

Inovácia aerifikačných nožov

Bc. Peter Vojtek

Diplomová práce
2009/2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Peter VOJTEK

Studijní program: N 3909 Procesní inženýrství

Studijní obor: Výrobní inženýrství

Téma práce: Inovace aerifikačních nožů

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracování literární studie na dané téma**
- 2. Příprava vzorků pro test provzdušňování zeminy**
- 3. Provedení testu provzdušňování zeminy**
- 4. Vyhodnocení získaných výsledků**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího DP

Vedoucí diplomové práce:

Ing. David Mañas, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

19. února 2010

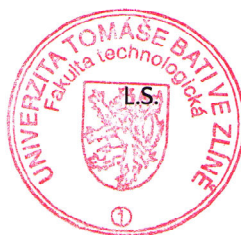
Termín odevzdání diplomové práce:

19. května 2010

Ve Zlíně dne 21. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Mañas, CSc.
vedoucí katedry

Příjmení a jméno: **Peter Vojtek**

Obor: **Výrobní inženýrství**

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 12.5.2010.....

.....


¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem

vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jim dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Táto diplomová práca sa zaoberá inováciou aerifikačných nožov aerifikačného zariadenia, ktoré slúži k prevzdušňovaniu zhutnených trávnatých povrchov. V práci je zhrnutý princíp prevzdušňovania, rôzne druhy používaných zariadení a nožov, hlavné metódy identifikácie materiálov, charakteristika a tepelné spracovanie ocelí používaných k výrobe aerifikačných nožov a aplikácia metódy konečných prvkov pre mechanický výpočet zaťaženia nožov.

Hlavnou úlohou práce je návrh a príprava vzoriek aerifikačných nožov, ktorý pozostáva z voľby materiálu, technológie výroby, tepelnom spracovaní, prevedení pevnostnej mechanickej analýzy pomocou softwaru CATIA V5 a funkčnej skúšky nožov pri samotnej aerifikácii.

Kľúčové slová: aerifikácia, aerifikačný nôž, výroba, skúška nožov

ABSTRACT

This master thesis deals with innovation of coring tines for the aerator, that serves to aeration of rammed grass surfaces. At master thesis is summarizes the principle of aeration, the different types of used equipment and core tines, the main method of material identification, characterization and heat treatment of used steels in the manufacture of core tines and the application finite element methods for calculating the mechanical load of core tines.

The main task of this thesis is a design and sample preparation of core tines, which consists of choice the material, technology of manufacturing, heat treatment and realization of the strength-mechanical analysis using CATIA V5 and functional tests of core tines by the aeration.

Keywords: aeration, core tines, manufacturing, test of core tines

PodĎakovanie:

Ďakujem vedúcemu svojej diplomovej práce Ing. Davidovi Maňasovi, Ph.D. za odborné vedenie, ochotne poskytnuté rady, za čas a trpezlivosť, ktorú mi venoval pri vypracovaní mojej diplomovej práce.

Motto:

„Študent nie je nádoba, ktorú treba naplniť, ale fakľa, ktorú treba zapáliť!“

J. A. Komenský

Prehlasujem, že odovzdaná verzia diplomovej práce a verzia elektronická nahraná do IS/STAG sú totožné a zároveň, že som na celej diplomovej práci pracoval samostatne a použitú literatúru som citoval.

V Zlíně 12.5 2100

.....

podpis

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČASŤ	12
1 AERIFIKÁCIA A AERIFIKAČNÉ ZARIADENIA	13
1.1 CIELE A VÝZNAM AERIFIKÁCIE.....	13
1.2 DRUHY A SPÔSOBY PREVZDUŠŇOVANIA	14
1.2.1 Rozdelenie mechanickej aerifikácie	14
1.2.2 Výhody a nevýhody	15
1.3 AERIFIKAČNÉ ZARIADENIA A NOŽE	16
2 IDENTIFIKÁCIA KOVOÝCH MATERIÁLOV	18
2.1 IDENTIFIKÁCIA PODĽA ZÁKLADNÝCH VLASTNOSTÍ.....	18
2.2 IDENTIFIKÁCIA KOVOVÝCH MATERIÁLOV POMOCOU EMISNEJ SPEKTRÁLNEJ ANALÝZY	23
2.2.1 Atómová emisná spektrometria.....	24
2.2.2 Princíp iskrového spektrometra a meracej metódy.....	27
3 VOĽBA MATERIÁLU PRE VÝROBU AERIFIKAČNÝCH NOŽOV	29
3.1 ZÁSADY VOĽBY MATERIÁLU	29
3.1.1 Proces voľby materiálu.....	30
3.1.2 Cenové aspekty voľby materiálu	31
3.1.3 Obecné a mechanické vlastnosti pri voľbe materiálu.....	32
3.2 POUŽÍVANÉ DRUHY OCELÍ.....	32
3.3 TEPELNÉ SPRACOVANIE	35
3.3.1 Kalenie.....	36
3.3.2 Popúšťanie.....	39
3.3.3 Cementovanie	40
4 MECHANICKÁ ANALÝZA	41
4.1 VZNIK METÓDY	41
4.2 METÓDA KONEČNÝCH PRVKOV (FEM).....	42
4.2.1 Princíp metódy.....	42
4.2.2 Postup tvorby FEM analýzy podporou CAE	43
4.3 RIEŠENIE ROVNÍC FEM ANALÝZY	45
4.3.1 Postup riešenia inžinierskej úlohy FEM.....	45
4.3.2 Interpretácia výsledkov.....	46
II PRAKTICKÁ ČASŤ	48
5 MATERIÁLOVÁ IDENTIFIKÁCIA PÔVODNÝCH NOŽOV	49
5.1 SPEKTRÁLNA EMISNÁ ANALÝZA POMOCOU SPEKTROMETRU LECO SA 2000.....	50
5.2 VOĽBA DRUHU MATERIÁLU A POLOTOVARU PRE VÝROBU AERIFIKAČNÝCH NOŽOV	52
6 TECHNOLOGIA VÝROBY AERIFIKAČNÝCH NOŽOV	53

