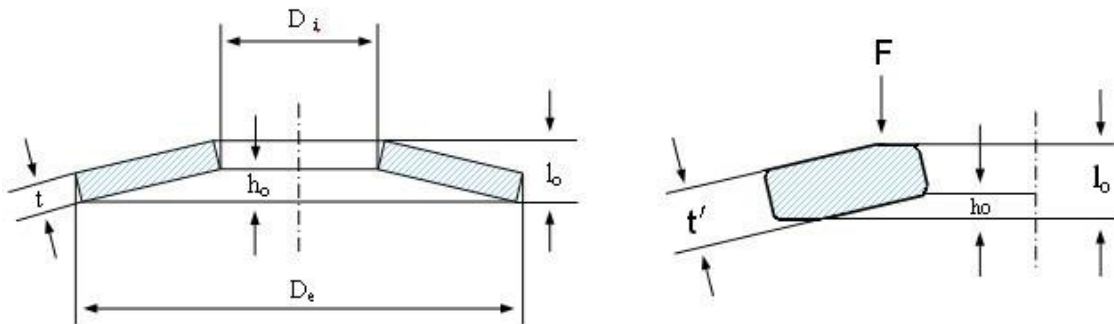
- Malé prehnutie pružiny pri vysokom zaťažení
- Výrazne lepšie využitie priestoru pri porovnaní s ostatnými typmi pružín
- Vysoká medza únavy a nízka tendencia k tečeniu materiálu za tepla
- Rozmanitosť montážnych usporiadaní, pre dosiahnutie požadovaných charakteristík
- Využitie špeciálnych materiálov a povrchových úprav
- Cenová efektívnosť [18]



Obr. 18. Tvar charakteristickej krivky je výrazne ovplyvnený pomernou výškou h_0/t . Pre malé hodnoty výšky má pružina takmer lineárnu pracovnú charakteristiku, so zvyšujúcim sa pomerom je charakteristika výrazne degresívna. V špeciálnych prípadoch môže byť pružina navrhnutá tak, že je možné prehnutie až za plochý tvar charakteristiky [18].

2.1. Charakteristiky tanierových pružín

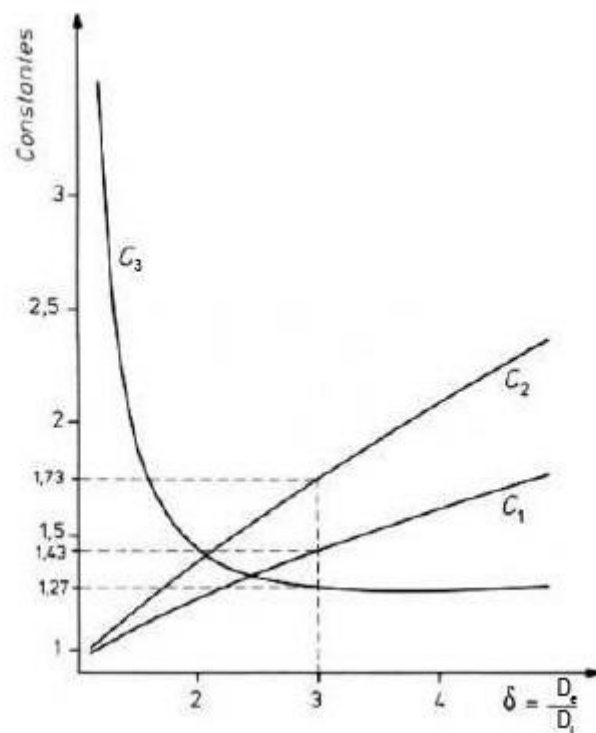
2.1.1. Geometria tanierových pružín



Obr. 19. Prierez tanierovej pružiny [19].

2.1.2. Výpočet tanierových pružín

Charakteristická krivka tanierových pružín sa mení podľa ich meniacich sa rozmerov, čo dovoľuje dosiahnuť výnimočné vlastnosti akými sú takmer nekonečná alebo negatívna ohybnosť [21].



Obr. 20. Koeficienty výpočtu namáhania a záťaže (2.1), (2.2) a (2.3) v závislosti na δ [21].

Koeficient C_1 podľa práce [21]:

$$C_1 = \frac{\delta}{\pi \cdot \ln \delta} * \left(\frac{\delta-1}{\ln \delta} - 1 \right) \quad (2.1)$$

Koeficient C_2 podľa práce [21]:

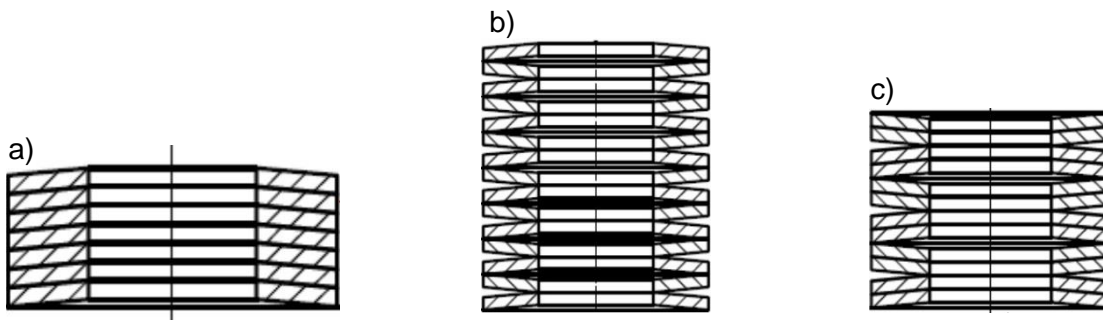
$$C_2 = \frac{3 \cdot (\delta - 1)}{\pi \cdot \ln \delta} \quad (2.2)$$

Koeficient C_3 podľa práce [21]:

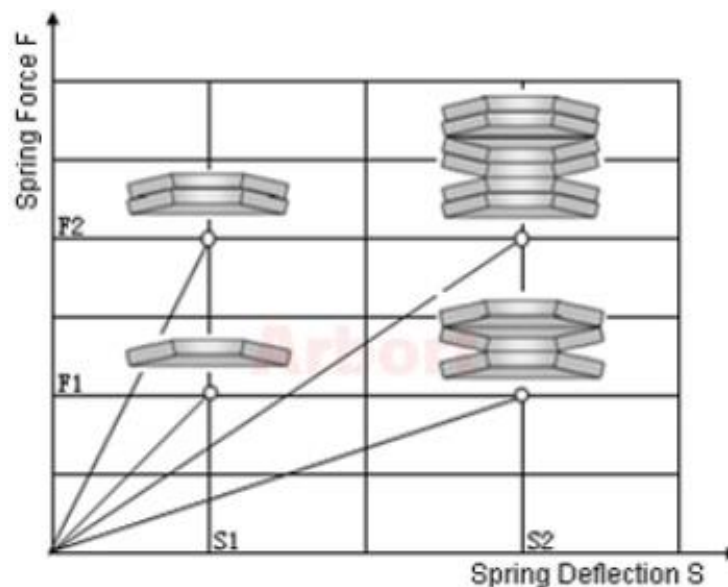
$$C_3 = \pi * \frac{\frac{\delta+1}{\delta} \cdot \frac{2}{\ln \delta}}{(\frac{\delta-1}{\delta})^2} \quad (2.3)$$

2.2. Typy usporiadania tanierových pružín

Tanierové pružiny sú väčšinou použité ako modulárna súčasť. V prípade príhľadného usporiadania sa nazývajú paket pružín. Jednotlivé pružiny alebo pakety s protiahlym usporiadaním sa nazývajú stĺpce pružín. V sadách s príhľadným usporiadaním pružín je prieťah rovný prieťahu jedinej pružiny a zaťaženie je úmerné počtu jednotlivých pružín použitých v sade. V sadách s protiahlym usporiadaním je prieťah sady rovný súčtu prieťahov jednotlivých pružín [18].



Obr. 21. a) Paket pružín, b) Stĺpec pružín, c) Kombinácia usporiadaní [20].



Obr. 22. Vplyv usporiadania tanierových pružín na veľkosť absorbovanej sily vzhľadom na celkový prieťah [19].

