



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

SOUSTRUŽENÍ PŘUŽINOVÝCH OCELÍ

ON THE TURNING OF SPRING STEELS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAN ŽÍDEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. MIROSLAV PÍŠKA, CSs

Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/13

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jan Žídek

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se týká analýzy soustružení pružinových ocelí se zaměřením na aplikace vyšších řezných rychlostí a moderní řezné materiály. Jejím cílem je realizace experimentálních zkoušek a jejich vyhodnocení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Pružinová ocel, soustružení, talířové pružiny, měrná řezná síla

ABSTRACT

This bachelor thesis is about an analysis of turning of spring steels, focusing on an application of higher cutting speed and modern cutting materials. The purpose of the thesis is a realization and assessment of experimental exercises.

KEYWORDS

Spring steel, turning, disc springs, specific cutting force

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŽÍDEK, Jan. Soustružení pružinových ocelí. Brno 2013. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 60 s. příloh. prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Soustružení pružinových ocelí vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 24. května 2013

.....

Jan Židek

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto školiteli prof. Ing. Miroslav Píška, CSc za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

| | |
|--|----|
| Úvod | 9 |
| 1. Pružinová ocel | 10 |
| 1.1 Charakteristika pružinových ocelí | 10 |
| 1.2 Výroba pružinových ocelí..... | 11 |
| 1.3 Pružinové oceli | 12 |
| 1.3.1 Klasifikace dle chemického složení | 13 |
| 1.3.2 Značení ocelí dle norem ČSN, DIN a Werkstoffnummer | 13 |
| 1.3.3 Chemické složení vybraných ocelí | 14 |
| 1.4 Vady Pružinových ocelí..... | 15 |
| 1.5 Tepelné zpracování pružinové oceli | 16 |
| 1.5.1 Patentování | 16 |
| 1.5.2 Normalizační žihání..... | 17 |
| 1.5.3 Žihání naměkko | 17 |
| 1.5.4 Kalení | 17 |
| 1.5.5 Popouštění | 17 |
| 1.5.6 Přehled tepelného zpracování u vybraných pružinových ocelí | 18 |
| 1.6 Využití pružinových ocelí v praxi..... | 20 |
| 1.6.1 Ocel Werkstoffnummer 1.7102 | 20 |
| 1.6.2 Ocel Werkstoffnummer 1.7108 | 20 |
| 1.6.3 Ocel Werkstoffnummer 1.8159 | 20 |
| 1.6.4 Ocel Werkstoffnummer 1.7701 | 20 |
| 1.6.5 Tlačné pružiny | 21 |
| 1.6.6 Tažné pružiny | 21 |
| 1.6.7 Zkrutné pružiny | 22 |
| 1.6.8 Tvarové pružiny a díly z drátu..... | 22 |
| 1.6.9 Tvarové a lisované pružiny a díly z pásků | 23 |
| 1.7 Výpočet tlačné pružiny | 24 |
| 1.7.1 Maximální napětí..... | 25 |
| 1.7.2 Částečná deformace | 26 |
| 1.7.3 Celková deformace | 27 |
| 1.7.4 Tuhost | 27 |
| 2 Talířové pružiny | 27 |
| 2.1 Geometrie talířové pružiny | 28 |
| 2.2 Výpočet talířové pružiny | 28 |
| 2.2.1 Poměr průměrů δ | 28 |

| | | |
|------------------------------------|--|----|
| 2.2.2 | Součinitel výpočtu α | 28 |
| 2.2.3 | Součinitel výpočtu β | 29 |
| 2.2.4 | Součinitel výpočtu γ | 29 |
| 2.2.5 | Mezní vychýlení podložky | 29 |
| 2.2.6 | Síla při maximálním vychýlení pružiny | 29 |
| 2.2.7 | Síla vyvinutá pružinou při vychýlení s | 29 |
| 2.2.8 | Maximální tlakové napětí v pružině při vychýlení s | 29 |
| 2.3 | Přehled talířových pružin | 30 |
| 2.3.1 | Konvenční talířové pružiny | 30 |
| 2.3.2 | Sady talířových pružin | 30 |
| 2.3.3 | Talířové pružiny s vnitřními nebo vnějšími výřezy | 31 |
| 2.3.4 | Speciální pružiny | 31 |
| 2.3.5 | Vlnité pružiny | 32 |
| 2.4 | Využití talířových pružin | 33 |
| 2.4.1 | Předmontované pružinové sady | 33 |
| 2.4.2 | Pojistné spojky proti přetížení | 33 |
| 2.4.3 | Vyrovnávání vůle | 33 |
| 2.4.4 | Ventily | 34 |
| 2.4.5 | Vratné pružiny pístu | 34 |
| 2.4.6 | Komponenty pro upínání nástrojů | 34 |
| 2.4.7 | Skladování energie pro bezpečnostní systémy | 35 |
| 2.4.8 | Upnutí lanové dráhy | 35 |
| 2.4.9 | Pružinové brzdy | 35 |
| 3 | Experiment | 36 |
| 3.1 | Popis experimentu | 36 |
| 3.2 | Obráběcí nástroj a měřící zařízení | 37 |
| 3.3 | Silové působení při podélném soustružení | 38 |
| 3.4 | Naměřené síly | 39 |
| 3.4.1 | Silové působení při posuvu na otáčku 0,1 mm | 39 |
| 3.4.2 | Silové působení při posuvu na otáčku 0,2 mm | 39 |
| 3.4.3 | Silové působení při posuvu na otáčku 0,3 mm | 40 |
| 3.5 | Výpočet měrné řezné síly k_c | 40 |
| 3.5.1 | Průběh měrné řezné síly | 41 |
| 3.6 | Celkový průběh měrné řezné síly | 42 |
| Závěr | | 43 |
| Seznam použitých zkratek a symbolů | | 46 |

ÚVOD

Tato práce se zabývá pružinovými oceli, jejich charakteristikou, výrobou, chemickým složením a tepelným zpracováním. Dále je zaměřena na soustružení těchto ocelí se specifikací na talířové pružiny, které jsou v této práci rozebrány. Jsou zde tvarově popsány talířové pružiny, jejich početní řešení, klasifikace s využitím v praxi a jejich mechanické vlastnosti. Na talířové pružině je proveden experiment pro určení měrné řezné síly. V závěru jsou výsledky tohoto experimentu vyhodnoceny a odůvodněny.

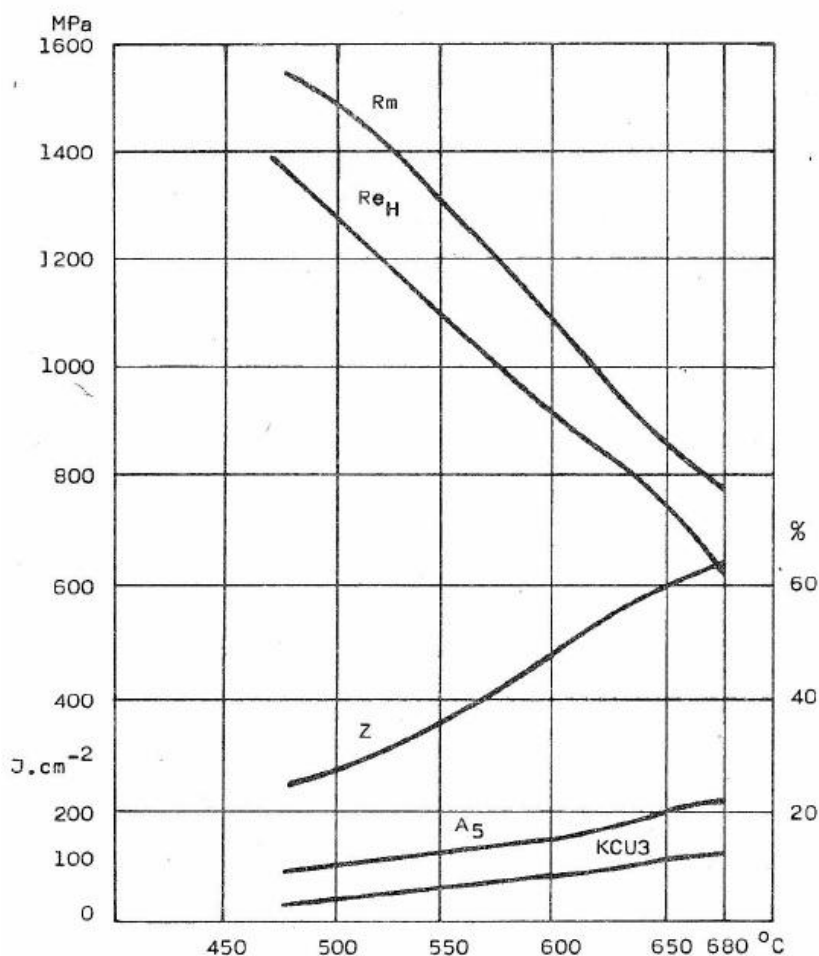
1. PRUŽINOVÁ OCEL

1.1 CHARAKTERISTIKA PRUŽINOVÝCH OCELÍ

Proti jiným konstrukčním dílům jsou pružiny zpravidla mnohem více zatěžovány střídavým způsobem namáhání. Při správné funkci musí pružina po odlehčení zaujmout svůj původní tvar, pokud není namáhána nad hranici meze pružnosti. Proto mají velký modul pružnosti.

Tyto oceli se vyznačují vysokou mezí pružnosti a vysokou mezí kluzu resp. mezí 0,2% při poměrně dobré houževnatosti. Dále pak vysokou mezí únavy při střídavém namáhání. Ve stavu po zušlechtnění se pevnost u jednotlivých značek pohybuje v rozmezí 1300 až 1700MPa. Se vzrůstající pevností klesá houževnatost a tím roste náchylnost k šíření trhlin v místech s vrubovým účinkem.

Pružinové oceli v zušlechtněném stavu mají hodnoty prodloužení min. 5% a zúžení min. 25%. Pevnost a mez únavy při střídavém namáhání jsou veličiny úměrné. Při stejných podmínkách namáhání vzrůstá mez únavy s pevností[1].