6.1	NÁVRH TECHNOLOGICKÝCH OPERÁCIÍ VÝROBY SKÚŠOBNÝCH VZORKOU:	53
6.2	NÁVRH A VÝROBA RUČNÉHO OHÝBACIEHO NÁSTROJA	56
6.2.1	Teoretický výpočet ohýbacej sily	56
6.2.2	Konštrukčný návrh ručného ohýbacieho nástroja.....	59
6.2.3	Kontrola ohýbacieho tŕňa nástroja na ohyb	64
6.2.4	Kontrola zvarových spojov najviac namáhaných častí.....	66
7	NÁVRH TEPELNÉHO SPRACOVANIA	73
7.1.1	Cementovanie	73
7.1.2	Kalenie.....	75
7.1.3	Popúšťanie.....	77
8	MECHANICKÁ PEVNOSTNÁ ANALÝZA AERIFIKAČNÉHO NOŽA V PROGRAME CATIA V5 R18.....	78
8.1	SILOVÉ POMERY NA AERIFIKAČNOM NOŽY	78
8.2	PEVNOSTNÁ FEM ANALÝZA V PROGRAME CATIA V5 R18.....	81
9	VÝROBA, FUNKČNÁ SKÚŠKA A EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE VÝROBY AERIFIKAČNÝCH NOŽOV.....	86
9.1	VÝROBA SKÚŠOBNÝCH VZORKOU A SKÚŠKA FUNKČNOSTI AERIFIKAČNÝCH NOŽOV	86
9.2	EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE VÝROBY AERIFIKAČNÝCH NOŽOV	87
9.2.1	Výber najoptimálnejšej cenovej ponuky.....	87
9.2.2	Celkové náklady výroby aerifikačných nožov	89
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	93
	ZOZNAM OBRÁZKOV.....	95
	ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK	97
	ZOZNAM TABULIEK.....	101

ÚVOD

K dosiahnutiu kvality trávnatého povrchu patrí i mechanické prevzdušňovanie pôdneho substrátu, ktoré sa nazýva aerifikácia. K vykonaniu tejto údržbovej operácie sa používajú aerifikačné zariadenia rôznych druhov a prevedení. Hlavnou pracovnou časťou, ktorá vykonáva prevzdušnenie sú aerifikačné nože. Najčastejšie ide o duté alebo plné profily valcového tvaru, ktoré majú špecifický tvar a prevedenie. Táto diplomová práca je zameraná na inováciu aerifikačných nožov, ktoré je potrebné nahradiť a vyrobiť pre aerifikačné zariadenie, na základe požiadavky spoločnosti SAM šport s.r.o Myjava.

Teoretická časť popisuje mechanický spôsob prevzdušňovania, druhy aerifikačných zariadení a nožov. Keďže u pôvodných poškodených aerifikačných nožov nie je známy druh materiálu, je v teoretickej časti venovaná pozornosť problematike identifikácií kovových materiálov a to či už na základe špecifických základných fyzikálnych a mechanických vlastností a taktiež metódam atómovej spektrálnej analýzy, ktorá umožňuje pomocou zariadení pracujúcich na tomto princípe rozpoznávať neznáme chemické zloženie materiálov. Ďalšia časť práce pojednáva o voľbe materiálu na základe jednotlivých vzťahov medzi výrobkom, technológiou a konštrukciou, kde dôležitú časť tvorí i cenové hľadisko voľby materiálu. Aerifikačné nože sú konštruované zo špecifických druhov ocelí, ktoré práve svojimi vlastnosťami či už mechanickými alebo fyzikálnymi môžu plniť požiadavky najmä na pevnosť, húževnatosť a odolnosť voči opotrebeniu. Práve tieto vlastnosti je možné zlepšiť tepelným spracovaním, ktoré je obsiahnuté v ďalšej kapitole a charakterizuje vybrané druhy kalenia, popúšťania a chemicko-tepelného spracovania. Záverečná kapitola teoretickej časti popisuje aplikáciu metódy konečných prvkov, ktorá slúži k výpočtu rôznych inžinierskych úloh a pre konštruktérov rôznych strojných súčastí, najmä k výpočtu a stanoveniu priebehu mechanického zaťaženia a pozorovania pôsobiacich vzniknutých napät'ových a deformačných stavov pri zaťažení súčastí pôsobiacimi silami.

V praktickej časti sú priamo využité poznatky spomínané v teoretickej časti, kde úvodná časť sa zaoberá materiálovou identifikáciou poškodených pôvodných aerifikačných nožov na základe spektrálnej analýzy, ktorá priamo určuje chemické zloženie materiálu. Výsledkom analýzy je voľba alternatívneho materiálu pre aerifikačné nože. Nasledujúca časť sa zaoberá návrhom technologických operácií, technologickým postupom, ktorý bude tvoriť základ pre výrobu aerifikačných nožov. Nadväzujúcou časťou je návrh ručného ohýbacieho zariadenia a konštrukcia a výpočet síl potrebných k zhotoveniu požadovaného ohybu. Dô-

ležitou časťou praktickej práce je návrh tepelného spracovania, ktorým môžeme dosiahnuť požadované vlastnosti nožov a to najmä tvrdosť, pevnosť, odolnosť proti opotrebeniu, ale do značnej miery i húževnatosť, ktorá môže zabrániť značným deformáciám pri namáhaní nožov. Keďže aerifikačné nože sú v procese prevzdušňovania mechanicky namáhané, ďalšia kapitola pojednáva o pevnostnej analýze, ktorej počiatkom je stanovenie silového pôsobenia na aerifikačnom noži a určenie hlavne záťažovej zložky, ktorú v procese aerifikácie predstavuje odpor pôdy. Na základe výsledkov pevnostnej analýzy, je možná posúdiť či konštrukčný návrh, materiálové vlastnosti a tepelné spracovanie sú vhodne zvolené. V poslednej časti je pozornosť venovaná ekonomickému zhodnoteniu výroby aerifikačných nožov a v neposlednom rade, skúška funkčnosti, ktorá má preveriť správnosť celého návrhu.