2.2.1. Paket tanierových pružín

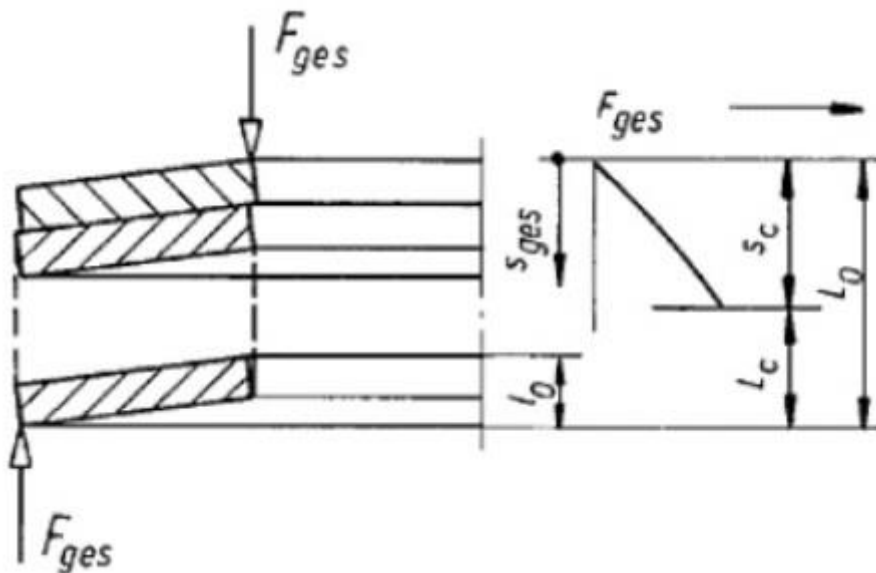
Pre pakety pružín, ktoré sa skladajú z jednotlivých tanierových pružín umiestnených na seba, sa prihyb znásobí faktorom i pre konštantné zaťaženie. Dĺžka nezaťaženého stĺpca pružín sa podľa práce [23] vypočíta ako:

$$L_0 = i * l_0 \quad (2.4)$$

V prípade zanedbania trenia vznikajúceho medzi pružinami sa podľa práce [23] získajú vzťahy:

$$s_c = s \quad (2.5)$$

$$F_{celková} = n * F_{ges} \quad (2.6)$$



Obr. 23. Silové pôsobenie na paket pružín [23].

2.2.2. Stípec tanierových pružín

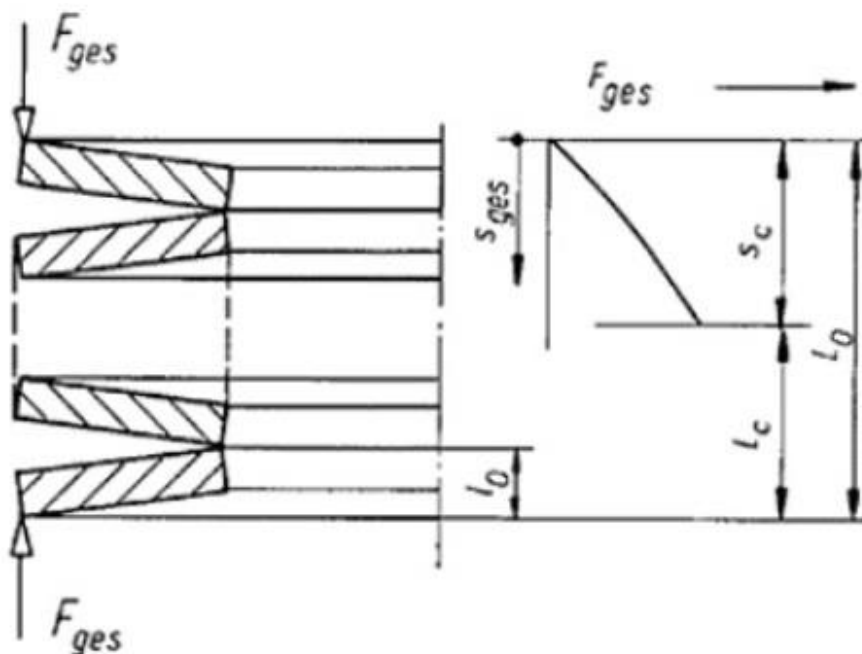
Pre stípec pružín, ktorý sa skladá z jednotlivých tanierových pružín zložených striedavo na seba sa prihyb násobí faktorom i pre konštantné zaťaženie. Dĺžka nezaťaženého stípcu pružín sa podľa práce [23] vypočíta ako:

$$L_0 = i * l_0 \quad (2.7)$$

V prípade zanedbania trenia vznikajúceho medzi pružinami sa podľa práce [23] získajú vzťahy:

$$s_c = i * s \quad (2.8)$$

$$F_{celková} = F_{ges} \quad (2.9)$$

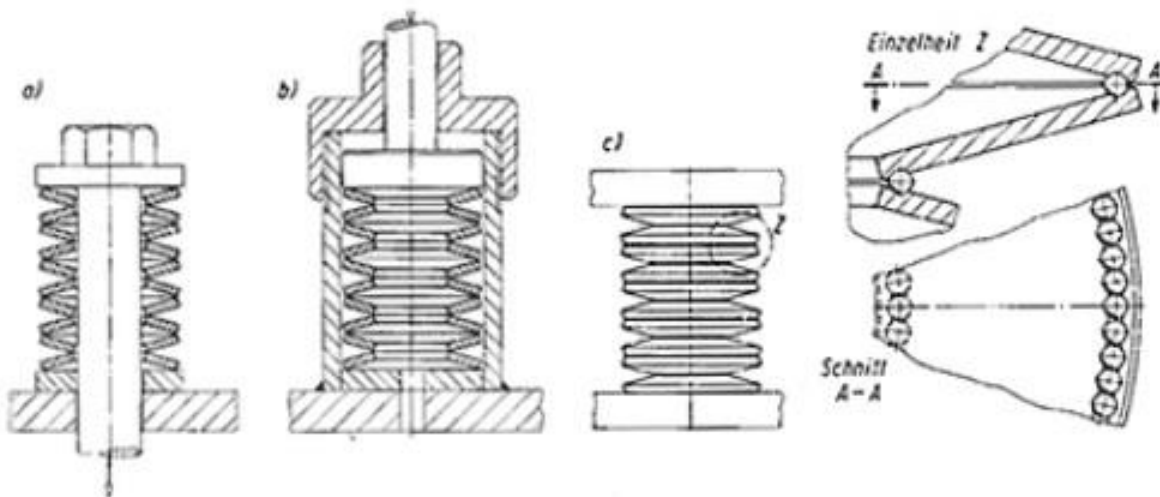


Obr. 24. Silové pôsobenie na stípec pružín [23].

2.2.3. Vodiace elementy

Pružinové pakety a pružinové stĺpce by mali byť vedené vodiacimi elementmi. Vnútorne a taktiež vonkajšie vedenie by malo byť leštené po celej svojej dĺžke a kalené najmenej na 55 *HRc*. V prípade čisto statických alebo občasných striedavých zaťažení môže byť použitý nekalený vodiaci element.

Oba typy vodiacich elementov vyžadujú istú vôľu medzi pružinovým stĺpcom a vodiacim elementom aby sa umožnilo vytlačenie maziva a zaistilo sa správne vedenie [23].



Obr. 25. Typy vodiacich zariadení [23]. a) vodiaca tyč, b) vodiace puzdro, c) samostrediacie zariadenie

2.3. Využitie tanierových pružín

2.3.1. Výstavba strojov a elektrární

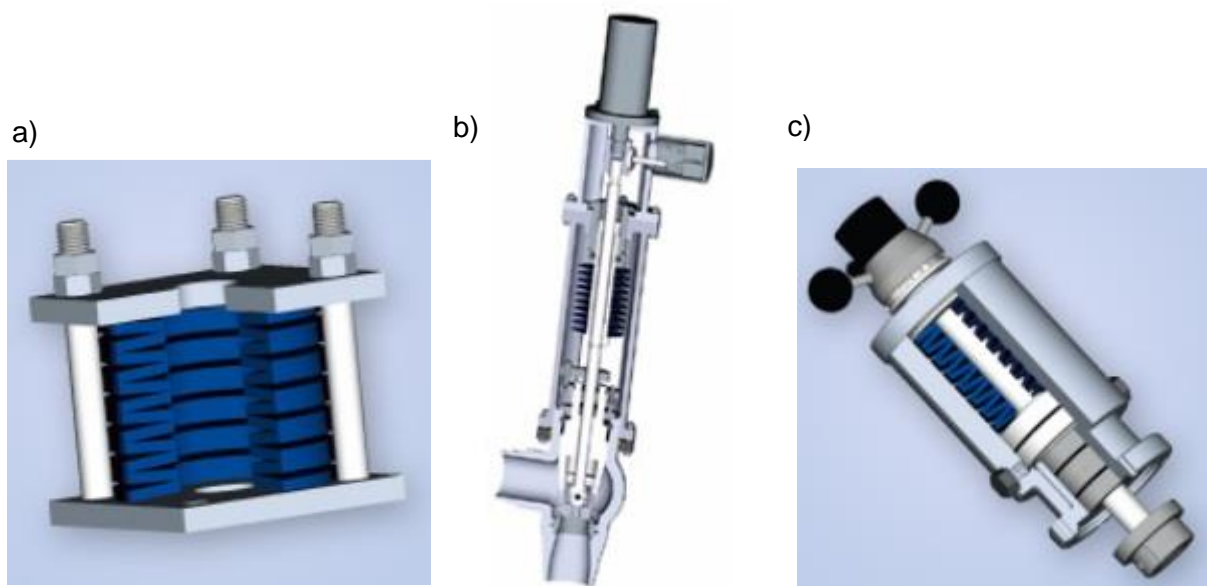
Stĺpce pružín sú použité pre systém uloženia závesných kotlov. Kompenzujú lokalizované priehyby na povrchu ložísk a tým zaručujú rovnomerné spúšťanie kotla s fluktuáciami zaťaženia v dôsledku tepelnej rozťažnosti [22].