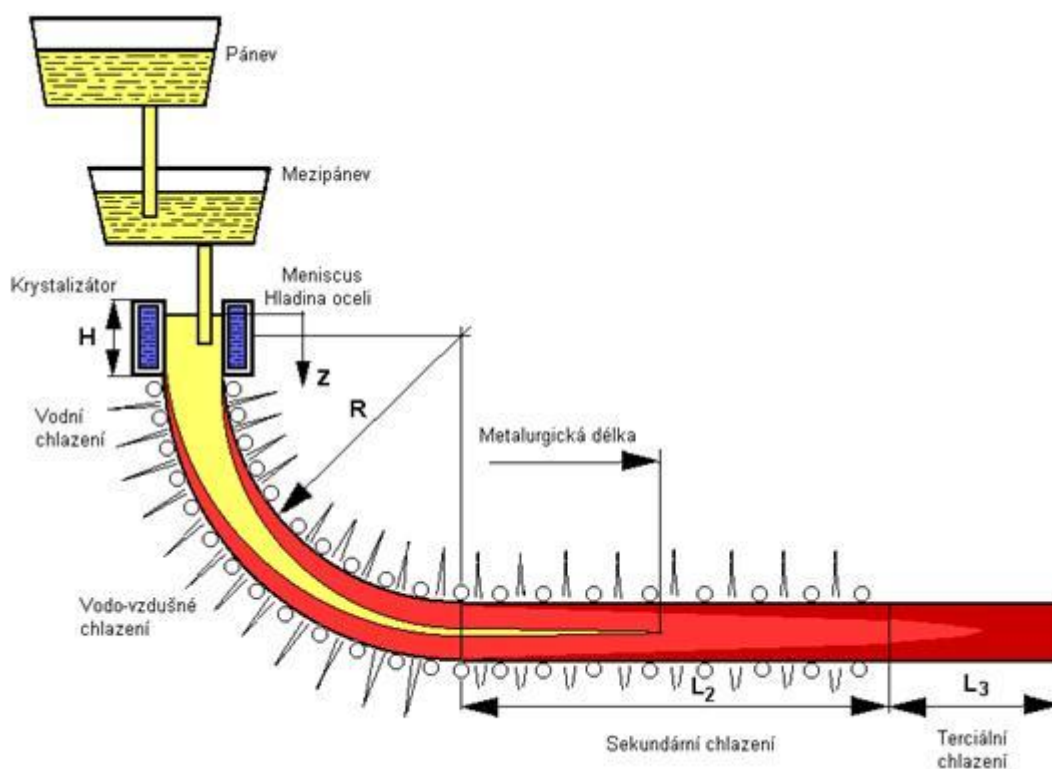
Obr. 1. Vliv popouštěcí teploty na mechanické vlastnosti[2].

1.2 VÝROBA PRUŽINOVÝCH OCELÍ

Mezi důležité konstrukční materiály v současné době patří pružinové oceli. Výroba pružinových ocelí má v České republice dlouholetou tradici. Mezi nejznámější výrobce pružinové oceli v České republice patří Moravia Steel, pod které spadají Třinecké a Hanácké ocelárny. V začátcích byla pružinová ocel vyráběna v ocelárnách pouze technologií lití do ingotů. Tímto způsobem vyráběná pružinová ocel našla uplatnění zejména při výrobě pružinových komponentů, pro osobní a nákladní automobily, železniční vozy atd.

Posledních deset let se většina výroby pružinových ocelí realizovala odléváním na blokovém kontilití, odléváním do ingotů na kyslíkové konvertorové ocelárně (BOF – Basic Oxygen Furnaces) a na elektroocelárně (EAF – Electric Arc Furnaces) s následných válcováním do sochorů na blokovnách. V dalším výrobním toku jsou sochory převálcovány na moderních válcovacích tratích na drát a tyče. Mezníkem ve výrobě pružinové oceli se stal rok 2000, kdy se postupně začala zavádět a navyšovat výroba pružinových ocelí přes sochorové kontilití.

V současné době touto cestou vyráběná pružinová ocel představuje cca 50% z celkové výroby pružinové oceli na ocelárnách [3].



Obr. 2. Schéma kontilití[4].

1.3 PRUŽINOVÉ OCELI

Pro méně namáhané pružiny se může použít uhlíková ocel s vyšším obsahem uhlíku tepelně nezpracovaná ČSN 41 2072.

U malých průměrů drátu lze zvýšit pevnost oceli tažením za studena. Nejvhodnější výchozí struktury pro tento způsob tváření lze dosáhnout patentováním. Pro méně namáhané pružiny se volí ocel se středním obsahem uhlíku ČSN 41 2051, pro více namáhané pružiny se používají oceli s obsahem uhlíku vyšším ČSN 41 2090.

Ze slitinových ocelí se pro výrobu pružin používají oceli manganové ČSN 41 3180 a ČSN 41 3250, křemíkové ČSN 41 3251, 41 3261 a ČSN 41 3270, mangan-chromové ČSN 41 4160 a ČSN 41 4280, křemík-chromové ČSN 41 4260 a chrom-vanadiové ČSN 41 5260. Pružiny z těchto ocelí se vždy kalí a popouštějí. Většina pružinových ocelí obsahuje křemík, který zvyšuje pevnost a především mez kluzu. Tyto oceli jsou velmi náchylné k oduhličení. Manganové oceli mají větší prokalitelnost. Mangan-křemíkové oceli spojují výhody obou ocelí. Předností chrom-křemíkových ocelí je jejich odolnost proti popouštění, která dovoluje použít pružin z nich vyrobených v provozu i při teplotách do 300°C.

Pro práci v korozním prostředí jsou vhodné martenzitické korozivzdorné oceli s 13% Chromu. Obsah uhlíku je mezi 0,25-0,45 % což odpovídá oceli ČSN 41 7023 a 41 7024. U těchto ocelí je pokles tvrdosti až do 400°C malý. Na výrobu pružinových drátů při tažení za studena se také používá austenitická ocel ČSN 41 7242.

Pro práci za vyšších teplot se pružiny vyrábějí z ocelí typu ČSN 41 9720 a ČSN 41 9721 [5].

1.3.1 KLASIFIKACE DLE CHEMICKÉHO SLOŽENÍ

Pružinové oceli se dle chemického složení dělí na křemíkové, křemíko- chromové, křemíko- chromo- vanadiové, křemíko- chromo- molybdenové, chromo- molybdeno- vanadiové a chromo- molybdenové [1].

1.3.2 ZNAČENÍ OCELÍ DLE NOREM ČSN, DIN A WERKSTOFFNUMMER

tab. 1. [6].

| ČSN | DIN | Werkstoffnummer |
|---------|-----------------|-----------------|
| 41 2072 | C 67 | 1.0603 |
| 41 2090 | CK 75 | 1.1269 |
| 41 3180 | 80 Mn 7 | 1.1259 |
| 41 3250 | 46 Mn 7 | 1.0912 |
| 41 3251 | 46 Si 7 | 1.5024 |
| 41 3261 | 55 Si 7 | 1.0904 |
| 41 3270 | 65 Si 7 | 1.5028 |
| 41 4160 | - | - |
| 41 4260 | 54 Si Cr 6 | 1.7102 |
| 41 4280 | - | - |
| 41 5260 | 50 Cr V 4 | 1.8159 |
| 41 7024 | X 39 Cr 13 | 1.4031 |
| 41 7242 | X 12 Cr Ni 18 8 | 1.43 |
| 41 9720 | X 30 W Cr V 5 3 | 1.2567 |
| 41 9721 | X 30 W Cr V 9 3 | 1.2581 |

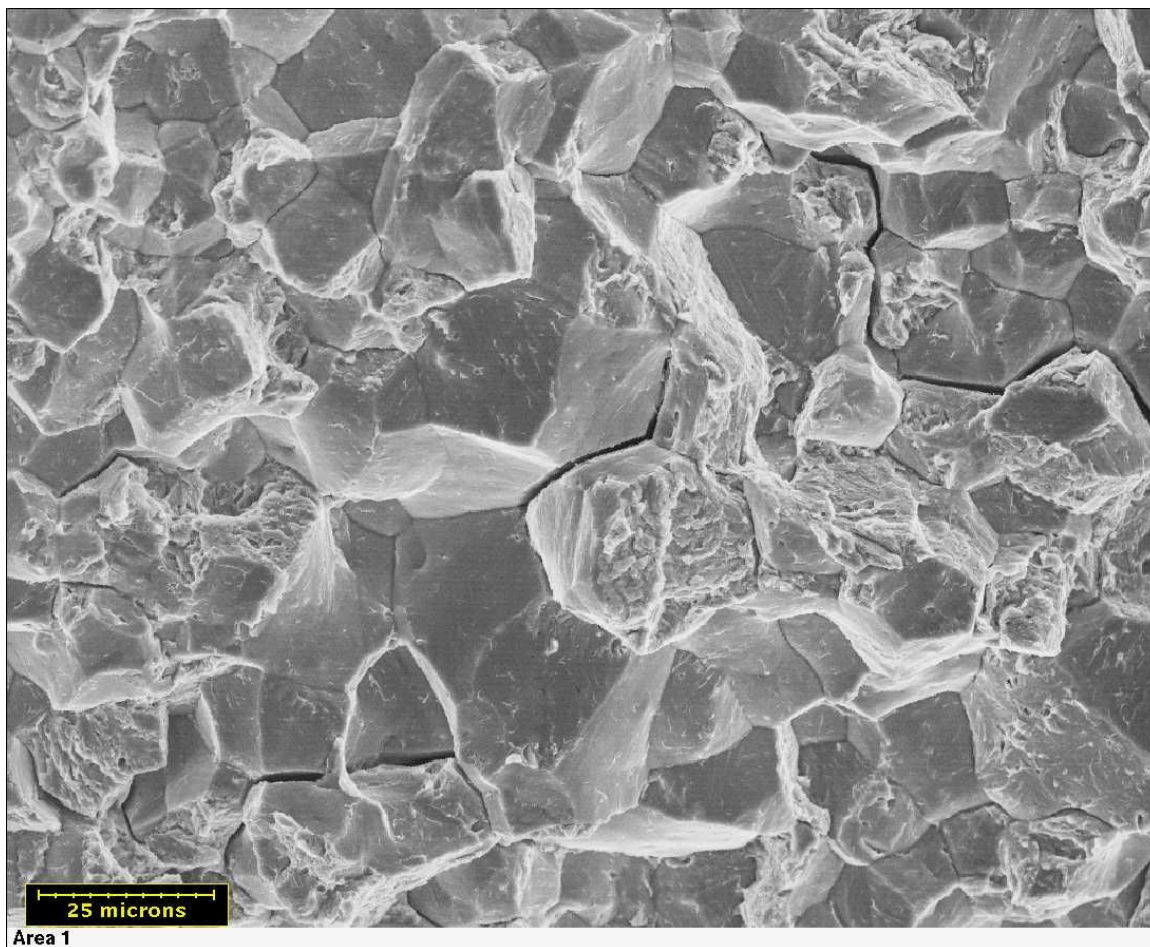
1.3.3 CHEMICKÉ SLOŽENÍ VYBRANÝCH OCELÍ

tab. 2. [5].

| ČSN | CHEMICKÉ SLOŽENÍ [hm %] | | | | | | |
|---------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | C | Mn | Si | Cr | V | Ni | W |
| 41 2072 | 0,66-0,76 | min-0,6 | max-0,35 | | | | |
| 41 2090 | 0,80-0,90 | 0,20-0,45 | 0,10-0,30 | | | | |
| 41 3180 | 0,70-0,80 | min-0,9 | 0,15-0,35 | | | | |
| 41 3250 | 0,38-0,48 | 1,60-1,90 | 0,20-0,50 | max-0,25 | | | |
| 41 3251 | 0,42-0,52 | 0,50-0,80 | 1,50-1,90 | | | | |
| 41 3261 | 0,50-0,60 | 0,60-0,90 | 1,40-1,80 | | | | |
| 41 3270 | 0,58-0,68 | 0,65-0,90 | 1,50-1,90 | | | | |
| 41 4160 | 0,50-0,60 | 0,70-1,00 | 0,30-0,50 | 0,30-0,50 | | | |
| 41 4260 | 0,50-0,60 | 0,50-0,80 | 1,30-1,60 | 0,50-0,70 | | | |
| 41 4280 | 0,75-0,85 | 0,80-1,20 | 0,45-0,75 | 0,30-0,55 | | | |
| 41 5260 | 0,47-0,55 | 0,70-1,00 | 0,15-0,40 | 0,90-1,20 | | max/0,3 | 0,10-0,20 |
| 41 7024 | 0,36-0,45 | max-0,90 | max-0,70 | 12,0-14,0 | | | |
| 41 7242 | max-0,25 | max-2,00 | max-1,00 | 17,0-20,0 | | 8,00-11,0 | |
| 41 9720 | 0,25-0,35 | 0,20-0,50 | 0,15-0,50 | 2,00-2,80 | 0,45-0,65 | | 3,80-4,80 |
| 41 9721 | 0,25-0,35 | 0,20-0,50 | 1,05-0,50 | 2,00-2,70 | 0,10-0,30 | | 8,50-10,0 |

1.4 VADY PRUŽINOVÝCH OCELÍ

Mezi časté vady, které se vyskytují u ocelí na pružiny, patří vodíková křehkost. Jedná se o proces, při kterém se ocel stává křehčí v důsledku působení vodíku. Vodík difunduje do krystalové mřížky kovu. Například při svařování dojde k difuzi vodíku do svaru a jeho uvěznění v mřížce kovu. Po určité době dojde k rekombinaci vodíku a změní se z $2H$ na H_2 . Touto rekombinací dojde ke zvětšené objemu vodíku, což vede k vnitřnímu napětí a možnému poškození svaru. Toto poškození se šíří po hranicích zrn[7].