I. TEORETICKÁ ČASŤ

1 AERIFIKÁCIA A AERIFIKAČNÉ ZARIADENIA

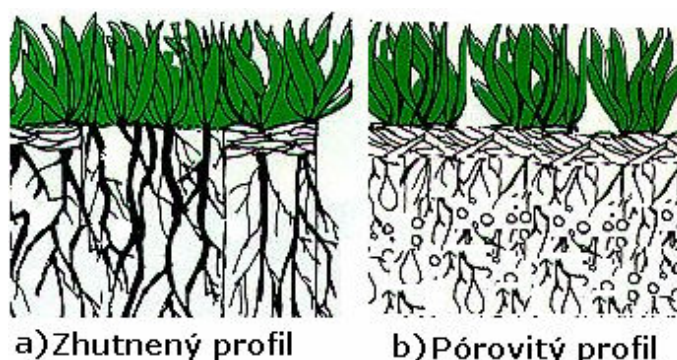
Aerifikácia, alebo tiež prevzdušnenie je spôsob ošetrovania trávnatých plôch, ktorý priamo zasahuje do drnovej a najmä vegetačnej vrstvy s cieľom úpravy fyzikálnych vlastností zhutneného vegetačného substrátu. Aerifikáciou dochádza k zlepšeniu vzdušného a vlhkového režimu a predovšetkým vytvorenie vhodných podmienok pre regeneráciu drnovej časti, tj. zelenej nadzemnej a koreňovej hmoty.

1.1 Ciele a význam aerifikácie

Medzi najpodstatnejšie ciele vykonávania aerifikácie z dôvodu zlepšenia kvality pôdneho substrátu trávnatých plôch patria:

- zníženie stupňa zhutnenia vegetačnej vrstvy
- hlbšie prevzdušnenie substrátu
- zlepšenie nasiakavosti, prípadne vzlínavosti vody

U prirodzených zemín je príčinou zhutnenia pôdneho substrátu najmä nevhodná zrnitosť, skladba substrátu vegetačnej vrstvy, druh pôdy. U športových trávnatých povrchov, či už futbalových, golfových alebo iných, dochádza k zhutneniu substrátu vegetačnej vrstvy nevhodnou konštrukciou, ale najmä nadmernou antropogénnou záťažou (tj. počet hodín aktívnej záťaže športového trávniku, alebo časté valcovanie trávnatého povrchu). Následky zhutnenia sa prejavujú nevhodnou pórovitosťou pôdy (obr.1) a vzdušným režimom, tj. menej ako 10 % vyplnenia pórov vzduchom v objeme pôdy. Nedostatok kyslíka vedie k vytvoreniu anaeróbného prostredia, ktoré vedie k zmene chemického procesu v pôde, napr. k zníženiu pH, zvýšeniu obsahu dusíka, tvorbe pôdnych zrazenín. Dôsledkom týchto nedostatkov sa môže znížiť príjem živín a spomaliť rast koreňového systému. [1]



Obr. 1 Pôdne profily

Mechanické prevzdušnenie pôdy spočíva vo vytváraní pôdnych výrezov (obr.2), čím sa vytvárajú v povrchovom substráte pôdy otvory. Početnosť otvorov na 1 m² býva 100-300 otvorov, čo je závislé na druhu zariadenia s hĺbkou 10 až 15 cm a pri hĺbkovej aerifikácii 40-60 cm. Po aerifikácii sa obsah vzduchu v pôde zvýši, zlepši sa odvod vody, korene sa ťahajú do hĺbky a skvalitní sa i biologická aktivita v pôde. Zlepši sa príjem živín a vody. Redukuje neželaný organický materiál z vrchnej vrstvy trávniku. [2]



Obr. 2 Pôdne výrezy a prevzdušnený trávnik

1.2 Druhy a spôsoby prevzdušňovania

Z hľadiska používaných aerifikačných zariadení, ktoré sú špecifické prevedením, spôsobom pohonu a najmä prevzdušňovacími nástrojmi, možno aerifikáciu rozdeliť na dva základné druhy:

- **Ručná aerifikácia** – používajú sa jednoduché ručné nástroje
- **Mechanická aerifikácia** – mechanické zariadenia rôznych druhov podľa výrobcu

1.2.1 Rozdelenie mechanickej aerifikácie

Intenzívna aerifikácia

Intenzívna aerifikácia spočíva v použití zariadenia s dutými prevzdušňovacími nožmi s priemerom 10-15 mm o dĺžke 20 mm a viac, ktoré sú od seba rozmiestnené 60-100 mm. Duté aerifikačné nože vyrezávajú a vytťahujú z vegetačnej vrstvy trávniku výrezy substrátu (tzv. valčeky obr. 2), ktoré sa buď odstránia zberacími zariadeniami preč, alebo sa ponechajú na povrchu trávniku a po vysušení a rozklade sa rozmelnia zaťahovacou sieťou. [3]

Špeciálna aerifikácia

Špeciálna aerifikácia je založená na použití plných aerifikačných nožov s priemerom 5 až 20 mm, ktoré vo vertikálnom smere vytvárajú otvory v pôdnom substráte. Táto metóda umožňuje ďaleko hlbšie prevzdušnenie a prekyprenie zhutneného podkladu na hĺbku 100 až 250 mm. Je to jedna z najúčinnějších aerifikačných metód, ktorá sa môže prevádzať prakticky hocikedy počas vegetačného obdobia a aktívneho rastu trávy. [4]

Celkový účel mechanickej aerifikácie:

- prevzdušnenie drnu a vegetačnej vrstvy dutými nožmi
- prevzdušnenie drnu plnými nožmi
- hlbšie prerezávanie trávnikovej a vegetačnej vrstvy
- špeciálne metódy

1.2.2 Výhody a nevýhody

Výhody:

- uvoľnenie jedovatých plynov s pôdy
- urýchlenie vysušania trvale mokrých pôd
- zvýšenie kapacity infiltrácie tam, kde je povrch pôdy zhutnený a je prítomná trávna plst'
- stimulácia koreňového systému
- zlepšenie pôdnej akosti pred renováciou a výsevom

Nevýhody:

- prechodné porušenie pôdneho povrchu
- zvýšenie rizika zvädnutia trávneho povrchu
- zvýšenie rizika rozvoja pôdnych burín, ak majú vhodné vegetačné podmienky
- zvýšenie rizika škôd spôsobených hmyzom, ktorý sa usadzuje vo vzniknutých výrezoch [5]

1.3 Aerifikačné zariadenia a nože

Ako bolo už spomenuté v predchádzajúcej časti, aerifikáciu rozdeľuje na dva základne typy podľa druhu aerifikačných zariadení, ktoré možno rozdeliť na:

Ručné aerifikátory

Sú prevzdušňovacie nástroje (obr.3) tvorené uchopovacou a pracovnou časťou, buď s plnými alebo dutými nožmi, s rôznym usporiadaním a počtom. Zatláčaním ručného aerifikátoru do trávnej plochy dochádza k vytvoreniu výrezov alebo otvorov. Uplatnenie nachádzajú na malých trávnych plochách a záhradných trávnikoch.