2.3.2. Ventily

Pri rýchlo zatváracích ventiloch je v otvorenej polohe sada tanierových pružín predom hydraulicky zaťažená. V prípade zlyhania hydraulický tlak poklesne, sada tanierových pružín sa uvoľní, uzavrie ventil a tým preruší prietok. K tomuto účelu sú často používané sady tanierových pružín s guľôčkovým stredom [22].

2.3.3. Vratné pružiny piestu

V klzných spojkách zaisťuje tanierová pružina definovaný axiálny tlak na trecom obložení. Opotrebenie trecieho obloženia počas životnosti spojky je kompenzované tanierovou pružinou, ktorou sa udržiava konštantná úroveň krútiaceho momentu. Tanierové pružiny s výrezmi s plochou krivkou zaťaženia sú špeciálne dobre vhodné pre tento typ aplikácie [22].



Obr. 26. a) Pružinová sada, b) Ventil, c) Vratná pružina piestu [22].

2.3.4. Poistné spojky proti preťaženiu

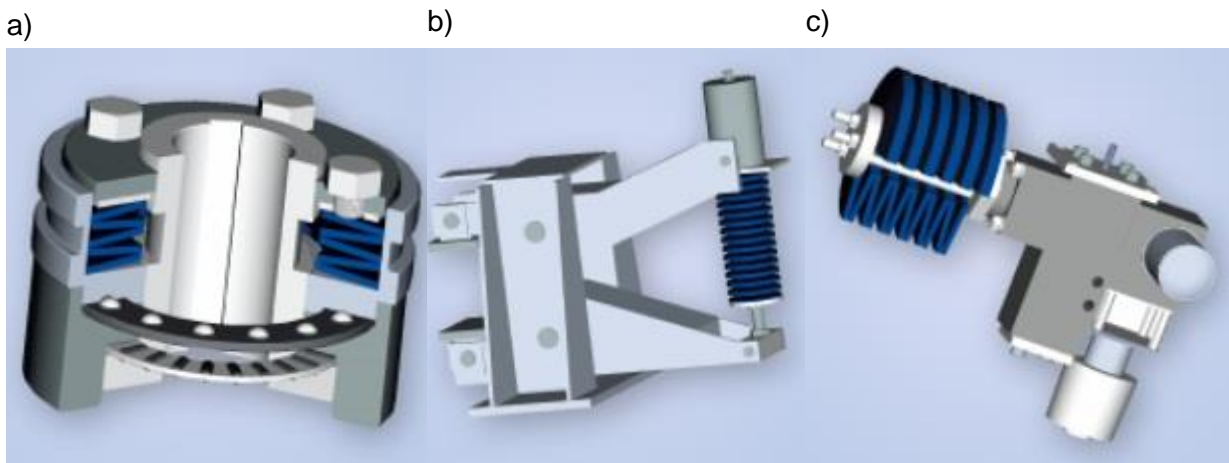
V poistných spojkách zaisťujú tanierové pružiny zaťaženie potrebné pre udržanie dostatočne veľkého trenia k preneseniu krútiaceho momentu. Úroveň zaťaženia je možné nastaviť pomocou regulačných matíc. V prípade výskytu preťaženia je prenos krútiaceho momentu prerušený [22].

2.3.5. Zásobníky energie pre bezpečnostné systémy

V pružinových akumulátoroch hydraulických pohonov je akumulácia energie často dosiahnutá pomocou stĺpca tanierových pružín [22].

2.3.6. Pružinové brzdy

Tanierové pružiny generujú brzdné zaťaženie potom, čo sa hydraulický tlak zníži na predom stanovenú úroveň [22].



Obr. 27. a) Poistná spojka, b) Pružinová brzda, c) Zásobník energie [22].

2.3.7. Komponenty upnutia nástrojov

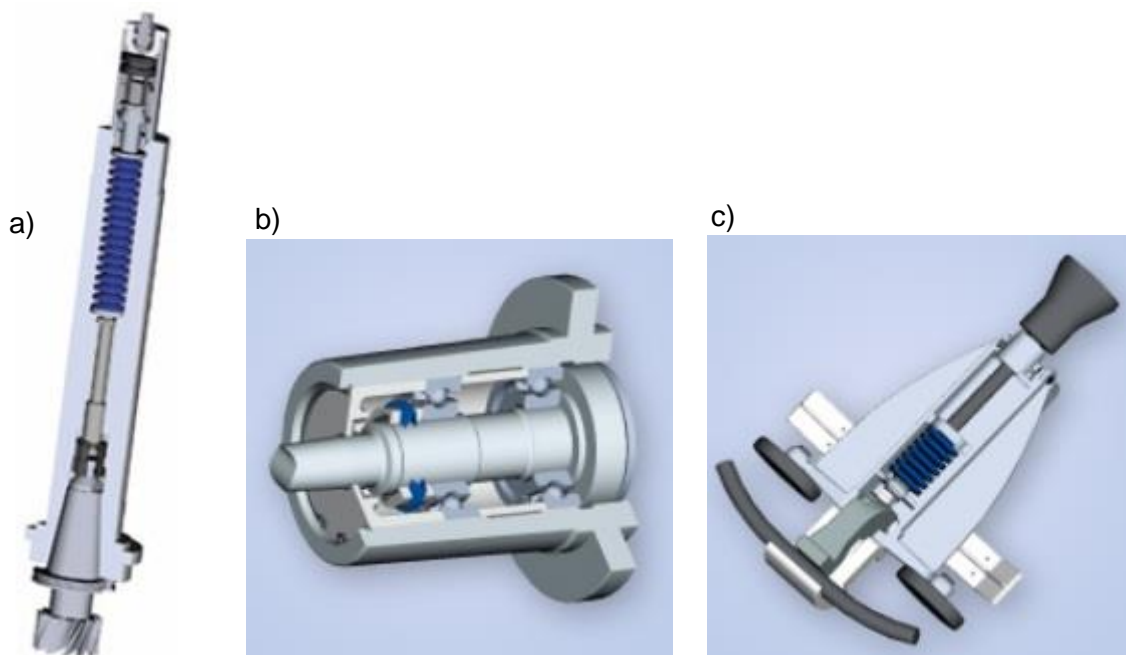
Funkciou stĺpca tanierových pružín v komponentoch upnutia nástroja je udržať nástroj bezpečne v kužeľovom držiaku [22].

2.3.8. Vymedzenie vôle

Tanierové pružiny sa často používajú k vyrovnaniu geometrických tolerancii pri montážnych celkoch [22].

2.3.9. Upnutie lanovej dráhy

V prípade lanových dráh vytvára sada tanierových pružín trecí zámok medzi upnutím lana a drôteným lanom. V závislosti od typu môže byť zaťaženie statické alebo dynamické [22].



Obr. 28. a) Komponent upínania, b) Vymedzenie vôle, c) Upnutie lanovej dráhy [22].

2.4. Ocel' 51CrV4 (ČSN 41 5260)

Jedná sa o ocel' s veľkou prekaliteľnosťou pre veľmi namáhané strojné súčasti. V zušľachtenom stave má veľmi priaznivý pomer pevnosti k medze klzu avšak oproti Cr-Mn má zníženú húževnatosť. Vyznačuje sa vysokými hodnotami medze únavy pri striedavom namáhaní. Je preto vhodná aj pre výrobu zušľachtených pružín. Kalí sa zvyčajne do oleja alebo do roztoku syntetických polymérov.