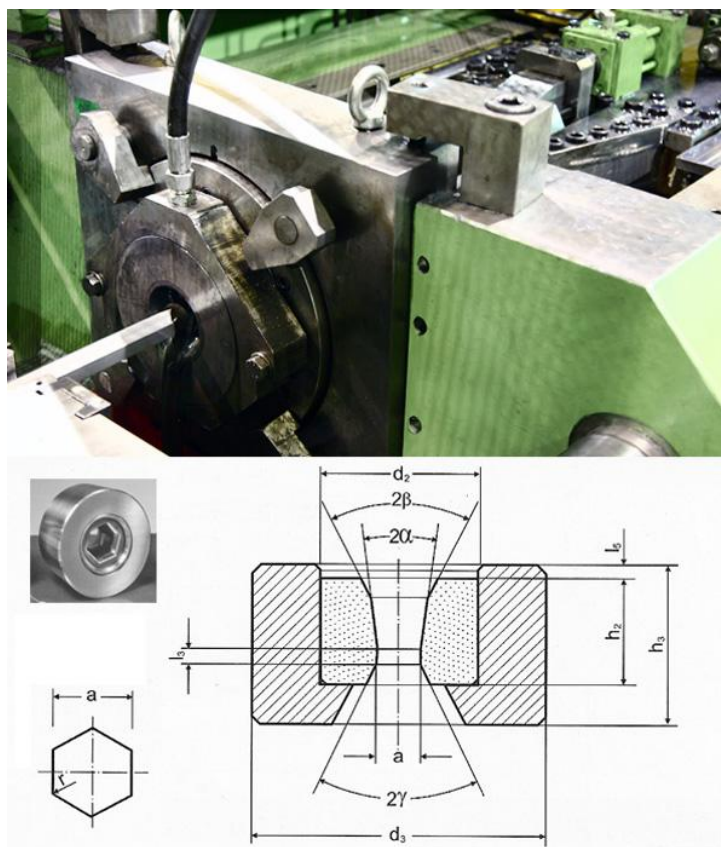
Obr. 3. Ukázka vodíkové křehkosti z mikroskopu[8].

1.5 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ PRUŽINOVÉ OCELI

Tepelné zpracování pružinových ocelí obsahuje kování, patentování, normalizační žíhání, žíhání naměkko, kalení a popouštění. Každý z těchto procesů je charakteristický pro každou tuto ocel.

1.5.1 PATENTOVÁNÍ

Jedná se technologický proces výroby ocelových drátů tažením. Ocel se při tažení průtahem mechanicky zpevňuje. Nejprve se konec drátu upraví pomocí hrotovačky aby prošel v dostatečné délce průvlakem a mohly jej zatahovací kleště zachytit. Dráty malých průřezů se hrotují ručně pilníkem. Dráty velkých průřezů se hrotují v hrotovačkách. Velmi rozšířené jsou hrotovačky válcové. Jedná se o dva válce z kalené oceli, ve kterých jsou drážky různého průměru postavené tak, aby stejné poloměry byly proti sobě. Tažec vytvoří hrot tím, že v drážce vhodného rozměru protáhne konec drátu a zároveň pákou otáčí válci a přecházením z větší drážky do menší se drát ztenčuje. U ocelí s malým obsahem uhlíku se pro odstranění zpevnění mezi jednotlivými tahy zařazuje žíhání. U ocelí s vyšším obsahem uhlíku se volí izotermické kalení na bainit. Takto zpracované oceli se nazývají patentované. Vyznačují se vysokou tvrdostí při dobré houževnatosti[9].



Obr. 5. Tažení ocelového drátu či tyče[10].

1.5.2 NORMALIZAČNÍ ŽIHÁNÍ

Zavádí se za účelem zjemnění austenitického zrna a ke zrovnoměrnění struktury, slouží též k odstranění Widmannstätenovy struktury. Normalizační žihání se provádí při 850- 890°C s postupným ochlazením na vzduchu[5].

1.5.3 ŽIHÁNÍ NAMĚKKO

Snižuje tvrdost a zlepšuje obrobiteľnosť ocelí díky sferoidizaci perlitického popřípadě sekundárního cementitu. Probíhá pro teplotách v rozmezí 710-750°C a postupné ochlazení probíhá v peci[5].



Obr.6. Vozová žihací pec[11].

1.5.4 KALENÍ

Skládá se z ohřevu na kalící teplotu, krátké výdrže a ochlazení rychlostí vyšší než je rychlost kritická. Tímto způsobem získáme částečně nebo zcela nerovnoměrnou strukturu. Je snahou získat strukturu martenzitickou. Tento proces se u pružinových ocelí provádí při 840- 880°C. Kalí se do vody, oleje, solné lázně nebo na vzduchu[5].

1.5.5 POPOUŠTĚNÍ

Popouštění se skládá z ohřevu na teplotu nižší než je A_1 , výdrže na této teplotě a postupném ochlazení vhodnou rychlostí. Probíhá při teplotách 380-580°C za účelem snížení vnitřního pnutí po kalícím procesu[5].

1.5.6 PŘEHLED TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ U VYBRANÝCH PRUŽINOVÝCH OCELÍ

tab. 3. [5].

| ČSN | Kování | Normalizační žíhání | | Žíhání naměkko | |
|---------|----------|---------------------|---------|----------------|---------|
| | °C | °C | ochlaz. | °C | ochlaz. |
| 41 2072 | 1050-800 | | | 680-720 | pec |
| 41 2090 | 1120-820 | 790-820 | vzduch | 680-720 | pec |
| 41 3180 | 1050-800 | 820-840 | vzduch | 700-740 | pec |
| 41 3250 | 1100-800 | 840-860 | vzduch | 700-740 | pec |
| 41 3251 | 1100-850 | 820-850 | vzduch | 680-720 | pec |
| 41 3261 | 1050-800 | 840-860 | vzduch | 740-760 | pec |
| 41 3270 | 1050-800 | 850-880 | vzduch | 700-740 | pec |
| 41 4160 | 1100-800 | 820-840 | vzduch | 700-740 | pec |
| 41 4260 | 1100-800 | 840-860 | vzduch | 700-740 | pec |
| 41 4280 | 1050-800 | 840-860 | vzduch | 650-700 | pec |
| 41 5260 | 1150-850 | 850-890 | vzduch | 680-720 | pec |
| 41 7024 | 1100-900 | | | 800-840 | pec |
| 41 7242 | 1100-900 | | | | |
| 41 9720 | 1150-850 | | | 760-800 | pec |
| 41 9721 | 1150-850 | | | 760-800 | pec |

tab. 3. [5].

| ČSN | Kalení | | Popouštění | |
|---------|-----------|--------------|------------|--------------|
| | °C | ochlaz. | °C | ochlaz. |
| 41 2072 | 800-830 | olej | 470-500 | vzduch |
| 41 2090 | 780-810 | olej | 400-650 | vzduch |
| 41 3180 | 800-840 | olej | 400-550 | vzduch |
| 41 3250 | 780-820 | olej | 450-550 | vzduch |
| 41 3251 | 820-860 | voda | 450-600 | voda, olej |
| 41 3261 | 840 | olej | 450 | vzduch |
| 41 3270 | 830-860 | olej | 450-550 | vzduch |
| 41 4160 | 800-820 | olej | 400-450 | vzduch |
| 41 4260 | 800-830 | olej | 400-580 | vzduch |
| 41 4280 | 800-820 | olej | 530-560 | vzduch |
| 41 5260 | 810-830 | voda, olej | 530-670 | voda |
| 41 7024 | 1000-1050 | olej, vzduch | 150-200 | vzduch, voda |
| 41 7242 | | | | |
| 41 9720 | 1000-1050 | olej, vzduch | 550-700 | vzduch |
| 41 9721 | 1100-1150 | olej, vzduch | 550-700 | vzduch |

1.6 VYUŽITÍ PRUŽINOVÝCH OCELÍ V PRAXI

1.6.1 OCEL WERKSTOFFNUMMER 1.7102

Nízkolegovaná ušlechtilá křemíko-chromová ocel pro zušlechťované pružiny. Značení dle DIN je 54SiCr6[1].

1.6.2 OCEL WERKSTOFFNUMMER 1.7108

Středně namáhané pružiny a pružné elementy pro automobily a kolejová vozidla, dále talířové a kroužkové pružiny. Oproti oceli 54SiCr6 dosahuje vyšší pevnosti a prokalitelnosti. Značení dle DIN je 61SiCr7[1].

1.6.3 OCEL WERKSTOFFNUMMER 1.8159

Vysoce 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 oduhličení. Značení dle DIN je 51CrV4[1].

1.6.4 OCEL WERKSTOFFNUMMER 1.7701

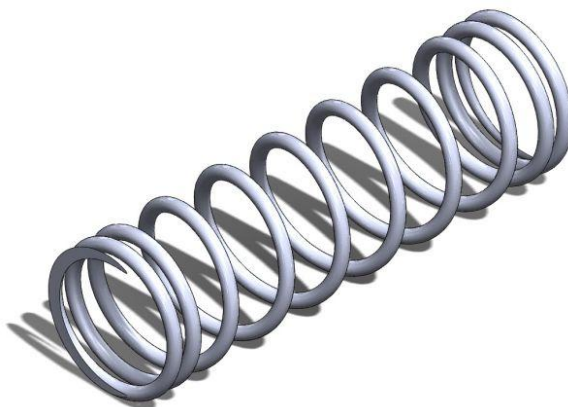
Výše namáhané pružiny a pružné elementy pro automobily a kolejová vozidla, dále talířové a kroužkové pružiny. Oproti Cr-Si pružinovým ocelím dosahuje především vyšší prokalitelnosti. Značení dle DIN je 52CrMoV4[1].