Obr. 3 Ručné aerifikátory

Mechanické aerifikátory

Mechanickým pohybom či už rotačným alebo vertikálnym kmitavým dochádza k vytváraniu otvorov a výrezov. Z hľadiska pohonovej jednotky ich možno rozdeliť na:

- s vlastnou pohonovou jednotkou
- s externou ťahacou pohonovou jednotkou (ťahané traktormi)



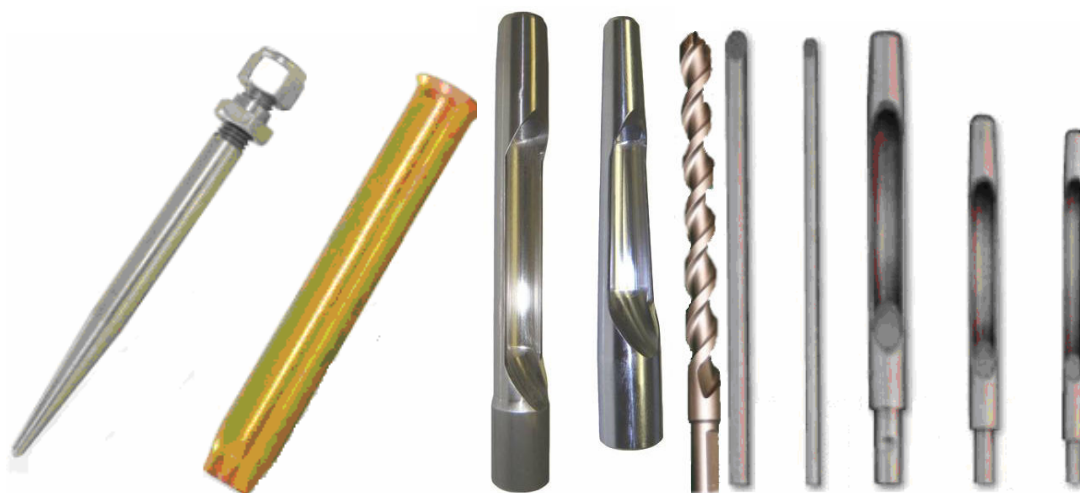
Obr. 4 Mechanické aerifikátory

Aerifikačné nože

Aerifikačné nože (obr. 4) sú hlavné pracovné časti každého zariadenia, ktoré pri svojom rotačnom alebo kmitavom pohybe priamo vnikajú do trávnatého povrchu a pôdneho substrátu, čím zabezpečujú vytvorenie otvorov pre prívod kyslíku a živín. Tieto nože musia mať zaručenú tvrdosť a pevnosť, aby vplyvom pôsobiacich síl, tuhosti a odporu zemin nedošlo pri vnikaní do pôdneho substrátu k ich porušeniu. Nože bývajú zhotovované z pevných konštrukčných ocelí tak, tak aby spĺňali kladené požiadavky najmä na tvrdosť, pevnosť a odolnosť voči opotrebeniu. V súčasnosti existuje mnoho výrobcov aerifikačných nožov, ktoré sa líšia tvarom, prevedením uchytania a materiálom. Podľa typu prevádzanej aerifikácie (intenzívna alebo špeciálna) ich možno rozdeliť nasledovne:

Tab. 1 Rozdelenie a charakteristika aerifikačných nožov

Typ nožov	Charakteristika	Druh zariadenia
<i>Duté</i>	Na kolmo alebo rotujúco sa pohybujúcich jednotkách, s dosiahnutím dlhodobého efektu	Ručné i mechanické
<i>Plné</i>	Prevažne na kolmo sa pohybujúcich jednotkách, menšie narušenie pôdneho povrchu, čiastočné zhutnenie v pôdy v okolí diery	Ručné i mechanické
<i>Hĺbkové</i>	Prevažne plné nože, ktoré prenikajú do hĺbky 40 až 60 cm	Mechanické
<i>Vrtáky</i>	Nože majú tvar vrtáku, ktorý vyvrtáva pôdu na povrch, najvhodnejšie pre hĺbkovú aerifikáciu, zdĺhavý proces	Mechanické
<i>Ihlicové a hviezdicové</i>	Vytvárajú malá aeračné otvory, minimálne porušenie pôdy, vhodné pre rozrušenie vrstevnatých pôdnych povrchov	Mechanické



Obr. 5 Aerifikačné nože

2 IDENTIFIKÁCIA KOVOÝCH MATERIÁLOV

Identifikácia kovových materiálov ma veľký význam v mnohých odvetviach či už je to archeológia, zdravotníctvo a najmä v priemyselných odvetviach. Dnes existuje vyše 120 tisíc rôznych materiálov, ktoré majú špecifické zloženie a vlastnosti. V technickej praxi sa často stretávame práve s identifikáciou rôznych kovových vzorkou materiálov za účelom zistenia ich chemických, mechanických, elektrických, optických, tepelných a iných významných vlastností. V súčasnej dobe je najjednoduchšou cestou k spoľahlivej identifikácii kovov a ich zliatin použitie metód inštrumentálnej (fyzikálno-chemickej) analýzy ako napríklad RTG (röntgen–fluorescenčná analýza) alebo AES (atómová emisná spektrometria). Tieto metódy umožňujú presnú analýzu pevných vzorkou.