Využíva sa na výrobu namáhaných pružín a pružných elementov pre automobily a koľajové vozidlá, ďalej na výrobu tanierových a krúžkových pružín [24].

2.4.1. Vlastnosti ocele 51CrV4

Tab. 2. [24].

| Přehled vlastností oceli 51CrV4 | | | | | | | | | | | 1. 8159 | | | | | |
|--|--|-------------------------------|--|-------------------|--------------------|--------------------------|---|----|-------------------------------|-----------|---------|----|----|----|----|----|
| Druh oceli | Nizkolegovaná ušlechtlá chromo-vanadová ocel pro zušlechťované pružiny | | | | | | | | | | | | | | | |
| TDP | EN 10089 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Označení podle ČSN | ČSN 41 5260 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Použití | Výše namáhané pružiny a pružné elementy pro automobily a kolejová vozidla, dále talířové a kroužkové pružiny. Oproti Cr-Si pružinovým ocelím dosahuje vyšší prokalitelnosti a je méně náchylná k odúhličení. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Chemické složení v hmot. % (rozbor tavby) | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | V | | | | | | | |
| | 0,47 – 0,55 | max. 0,40 | 0,70 – 1,10 | max. 0,025 | max. 0,025 | 0,90 – 1,20 | - | - | 0,10-0,25 | | | | | | | |
| Dovolené odchylky od rozboru tavby ve výrobku | ± 0,02 | ± 0,03 | ± 0,05 | + 0,005 | + 0,005 | ± 0,05 | - | - | ± 0,02 | | | | | | | |
| Mechanické vlastnosti v zušlechťeném stavu při 20°C | Průměr mm | R _{p0,2} min MPa | | | R _m MPa | | A min % | | Z min % | KU min. J | | | | | | |
| | do 16 mm | 1200 | | | 1350 - 1650 | | 6 | | 30 | 8 | | | | | | |
| Maximální hodnoty tvrdosti pro stav : | Zpracováno na stříhatelnost | | | | Žíhaný na měkko | | | | Žíhaný na globulární cementit | | | | | | | |
| | HB max. 280 | | | | HB max. 248 | | | | HB max. 230 | | | | | | | |
| Prokalitelnost ³⁾ | Vzdálenost od plochy kaleného čela zkušební tělesa v mm | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Tvrdost v HRC | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Mez | 1,5 | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| | Horní (max.) +H | 65 | 65 | 64 | 64 | 63 | 63 | 63 | 62 | 62 | 62 | 61 | 60 | 60 | 59 | 58 |
| | Dolní (min.) +H | 57 | 56 | 55 | 54 | 53 | 51 | 50 | 48 | 44 | 41 | 37 | 35 | 34 | 33 | 32 |
| | Horní (max.) +HH | 65 | 65 | 64 | 64 | 63 | 63 | 63 | 62 | 62 | 62 | 61 | 60 | 60 | 59 | 58 |
| | Dolní (min.) +HH | 60 | 59 | 58 | 57 | 56 | 55 | 54 | 53 | 50 | 48 | 45 | 43 | 43 | 42 | 41 |
| | Prokalitelnost určená tvrdostí v jádře mezího rozměru po kalení z teploty 850 ± 5°C do oleje. ⁴⁾ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Tvrdost HRC pro | | Největší rozměr kalených tyčí kruhového průřezu v mm | | | | Největší rozměr kalených tyčí plochých v mm | | | | | | | | | |
| | 80% martenzit H ₈₀ | 90% martenzit H ₉₀ | D _{max} | | | | t _{max} | | | | | | | | | |
| 50 | 54 | Podíl martenzitu v jádře | | | | Podíl martenzitu v jádře | | | | | | | | | | |
| | | 80% | | | | 90% | | | | | | | | | | |
| | | 33 | | | | 16 | | | | | | | | | | |
| | | 23 | | | | 11 | | | | | | | | | | |
| <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Popouštěcí křivka (referenční vzorek průměr 10 mm)</p> <p>Popouštěcí teplota st.C</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Pás prokalitelnosti</p> <p>Vzdálenost od kaleného čela v mm</p> </div> </div> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Technologické vlastnosti | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tváření za tepla a tepelné zpracování | Tváření za tepla °C | Normalizační žíhání °C | Žíhání na měkko °C | Teplota kalení °C | Kalici prostředí | Teplota popouštění °C | Zkouška kalením čela °C | | | | | | | | | |
| | 1050 až 850 | 860 | 640 až 700 | 830 až 860 | olej | 400 až 450 | 850 ± 5 | | | | | | | | | |
| Uvedené podmínky pro tváření a tepelné zpracování jsou doporučené vyjma zkoušky kalením čela (zkouška prokalitelnosti podle Jominyho) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Obrobiteľnosť | Pro mechanické obrábění je vhodný stav žíhaný na měkko. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tváření za studena | Pro tváření za studena je vhodný stav žíhaný na globulární cementit. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Stříhatelnost | Pro docílení tvrdosti vhodné pro stříhání se ocel žíhá nebo po válcování řízeně vychlazuje. | | | | | | | | | | | | | | | |

3. EXPERIMENT

Praktická časť práce je zameraná na získanie koreňa triesky a jeho analýzu. K dispozícii bola dvojica tanierových pružín z ocele 51 CrV4, ktoré bolo potrebné opracovať pre lepšiu manipuláciu pri upínaní na sústruh. Jednalo sa o zarovnanie nerovností na vnútornej a vonkajšej strane pružiny a o vytvorenie ryhy po celom obvode vonkajšej strany, čo umožnilo vykonať 2 skúšky na jednej vzorke.



Obr. 29. Obrobená tanierová pružina.

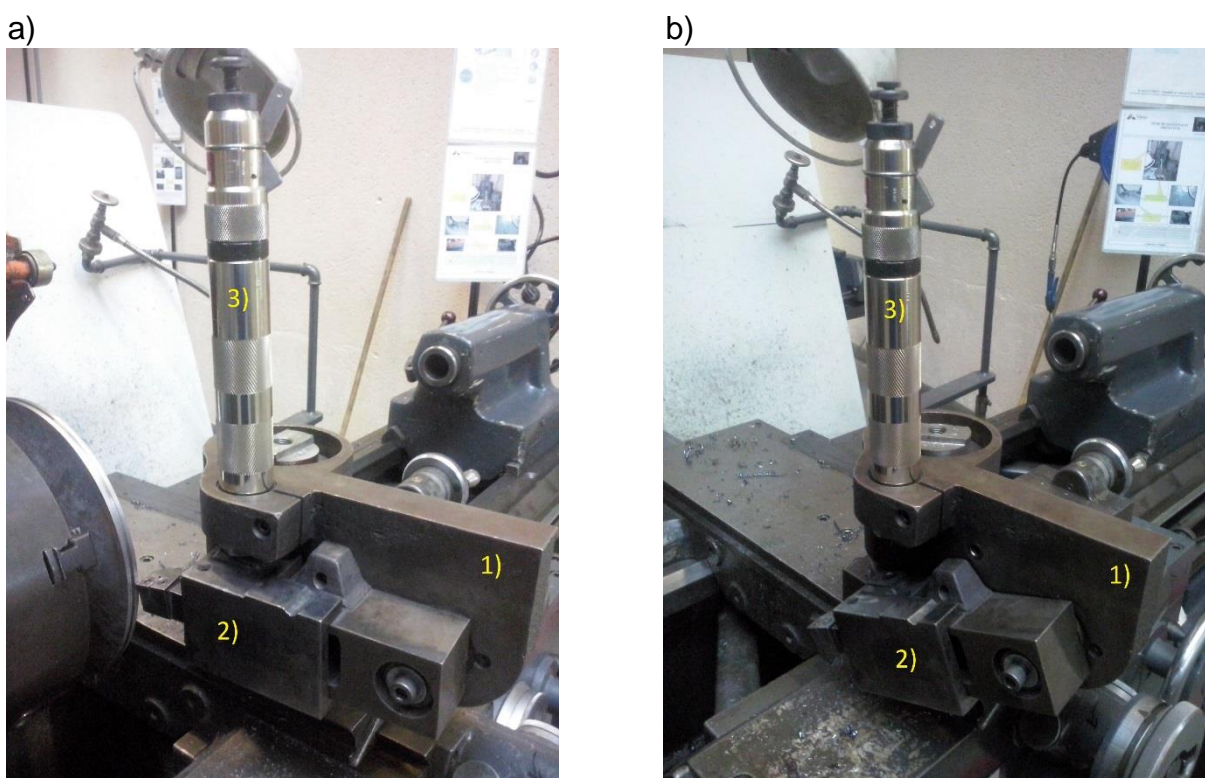
Prvou časťou experimentu bolo brutálne zastavenie procesu sústruženia – Quick stop of tool – ktoré umožnilo získať koreň triesky. Boli vykonané 4 skúšky pričom sa menil typ rezného nástroja a veľkosť posuvu, avšak rezná rýchlosť v_c bola zachovávaná na $160 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Druhou časťou experimentu bolo metalografické spracovanie získaného koreňa, jeho pozorovanie pomocou digitálneho mikroskopu a jeho analýza.