Obr. 8. Pružina pro osobní automobil[12].

1.6.5 TLAČNÉ PRUŽINY

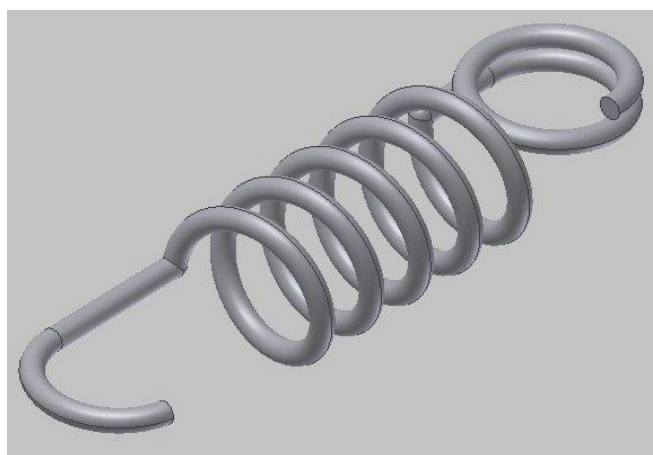
Tlačné pružiny tvarované za studena z drátů o průměru 0,2– 0,8 mm. Dále se vyrábí z ocelového drátu podle norem EN10270-1 a EN10270-2, nerezového drátu podle normy EN10270-3, případně z jiných druhů podle výkresové dokumentace[13].



Obr. 9. Tlačná pružina[14].

1.6.6 TAŽNÉ PRUŽINY

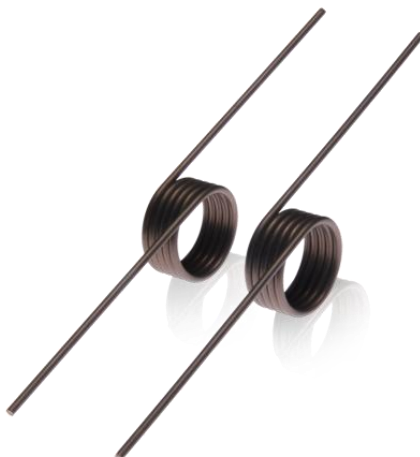
Tažné pružiny tvarované za studena zakončené libovolnými oky nebo háčky z drátů o průměru 0,2- 0,8 mm. Dále se vyrábí z ocelového drátu podle norem EN10270-1 a EN10270-2, nerezového drátu podle normy EN10270-3, případně z jiných druhů podle výkresové dokumentace[13].



Obr. 10. Tažná pružina[15].

1.6.7 ZKRUTNÉ PRUŽINY

Zkrutné pružiny tvarované za studena z drátů o průměru 0,2- 0,8 mm mají velmi široké uplatnění. Jejich tvar a velikost se odvíjí od použití. Pružiny se vyrábí z taženého ocelového drátu podle norem EN10270-1 a EN10270-2, nerezového drátu podle normy EN10270-3, případně z jiných druhů podle výkresové dokumentace[13].



Obr. 11. Zkrutná pružina[16].

1.6.8 TVAROVÉ PRUŽINY A DÍLY Z DRÁTU

Díly jsou tvarované za studena z pružinových drátů o průměru 0,2- 0,8 mm s následných zušlechtním nebo popouštěním, nepružinové materiály jsou tvarované bez následného tepelného zpracování. Do této skupiny patří spony, háčky, kroužky a závlačky[13].



Obr. 12. Tvarová pružina[17].

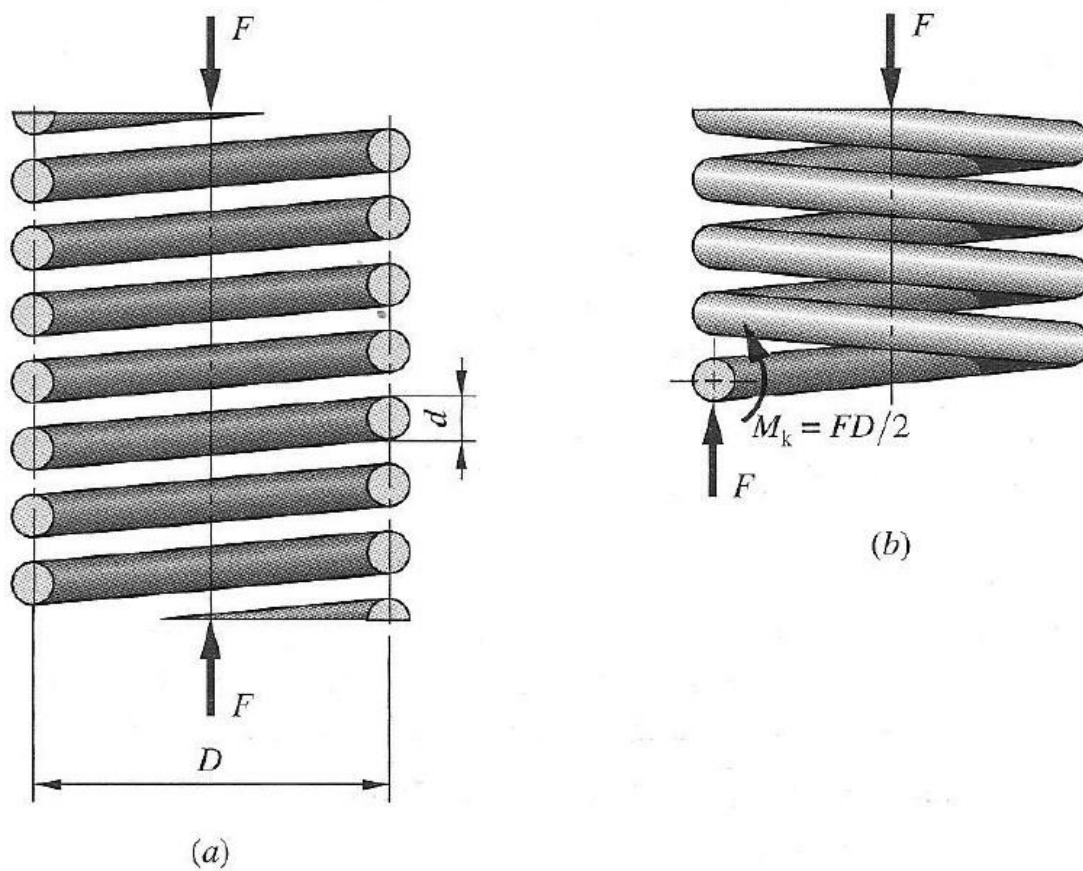
1.6.9 TVAROVÉ A LISOVANÉ PRUŽINY A DÍLY Z PÁSKŮ

Díly jsou tvarované a lisované za studena z ocelových pásků o tloušťce 0,2- 3,0 mm s následným kalením a popouštěním. Do této skupiny výrobků patří i ploché spony, pružné podložky a pružné kolíky[13].



Obr. 13. Pružná podložka.

1.7 VÝPOČET TLAČNÉ PRUŽINY



(a) Osově zatížená šroubová tlačná pružina z drátu kruhového průřezu

(b) Uvolněná část pružiny

Obr. 14. Řez tlačnou pružinou[18].

1.7.1 MAXIMÁLNÍ NAPĚTÍ

Jedná se o složené namáhání, kdy je tlačná pružina hlavně namáhána krutem a částečně ohybem.

$$\tau = \frac{M_k \cdot r}{J_p} + \frac{T}{S} \quad (1.8.1.1) [18]$$

kde:

M_k - kroutící moment

r - poloměr drátu pružiny

J_p - polární kvadratický moment kruhového průřezu

T - zatěžující síla

S - plocha průřezu drátu

Za jednotlivé členy lze dosadit tyto rovnice :

$$M_k = \frac{F \cdot D}{2}$$

$$r = \frac{d}{2}$$

$$J_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$$

$$T = F$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

kde:

D - střední průměr závitů pružiny

d - průměr drátu

Po dosazení těchto vztahů do rovnice (1.8.1.1):

$$\tau = \frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^3} + \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d^2} \quad (1.8.1.2) [18]$$

Rovnici (1.8.1.2) lze následně upravit dosazením

$$C = \frac{D}{d}, K_s = \frac{2 \cdot C + 1}{2 \cdot C}$$

kde:

C- poměr vinutí vyjadřující míru zakřivení závitů pružiny

K_s- součinitel smykového napětí

$$\tau = K_s \cdot \frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^3} \quad (1.8.1.3) [18]$$

1.7.2 ČÁSTEČNÁ DEFORMACE

$$W = \frac{M_k^2 \cdot l}{2 \cdot G \cdot J_p} + \frac{F^2 \cdot l}{2 \cdot G \cdot S} \quad (1.8.2.1) [18]$$

kde:

l- délka drátu

G- modul pružnosti ve smyku

V Rovnici (1.8.2.1) lze délku drátu nahradit následujícím vztahem:

$$l = \pi \cdot D \cdot n_a$$

kde:

n_a- počet činných závitů

Po úpravě vypadá rovnice pro částečnou deformaci následovně:

$$W = \frac{4 \cdot F^2 \cdot D^3 \cdot n_a}{d^4 \cdot G} + \frac{2 \cdot F^2 \cdot D \cdot n_a}{d^2 \cdot G} \quad (1.8.2.2) [18]$$

1.7.3 CELKOVÁ DEFORMACE

$$y = \frac{\partial W}{\partial F} = \frac{8 \cdot F \cdot D^3 \cdot n_a}{d^4 \cdot G} + \frac{4 \cdot F \cdot D \cdot n_a}{d^2 \cdot G} \quad (1.8.3.1) [18]$$

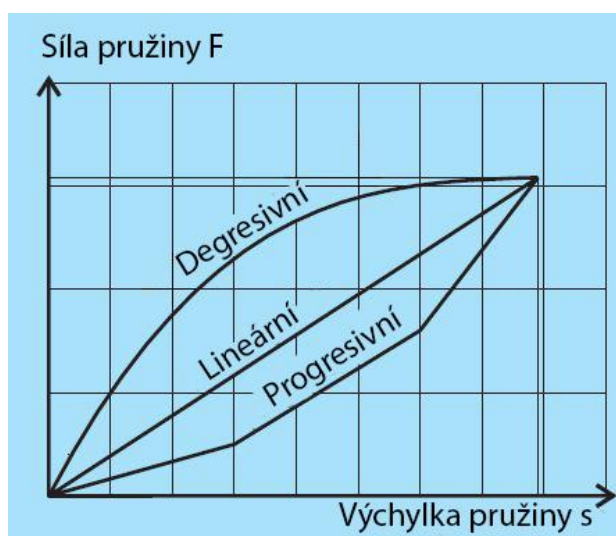
$$y = \frac{8 \cdot F \cdot D^3 \cdot n_a}{d^4 \cdot G} \cdot \left(1 + \frac{1}{2 \cdot C^2}\right) = \frac{8 \cdot F \cdot D^3 \cdot n_a}{d^4 \cdot G} \quad (1.8.3.2) [18]$$

1.7.4 TUHOST

$$k = \frac{F}{y} = \frac{d^4 \cdot G}{8 \cdot D^3 \cdot n_a} \quad (1.8.4.1) [18]$$