2.1 Identifikácia podľa základných vlastností

Nie vždy sú dostupné moderné prístroje inštrumentálnej analýzy a nie vždy je možné odobrať vzorku materiálu pre chemickú analýzu. Z tohto dôvodu je nevyhnutné poznať základné vlastnosti bežne využívaných kovov a zliatin, na základe ktorých je možné ich rozlíšiť.

Farba

Jedným z prvých záchytných bodov pri identifikácii je vizuálne hodnotenie. Na základe farby môžeme kovové materiály rozdeliť do 3 skupín:

1. červená – meď
2. žltá – zlato, niektoré zliatiny medi
3. šedá – väčšina ostaných kovov

Ďalším z bodov k určenia kovov podľa farby je, že sa kovy pri expozícií v elektrolytoch alebo v atmosfére pokrývajú koróznou vrstvou, ktorá ma špecifické sfarbenie a podľa nej možno kovy identifikovať. Napríklad hrdzavá hnedá vrstva hovorí že sa jedná o zliatinu železa (uhlíková oceľ alebo liatina), zelená farba skorodovaného povrchu jasne ukazuje na medi a ich zliatiny, biele korózne vrstvy zasa hovoria že ide o zinkové, horčíkové, hliníkové alebo cínové materiály a ich zliatiny. Však farbu povrchu materiálu nemožno považovať za rozhodujúci znak určenia materiálu. [6]

Magnetické vlastnosti

Jednoduchým priblížením magnetu ku kovovému materiálu môžeme odlišiť feromagnetické materiály od ostatných. Feromagnetické materiály sa vyznačujú tým, že sú silne vťahované do magnetického poľa. V praxi to znamená, že sa silne priťahujú k magnetu. Feromagnetické kovy sú Fe, Co, Ni a Ge, z bežne používaných zliatin potom všetky zliatiny železa (oceli a zliatiny), okrem austenitických (chróm-niklových) koróziivzdorných ocelí. [7]

Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti, ktoré predstavujú základné charakteristiky správania sa kovov pri mechanickom namáhaní tj. pôsobeníu proti deformácii a porušeniu, možno považovať za základné mechanické vlastnosti. Sem patrí:

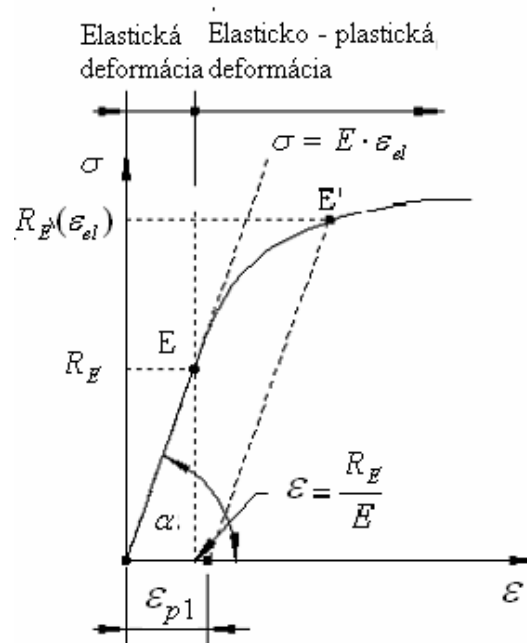
- pružnosť
- plasticita
- pevnosť
- húževnatosť

Charakteristika pružnosti

Pružnosť (elasticita) je schopnosť materiálu elasticky sa deformovať pôsobením mechanického namáhania pred porušením. Z makroskopického hľadiska môžeme považovať pružnosť za absolútne vratný proces. Z hľadiska mikroprocesov, ktoré prebiehajú pri pružnej deformácii je však situácia oveľa zložitejšia. Pri pružnej deformácii nastáva v dôsledku stlačiteľnosti aj zmena objemu a z hľadiska termodynamiky musíme považovať celý proces za adiabatický. Ďalšou príčinou nevratných zmien pri pružnej deformácii je prítomnosť interstícií v tuhých roztokoch (hlavne kubické mriežky). Atómy interstícií pri zmene mechanického napätia zaujímajú výhodnejšie polohy a spôsobujú nesymetrickú štruktúru mriežky (predĺženie v smere zaťaženia). Vzhľadom na to, že aj tento jav je závislý od času, bude aj návrat mriežky do pôvodného stavu časovo oneskorený. Tento jav nazývame vnútorné tlmenie. [8]

Modul pružnosti a medza pružnosti

Modul pružnosti vyjadruje tuhosť väzieb medzi atómami a charakterizuje odolnosť materiálu voči elastickej deformácii. Lineárna závislosť medzi pôsobiacim napätím σ a elasticou deformáciou ε popisuje Hookeov zákon $\sigma = E \cdot \varepsilon$, kde konštantou úmernosti je Youngov modul pružnosti v ťahu E . Hodnotu E je možno určiť zo sklonu počiatočného priamkového úseku ťahového diagramu. [9]



Obr. 6 Oblasť plastickej a elastickej deformácie

Medza pružnosti predstavuje kritickú hodnotu pri ktorej sa závislosť $\sigma = f(\varepsilon)$ začne odkláňať od lineárneho priebehu.

Charakteristika plasticity

Plasticita je schopnosť materiálu pôsobením vonkajších síl meniť svoj tvar bez porušenia častíc a väzieb medzi nimi a zachovať zmenený tvar aj keď sily prestanú pôsobiť. Plastickej deformácii je makroskopický prejav zmeny vzájomnej polohy častíc deformovaného materiálu po prekročení medze pružnosti (klzu).

Charakteristika húževnatosti

Húževnatosť je mechanická vlastnosť, ktorá vznikla kombináciou pevnosti a plasticity. Predstavuje mechanickú energiu potrebnú na plastickú deformáciu materiálu. Čím materiál spotrebuje viac energie na plastickú deformáciu, tým má vyššiu húževnatosť

Charakteristika pevnosti

Pod pojmom pevnosť rozumieme odpor materiálu proti trvalému porušeniu častíc. Prakticky vyjadrujeme pevnosť hodnotou napätia, ktoré rozdelí súdržnosti jeho častí. Výsledkom porušenia materiálu je lom.

Charakteristika tvrdosti

Skúšky tvrdosti sú najrozšírenejšie skúšky kovov a iných technických materiálov.