3.1. Získanie koreňa triesky

Pre vykonanie QST bol použitý prerušovač rezu (viz. obr. 24), ktorý bol vytvorený pánom Dr. Gérardom Poulachonom, riaditeľom výskumného centra LaBoMap so sídlom v Cluny.

Prístroj sa upína na suport a je zložený z 3 hlavných častí:

- 1) Nepohyblivé telo
- 2) Úchyt noža, otočný okolo jednej osi
- 3) Odpaľovacia časť



Obr. 30. a) Prístroj pred prerušením rezu, b) Prístroj po prerušení rezu.

Jedná sa o prerušovač pre sústruženie spúšťaný tlakom plynu. Princíp fungovania spočíva v spojení časti 1) a časti 2) pomocou poistného kolíka (príloha 1). Do odpaľovacej časti 3) sa vloží slepý náboj, následne sa úderník natiahne do pohotovostnej polohy. Keď sú dosiahnuté požadované rezné podmienky, poistka úderníku je prerušená a ten je vystrelený k náboju. Náboj exploduje a vzniknutý tlak plynu zlomí poistný kolík držiaci pohromade časť 1) a 2). To spôsobí náhle oddialenie rezného nástroja od obrobku.

3.2. Metalografické spracovanie koreňa triesky

Po prerušení rezu zostane na obrobku ukotvená trieska, ktorá môže byť rôzne dlhá, je ju preto potrebné skrátiť. Skrátenie musí byť spravené opatrne, aby sa ukotvená časť nedeformovala.

Nasleduje vyrezanie koreňa triesky, teda vyrezanie dostatočného objemu materiálu obrobku s trieskou. V tomto prípade sa jednalo o malé a dobre prístupné časti, pre získanie vzoriek bolo preto zvolené rezanie ručnou pílou na kovy

3.2.1. Preparácia vzoriek

Fixácia vzorky slúži na zväčšenie plochy metalografického výbrusu, čo vedie k zlepšeniu následného brúsenia a leštenia. Pre všetky 4 vzorky naraz bola zvolená preparácia za tepla pomocou prístroja BUEHLER SimpliMet 1000, pri teplote 160 °C a pri tlaku 250 barov



Obr. 31. BUEHLER SimpliMet 1000 [25].

Následne boli vzorky vybrúsené na zariadení METASERV 2000, pričom bol najprv použitý brúsny papier na hrubý výbrus so zrnitosťou 6-30 a následne brúsny papier na jemné vybrúsenie so zrnitosťou 100-180.

Vzorky boli leštené mechanicko-chemicky, na rovnakom zariadení za použitia jemného brúsneho papiera a leštiaceho prostriedku. Jednalo sa o abrazívnu tekutinu Bio DIAMANT® obsahujúcu častice diamantu, určenú na finálne leštenie vzoriek.

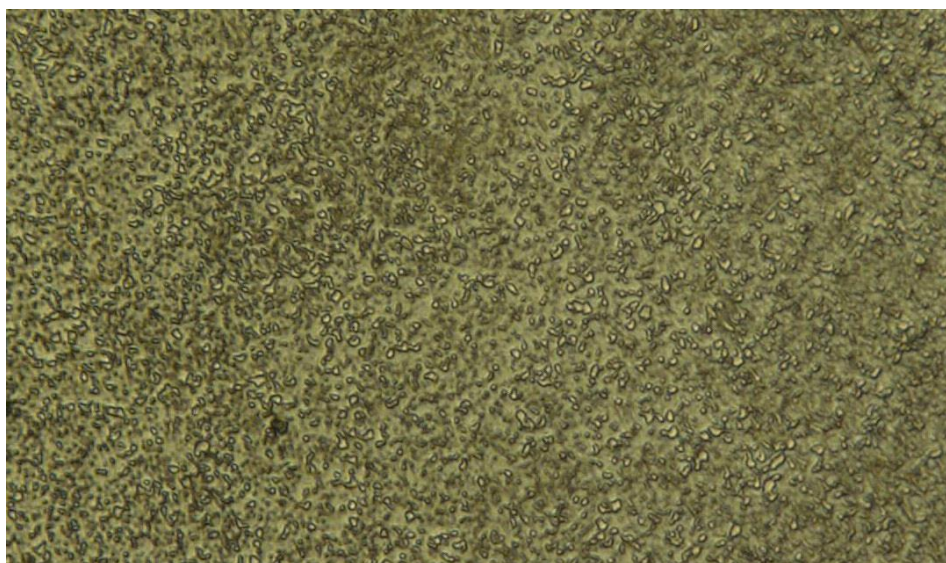
Na záver boli vzorky naleptané 4% Nitalom, opláchnuté v etanole a osušené.

3.3. Analýza vzoriek

3.3.1. Štruktúrna analýza

Analýza vzorky tanierovej pružiny preukázala, že sa jedná o materiál 51 CrV4 (viz. tab. 2). Materiál bol žíhaný na mätko a namerané hodnoty tvrdosti 185-204 HB vyhovujú norme ČSN EN 10083-3, podľa ktorej je maximálna hodnota tvrdosti stanovená na 248 HB. Mikroskopický stupeň čistoty podľa metódy K DIN 50602 je $K0=2,3$ [26].

Jedná sa o jemnozrnnú feriticko-perlitickú štruktúru s dobre sferoidizovaným perlitom prakticky bez prítomnosti zbytkov lamelárneho perlitu, dá sa preto potvrdiť že vzorka bola žíhaná na mätko pri správnej teplote a správnej výdrži na danej teplote. Porovnanie snímok štruktúry skúmanej pružiny (obr.32) a štruktúry po normalizačnom žíhaní (obr. 33) potvrdzuje túto domnienku.



Obr. 32. Mikroštruktúra vzorky tanierovej pružiny (zv. 1000x).



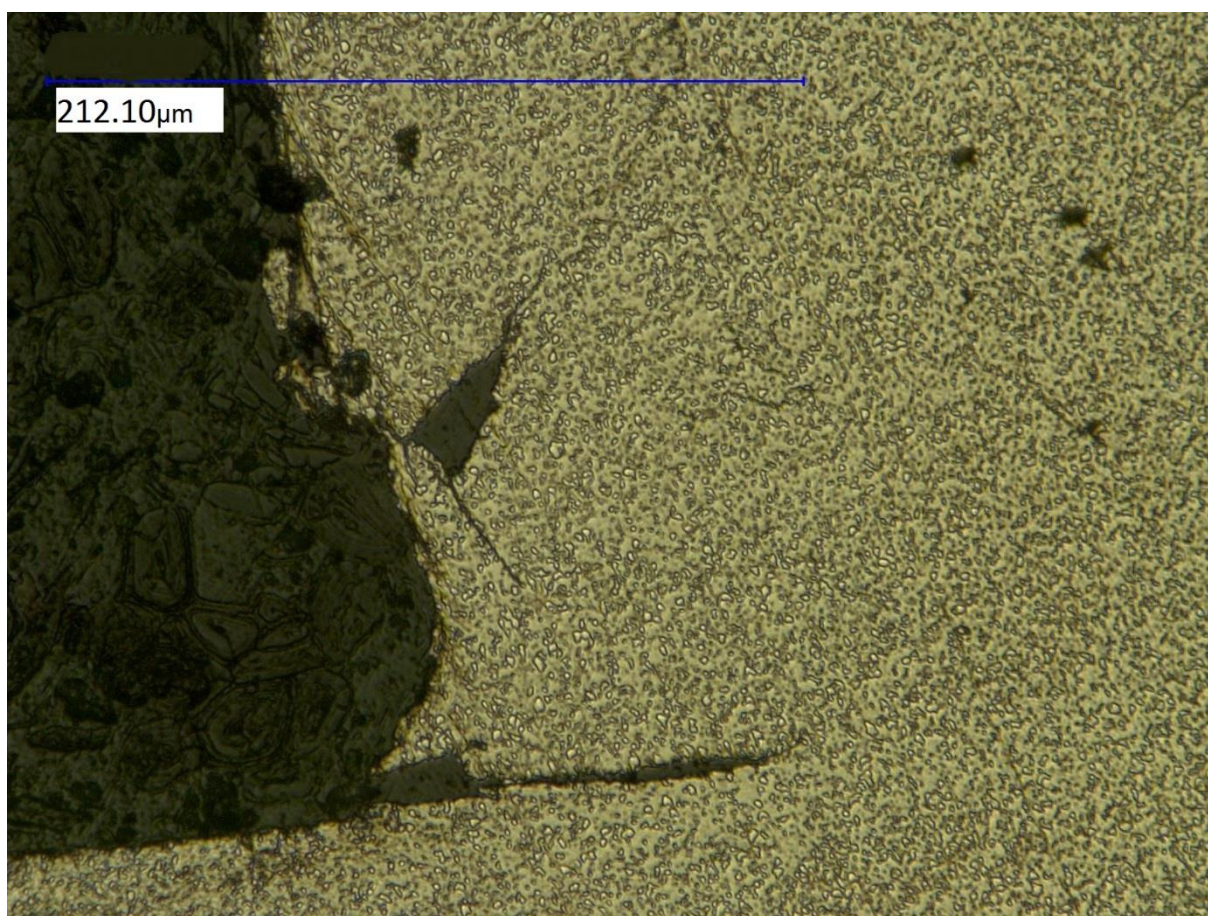
Obr. 33. Štruktúra po žíhaní na mätko (zv. 1000x) [5].