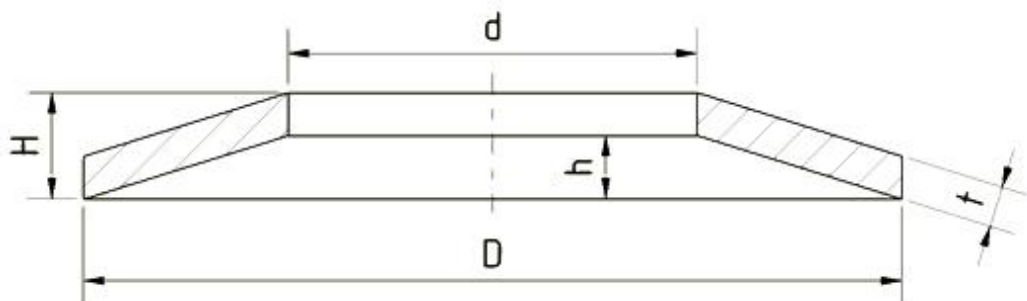
2 TALÍŘOVÉ PRUŽINY

Talířové pružiny jsou mělké kuželovité kroužky vystavované osovému zatížení. Výhodou talířových pružin je jejich univerzálnost. Využívají se u podmořských ventilů v hloubce 3000 m ale i v satelitech ve výšce 36 000 km nad Zemským povrchem. Vhodným uspořádáním může být také dosaženo velkého tlumícího efektu. V závislosti na dimenzování a uspořádání talířových pružin, může být jejich charakteristika stlačení lineární, degresivní nebo progresivní. U degresivní charakteristiky uspořádání je patrná postupně se zmenšující síla v závislosti na stlačení. Této výhody se využívá u automobilových spojek. Progresivní charakteristika vykazuje přesný opak závislosti síly na stlačení než degresivní charakteristika. Talířové pružiny lze opatřit vysoce trvanlivou ochrannou vrstvou, která odolá korozivní atmosféře a zaručí dlouhou životnost i v tomto prostředí [19][20].



Obr. 15. Charakteristika zatížení talířových pružin[20].

2.1 GEOMETRIE TALÍŘOVÉ PRUŽINY



Obr.16. Řez talířovou pružinou.

kde:

D- vnější průměr

d- vnitřní průměr

t- tloušťka materiálu

h- volná výška kužele nezátížené pružiny

H- volná výška

2.2 VÝPOČET TALÍŘOVÉ PRUŽINY

2.2.1 POMĚR PRŮMĚRŮ δ

$$\delta = \frac{D}{d} \quad (2.2.1.1) [21]$$

2.2.2 SOUČINITEL VÝPOČTU α

$$\alpha = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\left(\frac{\delta-1}{\delta}\right)^2}{\frac{\delta+1}{\delta-1} - \frac{2}{\ln\delta}} \quad (2.2.2.1) [21]$$

2.2.3 SOUČINITEĽ VÝPOČTU β

$$\beta = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{6}{\ln \delta} \left(\frac{\delta-1}{\ln \delta} - 1 \right) \quad (2.2.3.1) [21]$$

2.2.4 SOUČINITEĽ VÝPOČTU γ

$$\gamma = \frac{\delta-1}{\pi} \cdot \frac{3}{\ln \delta} \quad (2.2.4.1) [21]$$

2.2.5 MEZNÍ VYCHÝLENÍ PODLOŽKY

$$s_m = h \quad (2.2.5.1) [21]$$

2.2.6 SÍLA PŘI MAXIMÁLNÍM VYCHÝLENÍ PRUŽINY

$$F_{max} = \frac{4 \cdot E \cdot t^4 \cdot s_m}{(1-\mu^2) \cdot \alpha \cdot D^2} \quad (2.2.6.1) [21]$$

2.2.7 SÍLA VYVINUTÁ PRUŽINOU PŘI VYCHÝLENÍ S

$$F = \frac{4 \cdot E \cdot t^4}{(1-\mu^2) \cdot \alpha \cdot D^2} \cdot \frac{s}{t} \cdot \left[\left(\frac{h}{t} - \frac{s}{t} \right) \cdot \left(\frac{h}{t} - \frac{s}{2t} \right) + 1 \right] \quad (2.2.7.1) [21]$$

2.2.8 MAXIMÁLNÍ TLAKOVÉ NAPĚTÍ V PRUŽINĚ PŘI VYCHÝLENÍ S

$$\sigma = \frac{4 \cdot E \cdot t \cdot s}{(1-\mu^2) \cdot \alpha \cdot D^2} \left[\beta \left(\frac{h}{t} - \frac{s}{2t} \right) + \gamma \right] \quad (2.2.8.1) [21]$$

2.3 PŘEHLED TALÍŘOVÝCH PRUŽIN

2.3.1 KONVENČNÍ TALÍŘOVÉ PRUŽINY



Obr. 17. Konvenční talířové pružiny[19].

2.3.2 SADY TALÍŘOVÝCH PRUŽIN



Obr. 18. Sady talířových pružin[19].

2.3.3 TALÍŘOVÉ PRUŽINY S VNITŘNÍMI NEBO VNĚJŠÍMI VÝŘEZY



Obr. 19. Talířové pružiny s výřezy[19].

2.3.4 SPECIÁLNÍ PRUŽINY



Obr. 20. Speciální talířové pružiny[19].

2.3.5 VLNITÉ PRUŽINY



Obr. 21. Vlnité talířové pružiny[19].

2.4 VYUŽITÍ TALÍŘOVÝCH PRUŽIN

2.4.1 PŘEDMONTOVANÉ PRUŽINOVÉ SADY

Výstavba zařízení, elektráren a strojů.

Pružinové sady se používají pro systémy závěsných kotlů. Pružinové sady vyrovnávají místní průhyby nosného povrchu a tím zaručují rovnoměrné spouštění kotle při kolísavém zatížení způsobeném rozpínání teplem [19].

2.4.2 POJISTNÉ SPOJKY PROTI PŘETÍŽENÍ

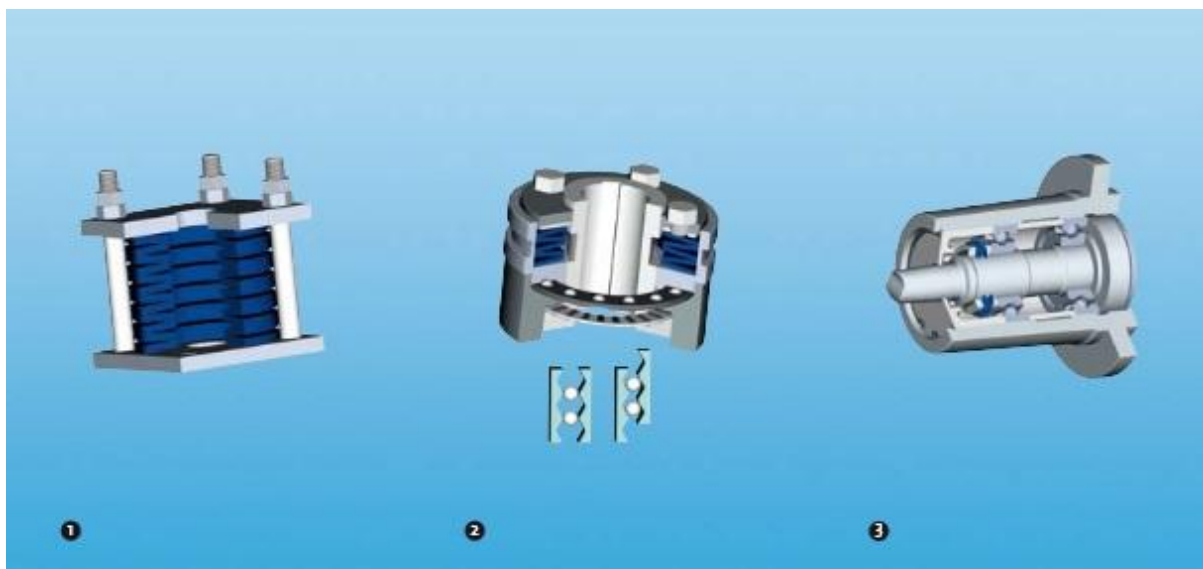
Výstavba zařízení, strojů a motorových vozidel.

V pojistných spojkách zajišťují talířové pružiny zatížení potřebné pro udržení tření dostatečně velkého k přenesení krouticího momentu. Úroveň zatížení lze nastavit pomocí regulačních matic. V případě výskytu přetížení je přenos krouticího momentu přerušen [19].

2.4.3 VYROVNÁVÁNÍ VŮLE

Výstavba zařízení a strojů.

Talířové pružiny se často používají k vyrovnání geometrických tolerancí u montážních celků [19].



Obr. 22. Předmontované pružinové sady, pojistné spojky a vyrovnávání vůle[19].

2.4.4 VENTILY

Výstavba zařízení a strojů, chemický průmysl.

U rychlouzavíracích ventilů je v otevřené pozici sada talířových pružin předem hydraulicky zatížena. V případě selhání hydraulický tlak poklesne, sada talířových pružin se uvolní, uzavře ventil a tím přeruší tok. K tomu účelu se často používají sady talířových pružin s kuličkovým středem [19].

2.4.5 VRATNÉ PRUŽINY PÍSTU

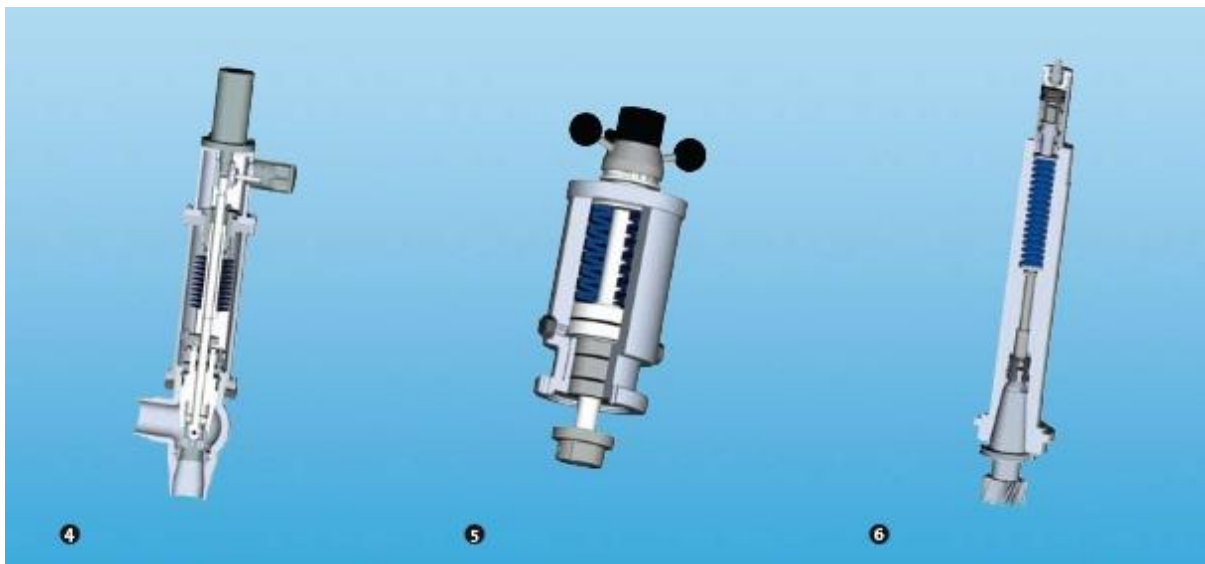
Montáž strojů a motorových vozidel.