V podstate sa jedná o skúšky nedeštruktívne, pretože funkčné a vzhľadové porušenie skúšaných dielov je väčšinou bezvýznamné. Z tvrdosti často usudzujeme i niektoré ďalšie vlastnosti materiálu (pevnosť v ťahu, obrábiteľnosť a pod.). Tvrdosť je definovaná ako odpor (odolnosť), ktorú materiál kladie cudziemu vnikajúcemu teliesku.

Zo spomínaných mechanických vlastností, na základe ktorých je založená väčšina meracích prístrojov a meracích skúšok môžeme stanoviť druhy materiálov. Takto možno rozlíšiť typické mäkké materiály, ktoré sa ľahko deformujú ako napríklad: olovo, meď a niektoré jej zliatiny, zlato. Naopak medzi tvrdé a krehké kovy patria chróm, molybdén, volfrám.

[10]

Hustota

Hustota je charakteristickou vlastnosťou každého kovu. Na základe hustoty je možné technicky používané kovy rozdeliť do troch skupín: ľahké kovy s hustotou 1,7 – 4,5 g/cm³. Sem patria horčík, hliník a titan. Ďalšou kategóriou sú kovy s hustotou 7 – 9 g/cm³, teda napríklad zinok, železo, nikel, meď. Medzi najťažšie kovy s hustotou presahujúcou 10 g/cm³ patria mimo iné zlato, olovo a volfrám. Hustotu materiálu najľahšie stanovíme kombináciou merania objemu a váženia hmotnosti vzorku. V prípade, že sa jedná iba o relatívne porovnanie niekoľko vzorkou a jedná sa o rovnaké veľké vzorky, stačí materiály jedno-

ducho pot'ažkať v ruke, zoradiť podľa hustoty a ďalej rozlíšiť s využitím už spomenutých uvedených metód. [11]

Teplota tavenia

Teplota tavenia (bod tavenia) je charakteristická pre daný kov a taktiež ňou môžeme charakterizovať skúmaný materiál. Jednou z nevýhod je, že pri skúške dochádza k deštrukcii vzorku. Kovy podľa teploty tavenia možno rozdeliť na nízko-, stredne- a vysokotavitel'né. Medzi nízkotavitel'né kovy patrí cín, olovo, zinok a ortuť. Stredne a vysokým bodom tavenia sa vyznačujú napr. meď a nikel. Vysokotavitel'né kovy sú napr. volfrám, molybdén a vanád.

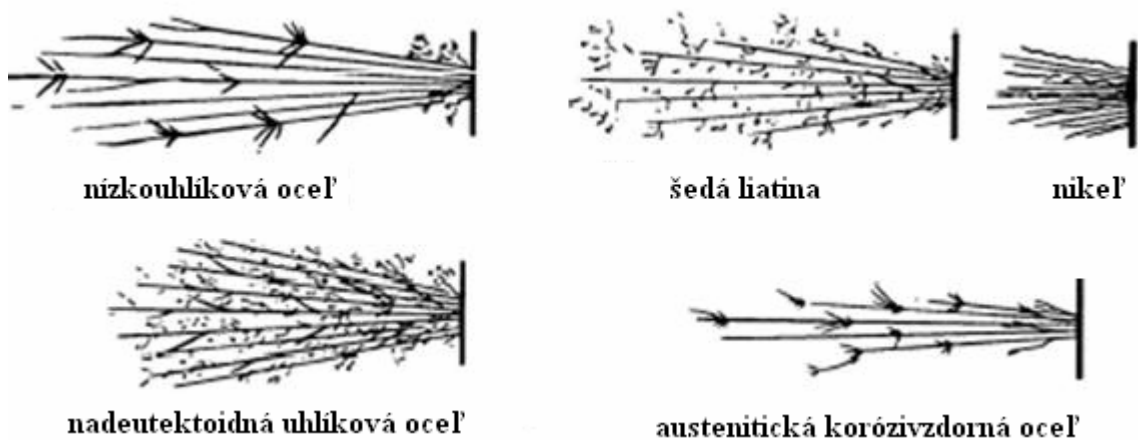
Chemické vlastnosti

Ďalšou možnosťou ako rozlíšiť bežne používané kovy a zliatiny sú ich chemické vlastnosti a to najmä chovanie v kyslom prostredí (koncentrované a zriedené kyseliny) a zásadité NaOH prostredie. Materiály sa rozdielne chovajú v týchto prostrediach z dôvodu rozdielneho korózneho chovania. Väčšina bežných kovov a zliatin odoláva v niektorých prostrediach proti korózii vďaka pasivite, čo znamená že na povrchu sa vytvorí tenká kompaktná vrstva oxidov (u niektorých prípadov i soli – tzv. soľná pasivita), ktorá v danom prostredí chráni povrch materiálu a korózna rýchlosť je tak nižšia. Podľa korózneho chovania je možné rozdeliť kovy nasledovne:

- Kovy, ktoré dobre odolávajú vo väčšine bežných elektrolytoch, vďaka svojej imunitě napr. zlato, platina.
- Kovy, ktoré výborne odolávajú vďaka svojej pasívnej vrstve napr. titan a tantal
- Skupina kovov, ktoré dobre odolávajú v zásaditom prostredí napr. zliatiny železa a niklu
- Amfoterné kovy, ktoré reagujú v silne kyslom, ale i zásaditom prostredí napr. zinok a hliník [12]

Iskrová skúška

Jedna z často používaných skúšok v praxi slúžiaca k rozlíšeniu kovových materiálov, predovšetkým ocelí a k rýchlemu odhaleniu zámen materiálu pri oceliarskej výrobe. Táto skúška sa prevádza priložením pozorovaného materiálu k brúsne mu kotúču a sledovaniu vzhľadu iskier. Touto skúškou je možné veľmi dobre rozlíšiť celkom odlišné materiály a však presnejšie rozlíšenie podobných materiálov, či už rôzne typy nízkoлегovaných ocelí alebo rôzne typy korózi v zdorných ocelí si vyžaduje rozsiahlu prax a dlhoročné skúsenosti. [13]



Obr. 7 Rôzne druhy ocelí s špecifickými iskrami

2.2 Identifikácia kovových materiálov pomocou emisnej spektrálnej analýzy

Informácia o chemickom zložení materiálu je kľúčovým faktorom pri riešení technologických problémov vo všetkých oblastiach strojársk ej technológie (zváranie, zlievanie, obrábanie, tvárnenie, tepelné spracovanie a ďalšie).