3.3.2. Vznik triesky

Na druh vytvorenia triesky v podstatnej miere vplýva stav napätosti v zóne rezania. Stav napätosti v odrezávanej vrstve sa určuje pomerom maximálnych tangenciálnych napätí k maximálnym normálovým napätiam.

Podľa stavu napätosti v zóne rezania a podľa charakteru oddeľovania materiálu môžu vzniknúť dva druhy triesok – trhané a strihané. Ak normálové napätia prevažujú tangenciálne napätia, jedná sa o tvorbu trhanej triesky. V opačnom prípade sa jedná o tvorbu strihanej triesky [17].

Skúmaná trieska sa radí do kategórie strihaných plynulých triesok. Ide o najobvyklejší druh strihanej triesky, vytvára sa zvyčajne vo forme dlhej skrútenej stuhy. Zo strany noža je hladká a z opačnej strany je zdrsnená – zúbkovitá (príloha 4).



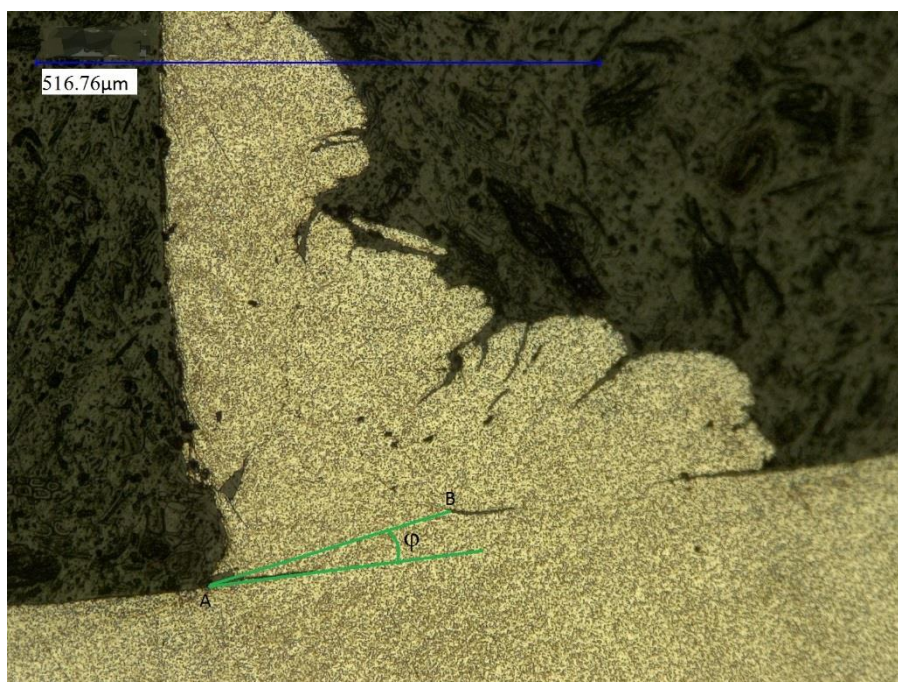
Obr. 34. Fotografia metalografického výbrusu koreňa triesky s trhlinou (zv. 1000x).

Ďalším dôležitým faktorom je, že pri tvorení triesok sa pred pohybujúcim sa nožom objavujú v obrábanom materiáli trhliny, v dôsledku koncentrácie napätí. Na obr. 34. je možné pozorovať tvorbu trhliny pred rezným klinom, spôsobenú krehkosťou obrábaného povrchu, o čom svedčí aj slabá deformácia okolitých zŕn.

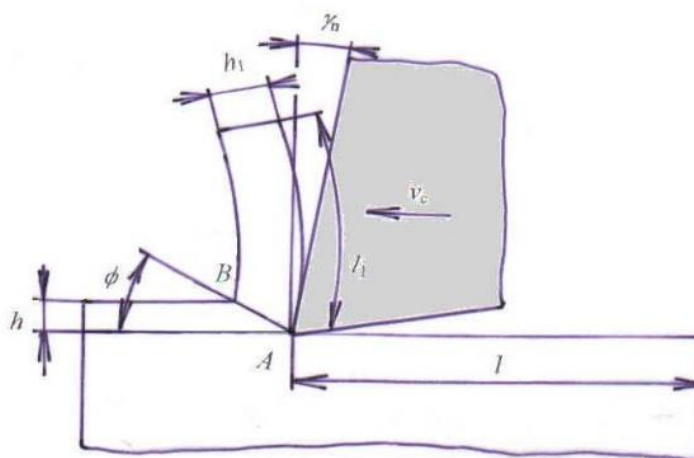
3.3.3. Primárna deformácia

Pri reznom procese dochádza v oblasti tvorenia triesky k pružným a následne k plastickým deformáciám. Pružné deformácie sú rozložené do celého objemu obrobku a plastické deformácie zahrňujú len zónu rezania.

Je možné zjednodušene uvažovať, že pri vzniku triesky dochádza k plastickým sklzom po rovine strihu, ktorej poloha je určená uhlom roviny strihu Φ . Intenzitu plastickej deformácie charakterizuje práve tento uhol. Z fotografie metalografického výbrusu koreňa triesky (viz. obr. 35) je kvôli nevýraznej deformácii zŕn, vzniku trhliny pred rezným klinom a výraznému hromadeniu materiálu za trieskou zložitý vyčítať uhol Φ .



Obr. 35. Fotografia metalografického výbrusu koreňa – rovina strihu $\Phi = 14^\circ$ (zv. 1000x).



Obr. 36. Schéma k definícii stlačenia triesky [17].

Pre posúdenie intenzity plastickej deformácie v zóne tvorenia triesky sa používa parameter stlačenia triesky. Stlačenie triesky sa definuje ako pomer hrúbky triesky k hrúbke odrezávanej vrstvy, rovnica (3.1) z práce [17]:

$$k = \frac{h_1}{h} = \frac{l}{l_1} \cong \frac{s_1}{s} [1] \quad (3.1)$$

Z obr. 36 vyplývajú vzťahy (3.2) a (3.3) pre výpočet hrúbky triesky a hrúbky odrezávanej vrstvy, uvedené v práci [17]:

$$h_1 = AB * \sin(90 - \Phi + \gamma_n) [\text{mm}] \quad (3.2)$$

$$h = AB * \sin\Phi [\text{mm}] \quad (3.3)$$

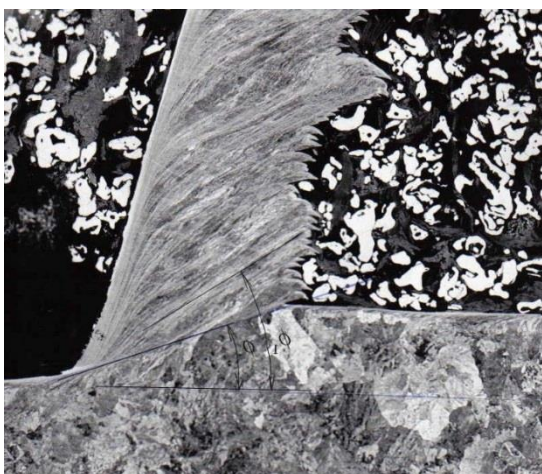
Na obrábanie bola použitá sústružnícka doštička zo spekaného karbidu (CNMG 120408-48) s nástrojovým normálnym uhlom čela $\gamma_n = 20^\circ$. Po dosadení do rovnice pre stlačenie triesky bola získaná hodnota $k = 4,09$. Z toho sa dá ďalej vyvodiť výsledná rýchlosť pohybu triesky (3.4) uvedená v práci [17], a získať tak hodnota $39,11 \text{ m.min}^{-1}$.