Talířová pružina zajišťuje, že se hydraulicky spouštěný píst vrátí do své původní pozice poté, co dojde k uvolnění zatížení spojky [19].

2.4.6 KOMPONENTY PRO UPÍNÁNÍ NÁSTROJŮ

Výstavba strojů a upínání nástrojů.

V upínacích jednotkách pro upínání nástrojů je funkcí sady talířových pružin držet nástroj bezpečně v kuželové dutině upínací jednotky držáku [19].



Obr. 23. Ventil, vratné pružiny pístu a komponenty pro upínání[19].

2.4.7 SKLADOVÁNÍ ENERGIE PRO BEZPEČNOSTNÍ SYSTÉMY

Jističe, montáž strojů.

U hydraulických pružinových mechanismů se skladování energie často dosahuje pomocí sady talířových pružin[19].

2.4.8 UPNUTÍ LANOVÉ DRÁHY

Výstavba zařízení.

U lanových drah sada talířových pružin vytváří třecí zámek mezi upnutím lana a drátěným lanem. V závislosti na typu upnutí může být zatížení statické nebo dynamické[19].

2.4.9 PRUŽINOVÉ BRZDY

Montáž zařízení, strojů a motorových vozidel.

Talířové pružiny generují brzdné zatížení poté co se hydraulický tlak sníží na předem stanovenou úroveň[19].

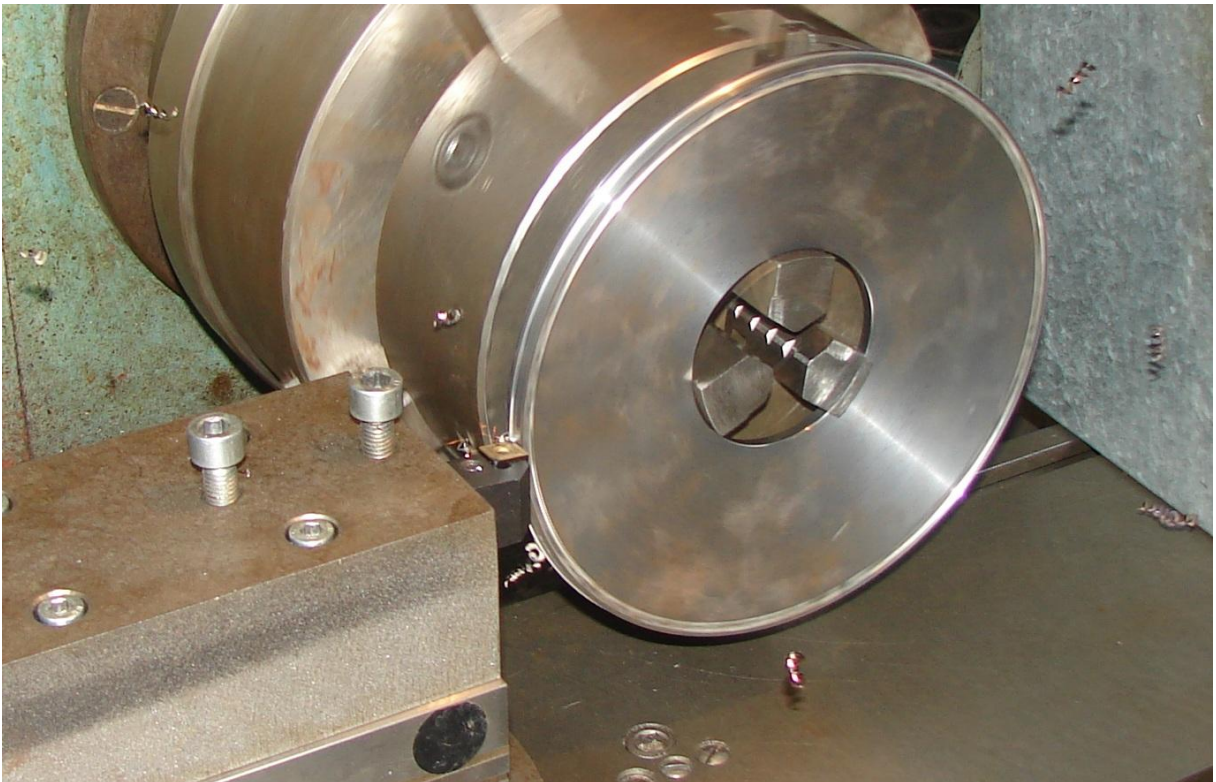


Obr. 24. Jistič, upnutí lanové dráhy a pružinová brzda[19].

3 EXPERIMENT

3.1 POPIS EXPERIMENTU

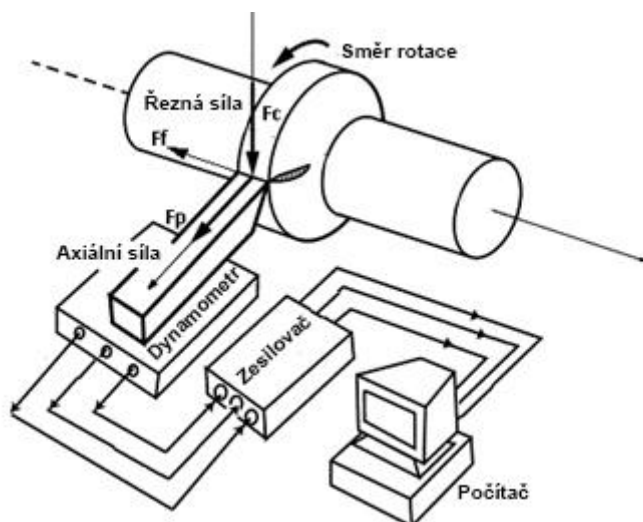
Následující experiment byl proveden za účelem zjištění měrné řezné síly v závislosti na různých řezných rychlostech a posuvu na otáčku. Pro určení těchto veličin byla použita talířová pružina o vnějším průměru 187 mm, která byla upnuta na univerzální hrotový soustruh SU50A za vnitřní průměr.



Obr. 25. Podélné soustružení talířové pružiny.

3.2 OBRÁBĚCÍ NÁSTROJ A MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

K obrábění byl použit stranový uběrací nůž s vyměnitelnou břitovou destičkou s utvařečem UE 6110 od firmy MITSUBISHI vhodným pro hrubovací operace. Jednalo se o podélné soustružení bez chladicí kapaliny. K tomuto nožovému držáku byly připojeny tyto vnější přístroje- dynamometr KISTLER 9265B, zesilovač KISTLER 5070 a počítač.

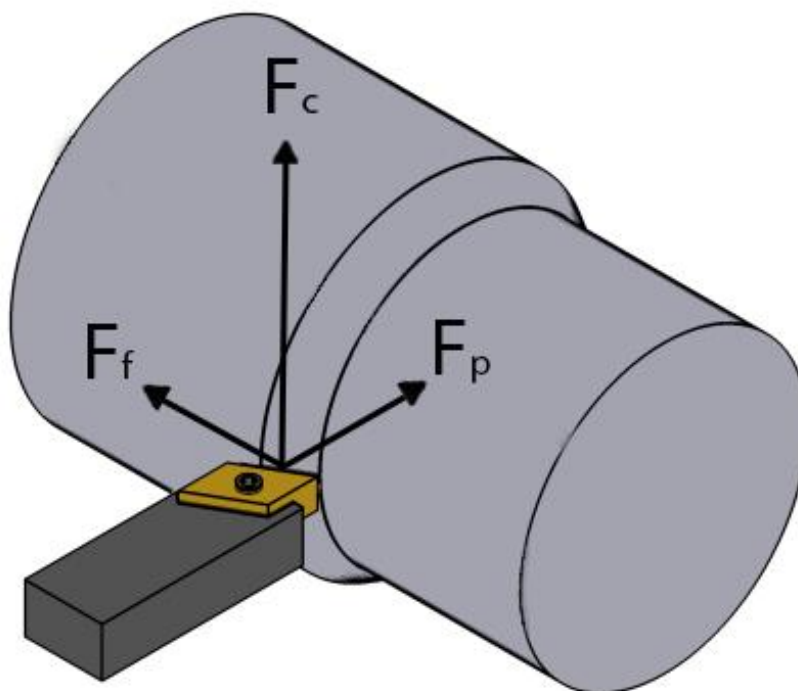


Obr. 26. Schéma zapojení měřících zařízení.



Obr. 27. Utvařeč UE 6100- nový.

3.3 SILOVÉ PŮSOBENÍ PŘI PODÉLNÉM SOUSTRUŽENÍ



Obr. 28. Silové působení mezi nástrojem a obrobkem.

kde:

F - výsledná řezná síla

F_c - řezná síla

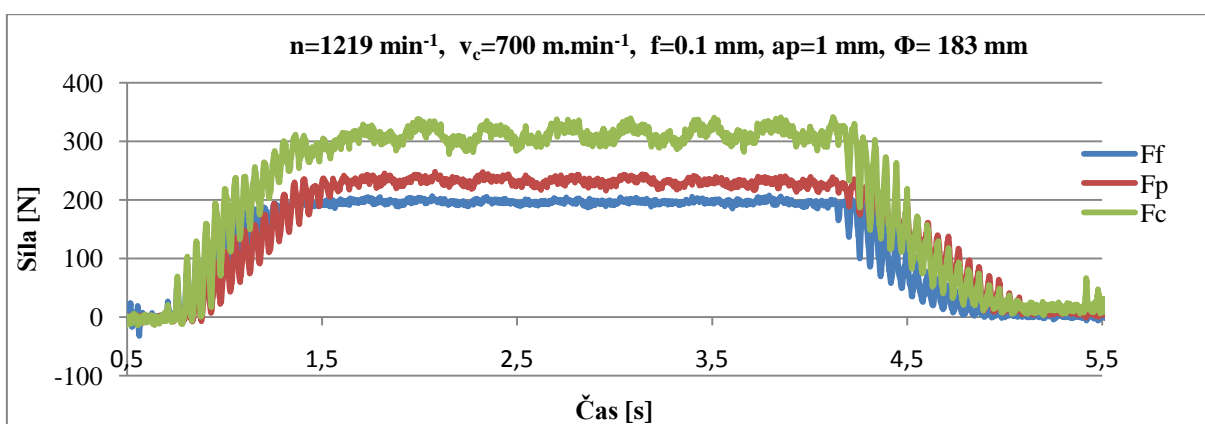
F_p - pasivní síla

F_f - posuvová síla

3.4 NAMĚŘENÉ SÍLY

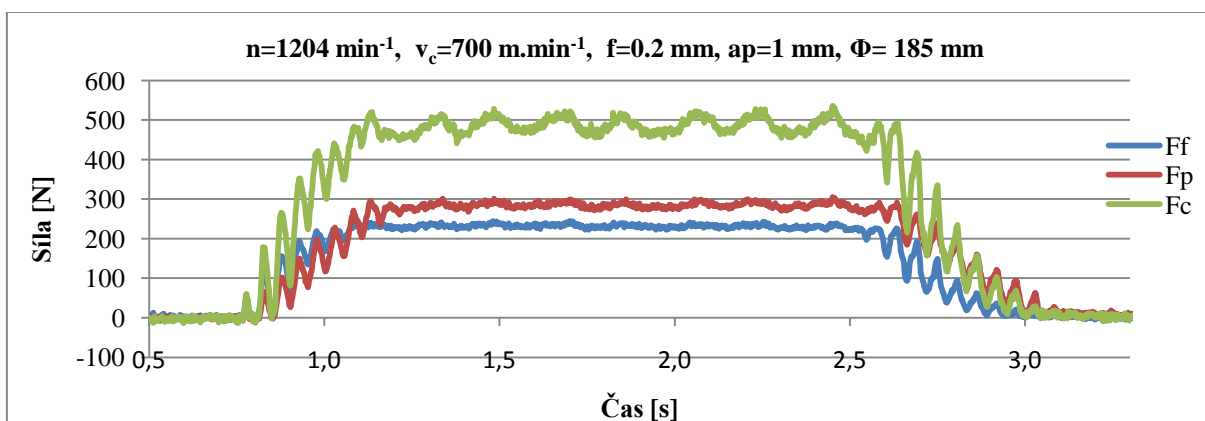
Pro výpočet měrné řezné síly je nutné znát řeznou sílu F_c , která byla zaznamenána pomocí dynamometru a počítače. Zvolená řezná rychlost v_c je $700 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, šířka záběru ostří a_p je 1 mm . Pro uvedenou řeznou rychlost se provedly tři měření. U každého měření byl změněn posuv na otáčku. První byl $0,1 \text{ mm}$, druhý $0,2 \text{ mm}$ a poslední $0,3 \text{ mm}$. Data pro výpočet měrné řezné síly byly použity v intervalu 2 až 4 sekundy. Tato data byla aproximována pro další použití na hladině spolehlivost 95%.

3.4.1 SILOVÉ PŮSOBNÍ PŘI POSUVU NA OTÁČKU 0,1 MM



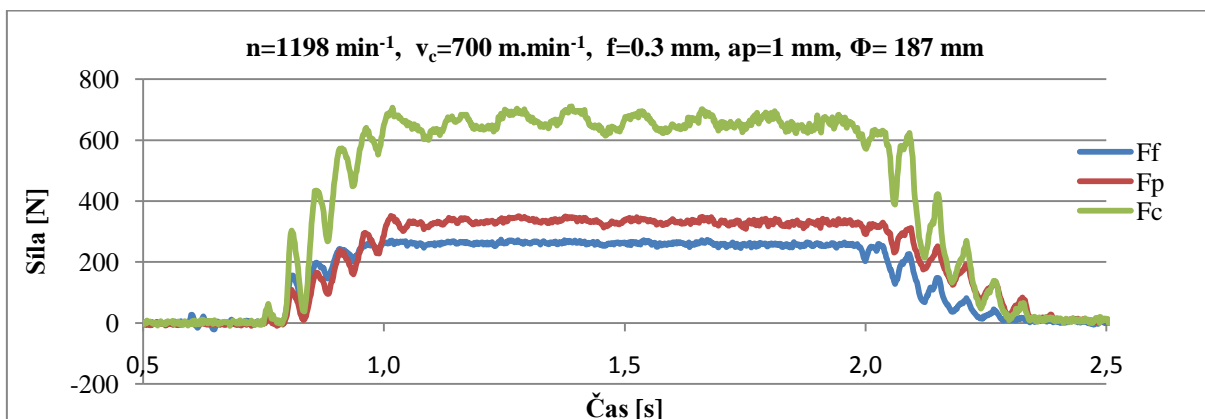
Obr. 29. Průběh sil pro $f=0,1 \text{ mm}$.

3.4.2 SILOVÉ PŮSOBNÍ PŘI POSUVU NA OTÁČKU 0,2 MM



Obr. 30. Průběh sil pro $f=0,2 \text{ mm}$.

3.4.3 SILOVÉ PŮSOBNÍ PŘI POSUVU NA OTÁČKU 0,3 MM



Obr. 31. Průběh sil pro f=0,3 mm.

3.5 VÝPOČET MĚRNÉ ŘEZNÉ SÍLY K_c

Na určení měrné řezné síly má velký vliv řezná síla F_c . Tato síla je z velké části důsledkem kontaktu a tření mezi obrobkem a nástrojem - neboli mezi třískou a čelem nástroje. Kvalita utváření třísky a efekt lámání třísky má také značný vliv na řeznou sílu. Toto lze ovlivnit vhodnou volbou utvařeče. Měrná řezná síla je závislá na pevnosti ve smyku materiálu obrobku a velikosti plochy roviny stříhu A_D . Velikost této plochy se ve značné míře mění a současně s ní se mění i řezná síla. Vliv této plochy je považován za významnější než vliv pevnosti ve smyku, která se v průběhu procesu obrábění téměř nemění[22].

$$k_c = \frac{F_c}{A_D} = \frac{F_c}{a_p \cdot f} \quad (3.5.1)[22]$$

kde:

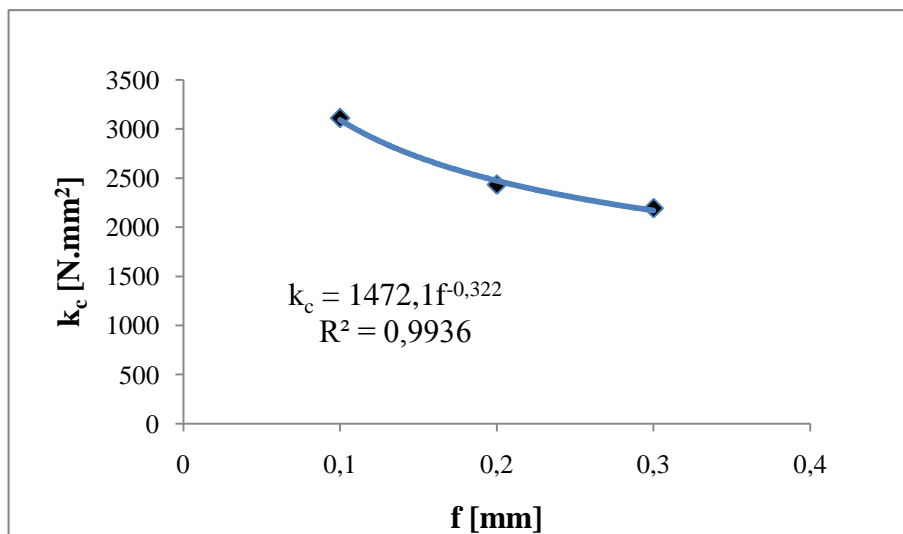
F_c - řezná síla

A_D - plocha v rovině stříhu

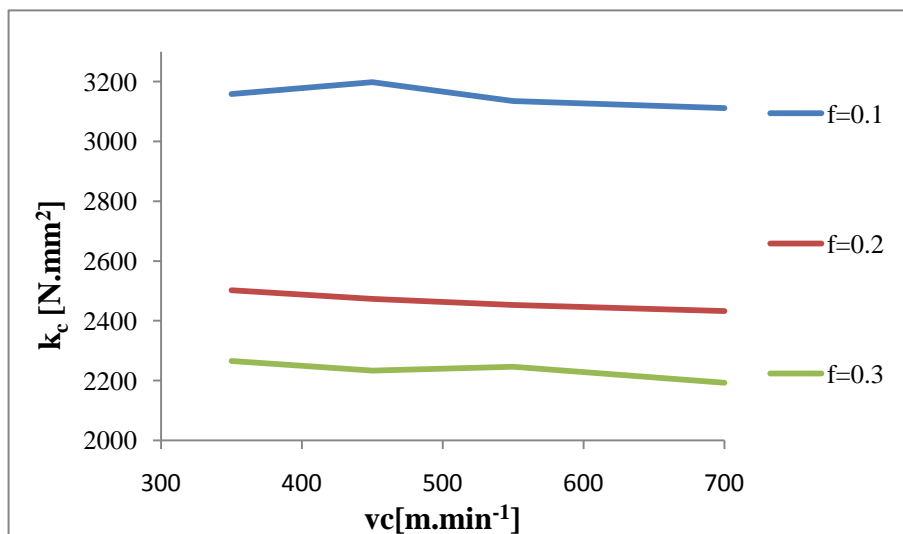
a_p - šířka záběru ostří

f - posuv na otáčku

3.5.1 PRŮBĚH MĚRNÉ ŘEZNÉ SÍLY



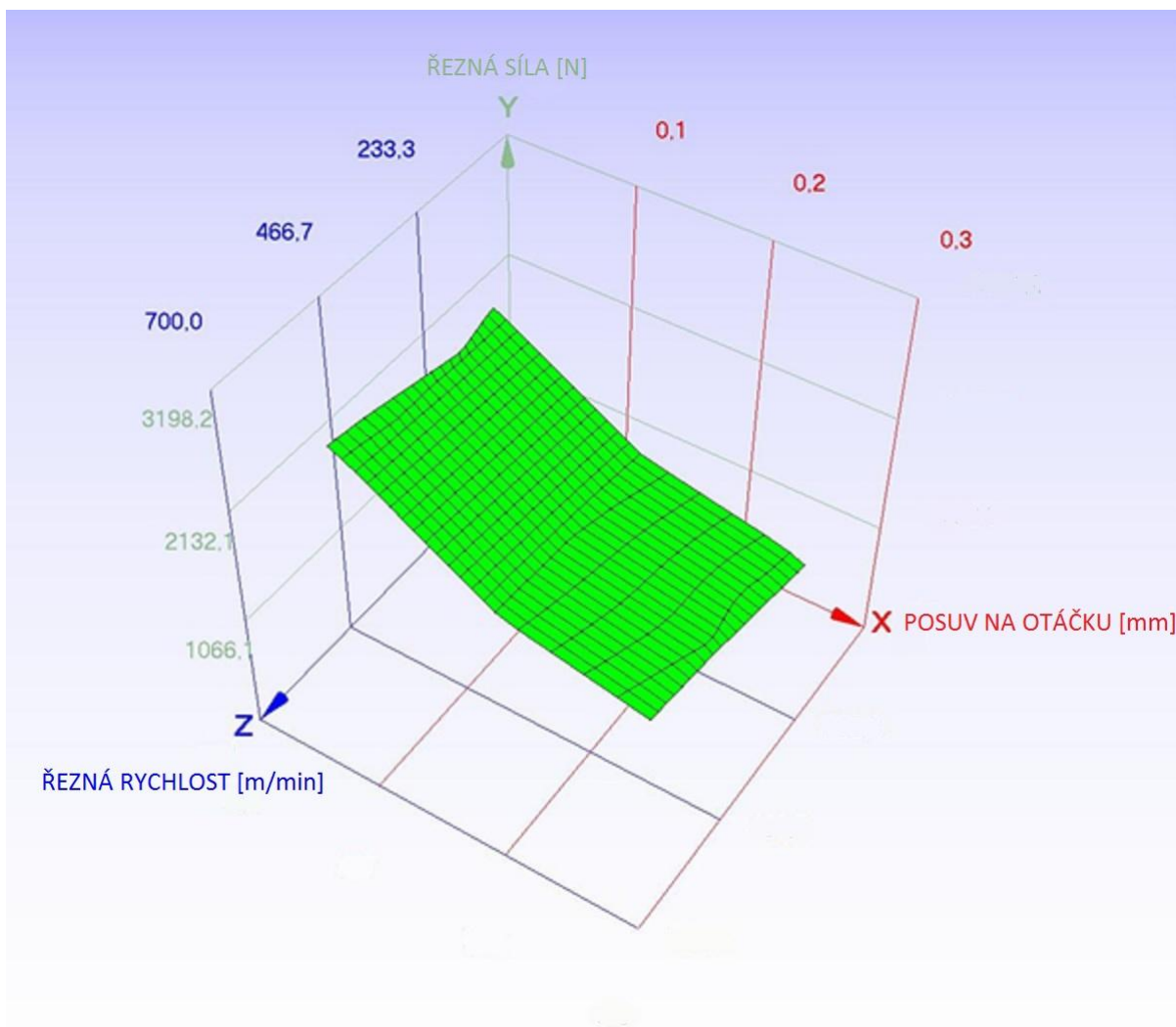
Obr. 32. Průběh měrné řezné síly pro $v_c = 700 \text{ m.min}^{-1}$.