Spektrálna analýza chemického zloženia materiálu je veľmi efektívnym nástrojom najmä pri:

- Kontrole prebiehajúcich procesov
- Navrhovaní nových technologických postupov a procesov

V súčasnosti existuje celý rad spektroskopických metód, ktoré umožňujú rýchlu a presnú analýzu chemického zloženia tuhých, kvapalných aj plynných látok. Pre analýzu kovov a ich zliatin je však najvhodnejšia atómová emisná spektrometria.

Práve za účelom analýzy kovových materiálov je dnes konštruovaných veľké množstvo špeciálnych emisných spektrometrov (v laboratórnej verzii nazývaných kvantometrov). Základnou charakteristikou týchto prístrojov je, že sú vždy konštruované simultánne a vo väčšine sú vybavené polychromátormi a sú vždy špeciálne vyrobené pre príslušný analytický program.

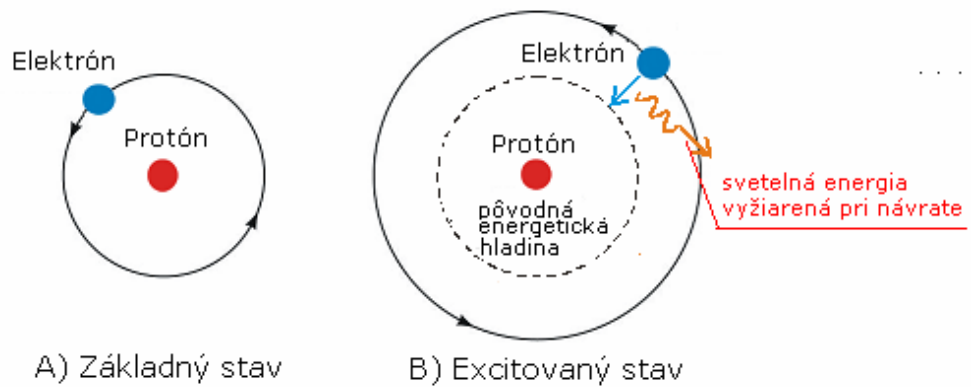
2.2.1 Atómová emisná spektrometria

Emisná spektrochemická metóda je založená najmä na štúdiu emisných spektier voľných atómov a iónov. K emisným metódam sa ďalej zaraďuje aj Ramanova spektroskópia a tiež metódy využívajúce spektrá sekundárnej emisie, budené ultrafialovým, či röntgenovými, laserovými alebo katódovými lúčmi.

Atómová emisná iskrová metóda

Analyzovaná vzorka sa dopraví do plazmy, čo je plyn zahriaty na takú teplotu, aby aspoň 1 % častíc bolo v ionizovanom stave. Plazmu tvoria molekuly, časti molekúl, radikály, atómy, ióny a elektróny. Plazma sa získa dodaním energie a to v plameni, v elektrickom oblúku, v elektrickom iskrovom výboji

Ak sa voľný atóm pri pohybe v plazme nepružne zrazí s inou časticou pohltí časť kinetickej energie a akumuluje ju takým spôsobom, že vysunie svoj valenčný elektrón na vyššiu energetickú hladinu. Atóm v tomto stave sa nazýva excitovaný atóm. Po krátkom čase (v priemere 10^{-8} s) sa vracia na svoju pôvodnú hladinu a prebytok energie vyžiari vo forme kvanta elektromagnetického žiarenia alebo röntgenového žiarenia, vo forme fotónu (obr.8).



Obr. 8 Atómové emisné spektrum

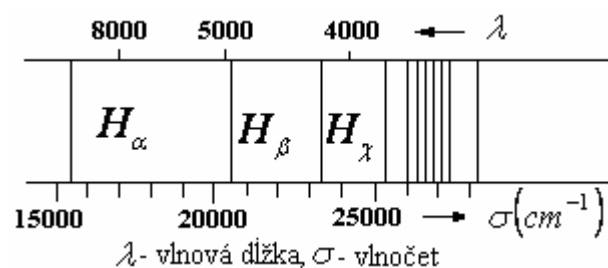
Elektrón v excitovanom stave sa nie vždy vracia na pôvodnú energetickú hladinu jediným skokom, niekedy sa vracia postupne preskokmi medzi jednotlivými energetickými hladinami a pri každom preskoku uvoľní jeden fotón.

Rýchlosť prenosu energie homogénnym prostredím vo váku je $c = 2,99793 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$. Kvantum energie prenášané jedným fotónom je úmerné frekvencii ν [$\text{s}^{-1} = 1 \text{ Hz}$].

$$E = h \cdot \nu,$$

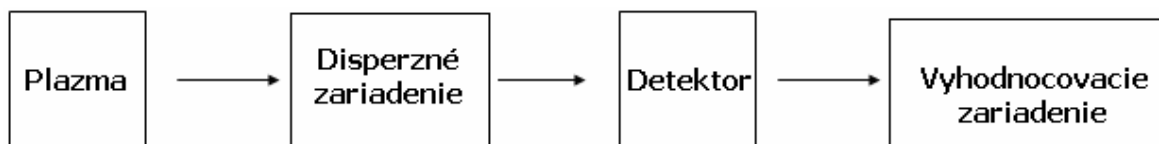
kde h je Planckova konštanta [$6,6262 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$].

Opísaný dej sa mnohonásobne opakuje a prúd fotónov o rovnakej energii je možné nazvať lúčom, ktorému je možné priradiť aj vlnovú dĺžku. V plazme vzniká veľký počet lúčov o rôznych vlnových dĺžkach, ktoré spolu vytvárajú polychromatické žiarenie. Toto polychromatické žiarenie sa rozloží na disperznom zariadení za vzniku spektra, ktoré pozostáva zo spektrálnych čiar. Detektor registruje spektrum, ktoré sa dá vyhodnocovať z hľadiska polohy spektrálnych čiar (kvalitatívne zloženie vzorky), alebo z hľadiska intenzity spektrálnych čiar (kvantitatívne zloženie vzorky).