$$v_t = \frac{v_c}{k} [\text{m.min}^{-1}] \quad (3.4)$$

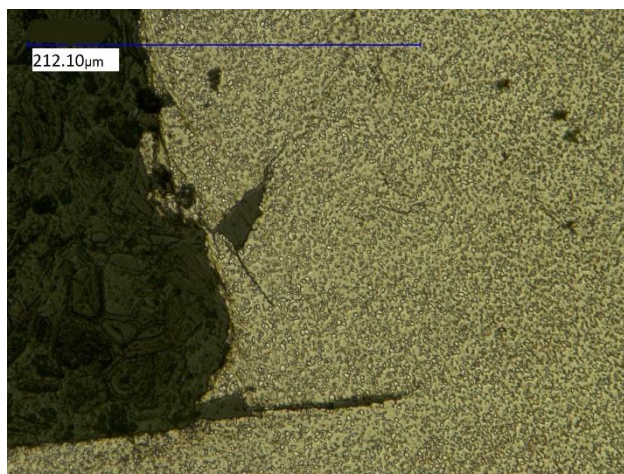
Stlačenie triesky má vplyv na dynamiku procesu odvádzania triesky a výrazne sa mení v závislosti na použitých rezných podmienkach. Dôležitý vplyv na stlačenie triesky má uhol čela a je známe, že s zväčšovaním uhla čela stlačenie triesky takmer lineárne klesá. Možno to vysvetliť tým, že pri väčších uhloch čela trieska odchádza voľne a menej sa deformuje. Pri výpočtoch sme stlačenie triesky určili len z geometrických pomerov pri tvorení triesky. Pri presnejšom určení tohto parametra treba uvažovať so stredným koeficientom trenia medzi doskou a nástrojom μ [17].

4. DISKUSIA

Po získaní koreňa triesky a jeho pozorovaní je zrejmé, že skúška nebola vykonaná správne a nie je možné stanoviť charakteristické veličiny, ktoré sprevádzajú proces tvorby triesky. Pri porovnaní fotografie správne získaného koreňa triesky a koreňa triesky skúmanej tanierovej pružiny (obr. 37 a 38) je jasne viditeľný rozdiel. Zatiaľ čo na fotografii správneho koreňa triesky je jasne pozorovateľná rovina strihu a deformácia zrn, na získanej fotografii je tvorba triesky sprevádzaná významnou trhlinou pred rezným klinom, avšak nie je možné stanoviť intenzitu plastickej deformácie ani sprievodné veličiny.



Obr. 37. Správny koreň triesky [17].



Obr. 38. Získaný koreň triesky (zv. 1000x).

Možné príčiny zlého koreňa triesky sú nasledujúce:

- *zlá voľba nástroja* – veľký uhol čela spôsobuje väčšie prenikanie nástroja do materiálu a tým sa zvyšuje risk tvorby trhliny,
- *nevyhovujúce rezné podmienky* – pre skúšku bola zvolená rezná rýchlosť $160 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ a posuv $0,15 \text{ mm}\cdot\text{ot}^{-1}$, ktoré mohli spôsobiť zlé podmienky pre vznik triesky, počas skúšky boli viditeľné intenzívne vibrácie obrábacieho nástroja, čo môže taktiež brániť správnej tvorbe triesky
- *nepresnosť mechanizmu QST* – jedná sa o jednoduchý mechanizmus založený na oddialení rezného nástroja od obrobku, oddialenie nástroja nie je okamžité, nemusí preto sa preto vždy zachovať správny tvar koreňa triesky

Pre získanie korektného výsledku je nutné zabezpečiť ideálne rezné podmienky a zvoliť správny rezný nástroj vzhľadom na obrábaný materiál. Nepresnosti pochádzajúce z prístroja použitého na oddialenie rezného nástroja od obrobku sa dajú eliminovať použitím vysokorýchlostných kamier, ktoré zaručujú presné zachytenie momentu tvorby triesky.

5. ZÁVER

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo poskytnúť širší pohľad na ocelové pružiny, ich výrobu a časté vady pri ich výrobe. Taktiež je zameraná na rozdelenie pružinových ocelí podľa chemického zloženia a ich aplikácie v praxi.

Práca bola špeciálne zameraná na kategóriu tanierových pružín, ich základné výpočtové riešenie, typy usporiadania a aplikáciu v priemysle. Výhodou tanierových pružín sú ich veľká variabilita a výnimočné vlastnosti ktoré môžu dosiahnuť, aj preto sú prítomné v mnohých odvetviach priemyslu a na miestach s náročnými podmienkami fungovania, akými sú extrémne teploty či zvýšený tlak.

Na vzorke tanierovej pružiny so známym chemickým zložením bola vykonaná skúška quick stop of tool, slúžiaca na získanie koreňa triesky. Táto metóda bola používaná v minulosti, v období keď ešte neexistovali dostatočne výkonne kamery, ktoré dokážu poskytnúť lepší a presnejší pohľad na proces tvorenia triesky. Po vykonaní metalografického spracovania koreňa triesky, bol tento koreň pozorovaný pod digitálnym mikroskopom za účelom analýzy plastickej deformácie materiálu v mieste tvorby triesky a ostatných sprievodných javov.

Praktický pokus preukázal, že materiál bol žíhaný na mätko, čo dokazuje štruktúra tvorená globulárnym perlitom. Rozdielny výsledok štruktúry podľa práce [26], v ktorej bol skúmaný rovnaký typ tanierovej pružiny od rovnakého výrobcu, poukazuje na nerovnomernosť tepelného spracovania, resp. žíhania na mätko. Je preto potrebné klásť dôraz na dodržovanie správneho procesu žíhania na mätko a výslednú štruktúru následne kontrolovať.

Skúmanie tvorby triesky pomocou metódy QST sa ukázalo ako zložité z hľadiska voľby správnych rezných podmienok a rezného nástroja. Aj napriek tomu získané informácie pomohli charakterizovať typ triesky a priniesli informácie o jej tvorbe. Z hľadiska ďalších meraní by bolo užitočné optimalizovať rezné podmienky, prípadne použiť vysokorychlostnú kameru, pre získanie presných výsledkov.

Zoznam použitých zdrojov

1. PŘIBIL, E. Technická příručka: Tyčová ocel uhlíková, konstrukční, a legovaná, Pružinové oceli pro zušlechťování podle ČSN EN 10089, Ocel pro zušlechťitelné pružiny podle EN 10089 technické dodací podmínky a uživatelský komentář. *Bohdan Bolzano* [online]. 2013 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/pruzinove-oceli-pro-zuslechtovani-podle-csn-en-10089/ocel-pro-zuslechtitelne-pruziny-podle-en-10089-technicke-dodaci-podminky-a-uzivatelsky-komentar>
 2. Výrobky: Speciální pružiny. *Třinecké železářny- Moravia Steel* [online]. 2013 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: http://www.trz.cz/pdf/Pruzinove_oceli_2010_1.pdf
 3. Plynulé odlievanie. *Technická univerzita Košice* [online]. 2009 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://web.tuke.sk/hf-kmzaz/webplynuleodlievanie/pages/13foto.html>
 4. PLUHAŘ, J., KORITTA, J. *Strojírenské materiály*, SNTL/ALFA Praha, 1977. 562 s
 5. SKOČOVSKÝ, P., PALČEK, P., M. KONEČNÁ a L. VÁRKOLY. *Konstrakčné materiály*. Žilina: Žilinská univerzita, 2000. ISBN 80-7100-608-4.
 6. PTÁČEK, L. a kol.: *Nauka o materiálu I*. Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2001, (2. opravené a doplněné vydání 2003)
 7. JECH, J. *Tepelné zpracování oceli: Metalografická příručka*. Praha: SNTL- Nakladatelství technické literatury, 1969
 8. Výroba a servis pecí: Žihací pec [online]. 2008 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.egt-servis.cz/cs/menu/prumyslove-pece/zihaci-pece/>
 9. TITTEL, V. Voľba druhu maziva pre ťahanie drôtu za studena. Choice of type of lubricant for cold drawing of wire. In: *Materials Science and Technology* [online]. ISSN 1335-9053. Roč. 5, č. 3(2005) Dostupné z: https://www.mtf.stuba.sk/docs/internetovy_casopis/2005/3/tittel.pdf
 10. MIŠIČKO, R. Štruktúrne prejavy krehnutia ocelových kontiodliatkov. *Acta Metallurgica Slovaca* [online]. 2008, roč. 14, č. 1 [cit. 2015-04-26]. ISSN 1338-1156. Dostupné z: http://www.ams.tuke.sk/data/ams_online/2008/number1/mag20/mag20.pdf
 11. Studijní opory. *Fakulta strojního inženýrství: Vysoké učení technické Brno* [online]. ©2006 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/5CK/prednasky/prednaska11.pdf>
 12. *Tlačné pružiny*: Šroubovitě pružiny válcové tlačné. [online]. [b.r.] [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.mitcalc.com/doc/sprcompress/help/cz/sprcompress.htm>
 13. *Vyráběné pružiny*: Listové pružiny. [online]. 2015 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.grewis.cz/pruziny/listove-pruziny.php>
 14. GAZDA, J. Toerie obrábění. *Průvodce tvorbou třísky*. 1. vydání. Liberec: TU 2004. s 24-32. ISBN 80-7083-789-6.
-