Obr. 33. Průběh měrné řezné síly v závislosti na řezné rychlosti.

Z grafu je patrné, že pro řeznou rychlost 700 m.min^{-1} měrná řezná síla klesá se zvětšujícím se posuvem na otáčku. Pokles lze vyjádřit vztahem $k_c = 1472,1 \cdot f^{0,322}$, hodnota spolehlivosti R je 0,9936. Měrná řezná síla je úzce svázaná s tloušťkou vrstvy odebíraného materiálu a s posuvem na otáčku. To znamená, že čím je průřez třísky menší, tím je měrná řezná síla větší. Vše hovoří pro zvýšení hodnot posuvu na otáčku na nejvyšší možnou míru pro každý proces obrábění[22].

3.6 CELKOVÝ PRŮBĚH MĚRNÉ ŘEZNÉ SÍLY



Obr. 34. Celkový průběh měrné řezné síly.

Určení měrné řezné síly proběhlo pro řezné rychlosti $350 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, $450 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, $550 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ a $700 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Ze získaných hodnot byl sestaven graf, který zobrazuje celkový průběh měrné řezné síly, a to v rozsahu uvedených řezných rychlostí pro každý posuv na otáčku, při konstantní šířce záběru ostří.

Z výsledku je patrné, že měrná řezná síla se zvyšující se řeznou rychlostí a posuvem na otáčku klesá. Pokles je způsoben tím, že při určité řezné rychlosti se náhle mění fyzikální a chemické vlastnosti třísky. Transformace obráběného materiálu v třísku probíhá v rovině stříhu za vysoké teploty, která způsobí její podstatné změknutí, čímž se střední součinitel tření výrazně zmenší. Tím je značně eliminován vliv normálové řezné síly F_N na čele nástroje, poklesne celkový řezný odpor a tím tedy i třecí složka řezné síly F_f [23].

ZÁVĚR

Předkládaná práce nabízí širší pohled na ocelové pružiny, zejména na talířové. Klasifikuje je z hlediska chemického složení, značení dle různých norem, tepelného zpracování, využití v praxi a jejich druhy. Dále obsahuje výpočtové řešení tlačné i talířové pružiny.

Výhodou talířových pružin je jejich variabilita. Proto jsou používány u ropných vrtů jako uzávěry nebo u oběžných družic naší planety. U talířových pružin lze docílit takové charakteristiky jako je vyvinutí téměř konstantní síly při zvětšujícím se stlačení. Této variability se hojně využívá u spojek v automobilovém průmyslu. Vhodnou kombinací talířových pružin lze také vyvinout velkou zatěžující sílu vzhledem k rozměrům.

Na talířové pružině byl proveden experiment za účelem porovnání řezných sil, při podélném soustružení, pro různé řezné rychlosti a posuvy na otáčku. Šířka záběru ostří výměnné břitové destičky byla konstantní. Bylo naměřeno, že se zvyšující se řeznou rychlostí a zvyšujícím se posuvem na otáčku tyto síly klesají. Pokles těchto sil je znázorněn v prostorovém grafu. Toto měření proběhlo při stejných řezných podmínkách pro novou výměnnou břitovou destičku a pro opotřebovanou.

Z hlediska praktického tento pokus potvrdil, že vyšší řezné rychlosti a větší posuvy na otáčku jsou z hlediska silového působení vůči výměnné břitové destičce výhodnější, než nižší řezné rychlosti a menší posuvy na otáčku. Z hlediska dalších měření by bylo zajímavé určit pro daný typ výměnné břitové destičky vhodné parametry obrábění.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] PŘIBIL, Erich. Technická příručka: Tyčová ocel uhlíková, konstrukční, a legovaná, Pružinové oceli pro zušlechťování podle ČSN EN 10089, Ocel pro zušlechtitelné pružiny podle EN 10089 technické dodací podmínky a uživatelský komentář. *Bohdan Bolzano* [online]. 2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN%2010089/MOP_TDPEN10089.pdf
- [2] *Československá státní norma: ČSN 41 5260*. Český normalizační institut. Praha, 1993.
- [3] Výrobky: Speciální pružiny. *Třinecké železářny- Moravia Steel* [online]. 2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: [http://www.trz.cz/TRZ/Prilohy.nsf/%28viewPublic%29/KATALOG/\\$FILE/Pruzinove_Oceli_2010_1.pdf](http://www.trz.cz/TRZ/Prilohy.nsf/%28viewPublic%29/KATALOG/$FILE/Pruzinove_Oceli_2010_1.pdf)
- [4] Odbor termomechaniky a techniky prostředí: Výzkum. *Energetický ústav* [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/vyzkum/kontiliti.php>
- [5] JECH, Jaroslav. *Tepelné zpracování oceli: Metalografická příručka*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1969.
- [6] Technologie: Materiály: Převodní tabulky ocelí. *Tumlikovo: Metal Cutting Technologies* [online]. 9.1.2011 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/prevodni-tabulky-oceli/>
- [7] Vodíková křehkost. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. 5.4.2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Vod%C3%ADkov%C3%A1_k%C5%99ehkost
- [8] Hydrogen Embrittlement. *Metallurgy for Dummies: The Metallurgy's Blog for Beginners* [online]. 5.2.2011 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://metallurgyfordummies.com/hydrogen-embrittlement/>
- [9] Studijní opory. *Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava* [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.fmfi.vsb.cz/miranda2/export/sites-root/fmfi/cs/okruhy/urceno-pro/studenty/podklady-ke-studiu/studijni-opory/633-Fabik-Vybrane-kapitoly-z-tvareni-kovu-kap-1-5.pdf>
- [10] Technologie výroby: Galerie. *Virmet* [online]. 2012 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.virmet.pl/cz/technologie-vyroby/galerie/>
- [11] Výrobky: Vozové žíhací pece. *E-therm: Technologická zařízení* [online]. 2011 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.ethermtz.cz/vyrobky/vozove-zihaci-pece/>
- [12] Osobní vozidla: Pružiny. *GKN: GKN Land Systems, Powertrain Systems & Services* [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: http://www.gknservice.com/cz/osobni_vozidla/pruziny.html

- [13] Pružiny. PFS a.s. Brezová pod Bradlom [online]. 2012 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.pfs.sk/index.php/sk/pruziny>
- [14] PAGÁČ, Marek. Tlačná pružina. *SolidWorks: Tipy a triky, návody, diskuze, novinky, zajímavosti* [online]. 13.9.2012 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://solidworks.caxmix.cz/tlacna-pruzina/>
- [15] Technologie a výrobní zařízení: Přehled všech článků: Generátory komponent tažných a tlačných pružin v Inventoru. *AutodeskClub* [online]. 30.7.2010 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.autodeskclub.cz/clanek/5262-generatory-komponent-taznych-a-tlacnych-pruzin-v-inventoru>
- [16] Produkty: Pružiny: Zkrutné pružiny- Zkrutné pružiny pravotočivé. *Hennlich* [online]. 2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.hennlich.cz/produkty/pruziny-zkrutne-pruziny-159/zkrutne-pruziny-pravotocive.html>
- [17] Kotviací materiál: Pružinový. *Koving DK* [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://koving.eu/sk/content/8/SID=geboqcit0keog71op6huq7g9h0>
- [18] SHIGLEY, Joseph E., Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. Vysoké učení technické v Brně: Nakladatelství VUTIMUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [19] Hydraulická šroubení a komponenty: Talířové pružiny MUBEA. *TST: Servis* [online]. 2007 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: http://www.tstservis.cz/pdf/Mubea_Katalog.pdf
- [20] Handbook. *Schnorr: Disc Spring Engineering* [online]. 2011 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://schnorr.com/docs/Handbook.pdf>
- [21] Základní výpočet talířových pružin. *Autodesk Wikihelp: Nápoveda k produktu se znalostmi komunity* [online]. 2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://wikihelp.autodesk.com/Inventor/csy/2012/Help/0073-Aplikace73/0742-P%C5%99%C3%ADru%C4%8Dka742/0888-Gener%C3%A1to888/0889-Gener%C3%A1to889/0890-Z%C3%A1kladn%C3%AD890>
- [22] AB SANDVIK COROMANT. *Příručka obrábění: Kniha pro praktiky*. Praha: Fa Sandvik CZ za pomoci nakladatelství Scientia, 1997. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [23] Výukové moduly: Progresivní výrobní technologie. *ESF: Inovace studijních programů Strojírenské technologie* [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: esf.fme.vutbr.cz/modul/5/hsc_obrazeni_1.pps

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

| | |
|-----------|--|
| M_k | kroucí moment [Nmm] |
| r | poloměr drátu [mm] |
| d | průměr drátu [mm] |
| J_p | polární kvadratický moment [mm ⁴] |
| K_s | součinitel smykového napětí [-] |
| C | poměr vinutí [-] |
| n_a | počet činných závitů [-] |
| G | modul pružnosti ve smyku [MPa] |
| τ | smykové napětí [MPa] |
| F | zatěžující síla [N] |
| S | průřez drátu [mm ²] |
| W | deformace [-] |
| y | celková deformace [mm] |
| l | délka drátu pružiny [mm] |
| α | součinitel výpočtu [-] |
| β | součinitel výpočtu [-] |
| γ | součinitel výpočtu [-] |
| μ | Poissonova konstanta [-] |
| δ | poměr průměrů [-] |
| E | modul pružnosti pružiny v tahu [MPa] |
| t | tloušťka materiálu pružiny [mm] |
| σ | maximální tlakové napětí v pružině při vychýlení s [MPa] |
| F_{max} | síla při maximálním vychýlení pružiny [N] |
| A_D | plocha v rovině stříhu [mm ²] |
| a_p | šíře záběru ostří [mm] |
| f | posuv na otáčku [mm] |