15. VASILKO, K. Fyzikálno-metalurgické pohľady na proces tvorenia triesky. *Výrobné inžinierstvo*. [online]. 2007, roč. 6, č. 2 s. 5-10 [cit. 2015-04-12]. ISSN 1335-7972 Dostupné z : <http://www.fvt.tuke.sk/journal/pdf07/2-str-05-10.pdf>
16. Teorie obrábění: Experimentální výzkum tvorby třísky. *Fakulta strojní - Katedra obrábění a montáže: Technická univerzita v Liberci*. [online]. 2009 [cit. 2015 – 04-12]. Dostupné z: http://www.kom.tul.cz/soubory/to_cv2.pdf
17. VASILKO, K. *Teória a prax trieskového obrábania*. Prešov: FVT TUKE, 2009. ISBN 978-80-553-0152-5. Dostupné taktiež z: <http://www.karolvasilko.com/download/Teoria%20a%20prax%20trieskoveho%20obrabania%202009.pdf>
18. *Výpočet pružin: Talířové pružiny*. [online]. [b.r.] [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: http://www.mitcalc.com/doc/springs/help/cz/springstxt.htm#Header_1
19. *Disc springs: Advantage of Disc Springs*. [online]. 2015 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: http://www.arbort.com/Disc_Springs.html
20. SVOBODOVÁ, M. Pružiny-základní rozdělení. *Spoje a spojovací součásti*. [online]. ©2012 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: http://web.spssbrno.cz/web/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY_32_INOVACE_13-19.pdf
21. DUCHEMIN, M. Ressorts métalliques – Contraintes de traction ou de compression. *Rondelles Belleville*. [online]. 2012 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mecanique-th7/assemblages-et-fixations-mecaniques-42177210/ressorts-metalliques-b5431/>
22. *Výrobky & technologie: Průmysl: Výrobky: Talířové pružiny- Aplikace*. Mubea [online]. 2015 [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: www.mubea.com/cz/products-technologies/industry/products/disc-springs/application/
23. *Výrobky & technologie: Průmysl: Výrobky: Talířové pružiny- Kombinace talířových pružin*. Mubea [online]. 2015 [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: <http://www.mubea.com/cz/products-technologies/industry/products/disc-springs/standard-disc-springs/theory/disc-spring-combinations/>
24. PŘIBIL, E. Technická příručka: Tyčová ocel uhlíková, konstrukční, a legovaná, Pružinové oceli pro zušlechťování podle ČSN EN 10089, Přehled vlastností oceli 51CrV4. *Bohdan Bolzano* [online]. 2013 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/pruzinove-oceli-pro-zuslechtovani-podle-csn-en-10089/prehled-vlastnosti-oceli-51crv4>
25. Advanced equipment and services for research and product developpemt: Mounting press [online]. 2015 [cit. 2015-05-23] Dostupné z: <https://scientificservices.eu/item/818/image/simplimet1000buehler.jpg>
26. VAŠÍČEK, F. *Analýza obrobiteľnosti pružinových ocelí po tepelném spracovaní*. Brno, 2009. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojní, Ústav strojírenské technológie.

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

| Skratka/Symbol | Jednotka | Popis |
|----------------------|----------|--|
| A ₅ | % | ťažnosť |
| A _{c1} | °C | prekryštalizačná teplota |
| A _{c3} | °C | prekryštalizačná teplota |
| BOF | - | Basic oxygen furnaces – kyslíkový konvertor |
| C | - | uhlík |
| C ₁ | - | koeficient výpočtu namáhania a záťaže |
| C ₂ | - | koeficient výpočtu namáhania a záťaže |
| C ₃ | - | koeficient výpočtu namáhania a záťaže |
| Cr | - | chróm |
| ČSN | - | Česká technická norma |
| dN | MPa | elementárne normálové tlaky |
| dT | N | elementárna trecia sila |
| D _i | mm | vnútorný priemer tanierovej pružiny |
| D _e | mm | vonkajší priemer tanierovej pružiny |
| EAF | - | Electric arc furnaces – elektrická oblúčková pec |
| F | N | ťažná sila |
| F _c | N | rezná sila |
| F _{celková} | N | celková zaťažovacia sila |
| F _{ges} | N | zaťažovacia sila |
| F _s | N | sila pri maximálnom vychýlení tanierovej pružiny |
| H | - | vodík |
| KV | J | hodnota nárazovej práce |
| L ₀ | mm | dĺžka nezaťaženého stĺpca pružín |
| Mn | - | mangán |
| Mo | - | molybdén |
| Ni | - | nikel |
| P | - | fosfor |
| QST | - | Quick stop of tool |
| R _m | MPa | medza pevnosti |
| R _{p 0,2} | MPa | konvenčná medza pevnosti |
| S | - | síra |
| Si | - | kremík |
| Sn | - | cín |
| V | - | vanád |
| d ₀ | mm | vstupný priemer drôtu |
| d ₁ | mm | výstupný priemer drôtu |
| h | mm | hrúbka odrezávanej vrstvy |
| h ₀ | mm | výška kužeľa |
| h ₁ | mm | hrúbka triesky |
| i | - | faktor |
| k | - | stlačenie triesky |
| l | mm | dráha prejdená nástrojom |
| l ₀ | mm | celková výška tanierovej pružiny |
| l ₁ | mm | zodpovedajúca dĺžka vzniknutej triesky |

| | | |
|-------------|-------------------|---|
| n | - | počet pružín |
| s | mm | medzné vychýlenie tanierovej pružiny |
| s_c | mm | celkové vychýlenie pružín |
| t | mm | hrúbka tanierovej pružiny |
| v_{0B} | $m\ s^{-1}$ | obvodová rýchlosť |
| v_c | $m\cdot min^{-1}$ | rezná rýchlosť |
| v_f | $mm\ min^{-1}$ | rýchlosť posuvu |
| v_t | $m\cdot min^{-1}$ | rýchlosť pohybu triesky |
| x | mm | vzdialenosť kolíka od povrchu vzorky |
| α | $^\circ$ | polovica uhla ťažného kužeľa |
| α_a | - | alfa austenit |
| δ | - | pomer priemerov tanierových pružín |
| γ_a | - | gama austenit |
| γ_n | $^\circ$ | uhol čela nástroja |
| σ_l | MPa | pozdĺžne ťahové napätie |
| σ_r | MPa | radiálne tlakové napätie |
| σ_t | MPa | obvodové tlakové napätie |
| σ_n | MPa | normálové napätie |
| Φ | $^\circ$ | uhol roviny strihu |
| φ_l | - | pozdĺžne pretvorenie v smere ťahového napätia |
| φ_r | - | radiálne pretvorenie |
| φ_t | - | tangenciálne pretvorenie |

ZOZNAM PRÍLOH

- Príloha 1 Príprava poistných kolíkov pre QST
- Príloha 2 Detail zariadenia pre vykonanie QST
- Príloha 3 Digitálny mikroskop Kayence VHX 1000
- Príloha 4 Fotografie metalografického výbrusu koreňa triesky (zv.100x)