Obr. 9 Příklad emisného spektra vodíka

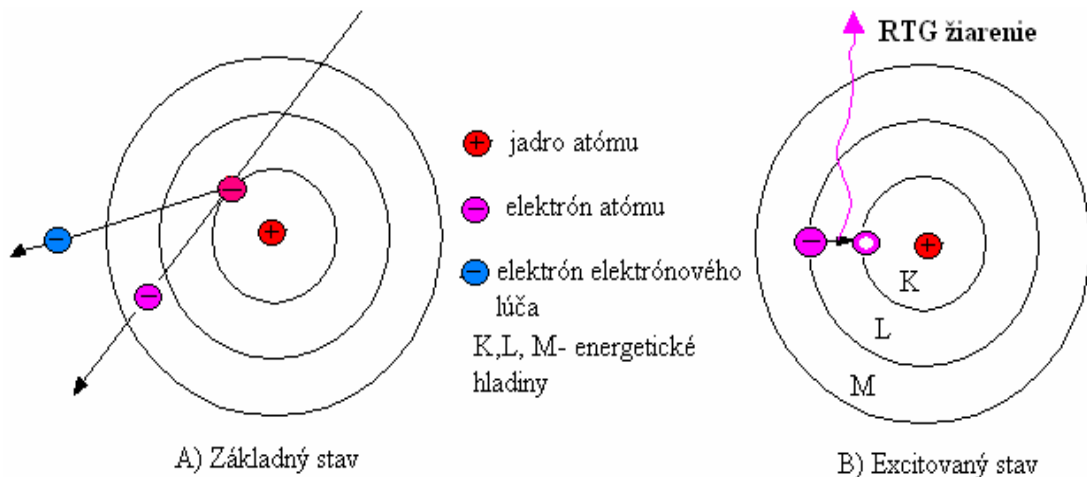
Každý prvok vysiela charakteristické spektrum, ktoré je len jemu vlastné. Intenzita spektrálnej čiary je úmerná koncentrácii prvku, ktorý danú spektrálnu čiaru emituje a pomocou kalibračnej funkcie sa prevedie na koncentračný údaj. V prípade tuhých vzoriek sa hranica presnosti tohto údaje nachádza na úrovni 10^{-4} až 10^{-5} %. [14, 15]



Obr. 10 Principiálna schéma AES analyzátora

Röntgenová fluorescečná metóda (RTG)

Ak vysokoenergetická častica vo forme lúča, napríklad elektrón, alebo gama kvantum, narazí na elektrón viazaný v atómovom obale a energia iniciačnej častice je vyššia ako väzbová energia viazaného elektrónu, tento elektrón môže byť z jeho pozície vyrazený. Opustí atóm s kinetickou energiou, ktorá je rovná rozdielu energie dopadajúcej častice a väzbovej energie elektrónu v atóme. Tento vyrazený elektrón sa nazýva fotoelektrón a interakcia fotoefekt (fotoelektrický jav). Tým pádom v elektrónovom obale vznikne po vyrazenom elektróne medzera (prázdne miesto) a atóm sa dostane do nestabilného stavu, ktorý sa snaží stabilizovať. Môže to urobiť dvomi procesmi. Prvý je preskupenie elektrónov, výsledkom ktorého je emisia ďalšieho fotoelektrónu nazývaného Auger elektrón. Druhý spôsob ako vybudovaný atóm dosiahne stabilitu je, že atóm zaplní medzeru presunutím elektrónu z niektorého z vyšších orbitálov atómového obalu. Pri tomto procese je vyžiarený fotón elektromagnetického vlnenia, ktorého energia zodpovedá rozdielu energií presunutého elektrónu z jedného stavu do druhého. Všetky takto emitované fotóny majú energie úmerné rozdielom energetických stavov obalových elektrónov, takže energie (čiary) fotónov emitovaných z atómu daného prvku budú charakteristické pre daný prvok.



Obr. 11 Atómové emisné spektrum a RTG žiarenie

2.2.2 Princíp iskrového spektrometra a meracej metódy

Cez optický systém a následne iskrište preteká prúd argónu. Jeho intenzita závisí od pracovného stavu prístroja. V pokojovom stave je veľmi nízka, pri meraní niekoľkonásobne vzrastie. Argón má čistiacu a ochrannú funkciu, pretože pri prítomnosti kyslíka najmä v UV optike dochádza k značnému skresleniu nameraných hodnôt. Po spustení procesu sa medzi vzorkou a elektródou uloženou v iskrišti zapáli elektrický oblúk. Celý proces prebieha v ochrannej atmosfére argónu. Niektoré atómy z povrchu vzorky sa dostanú do plazmatického výboja (elektrického oblúka) a zároveň energia oblúka im umožní prejsť do excitovaného stavu. Svetelnú energiu, ktorú vyžiarila sníma optický systém. Jeden pre vlnové dĺžky viditeľného spektra a druhý pre vlnové dĺžky v oblasti ultrafialového žiarenia, keďže spektrálne čiary niektorých prvkov sa nachádzajú aj v tejto oblasti spektra. Väčšina optických spektrometrov využíva princíp tzv. Rowlandovej kružnice. Ide o pomyselnú kružnicu, na ktorej obode leží vstupná štrbina, difrakčná mriežka vybrúsená do tvaru konkávneho zrkadla v spojení s detektorom. Priemer kružnice je totožný s polomerom zakrivenia difrakčnej mriežky. Svetelný lúč prechádza vstupnou štrbinou, dopadá na difrakčnú mriežku, kde dochádza k disperzii. Odraz jednotlivých spektrálnych čiar dopadá na detektor, ktorého úlohou je prevod svetelného žiarenia na elektrický signál, ktorý následne spracuje počítač.

[16]

Druhy spektrometrov:

Mobilné spektrometre - prenosné

- Laboratórne spektrometre (kvantometre) – statické
- Automatické spektrometrické stanice



Obr. 12 Laboratórny iskrový a mobilný RTG spektrometer

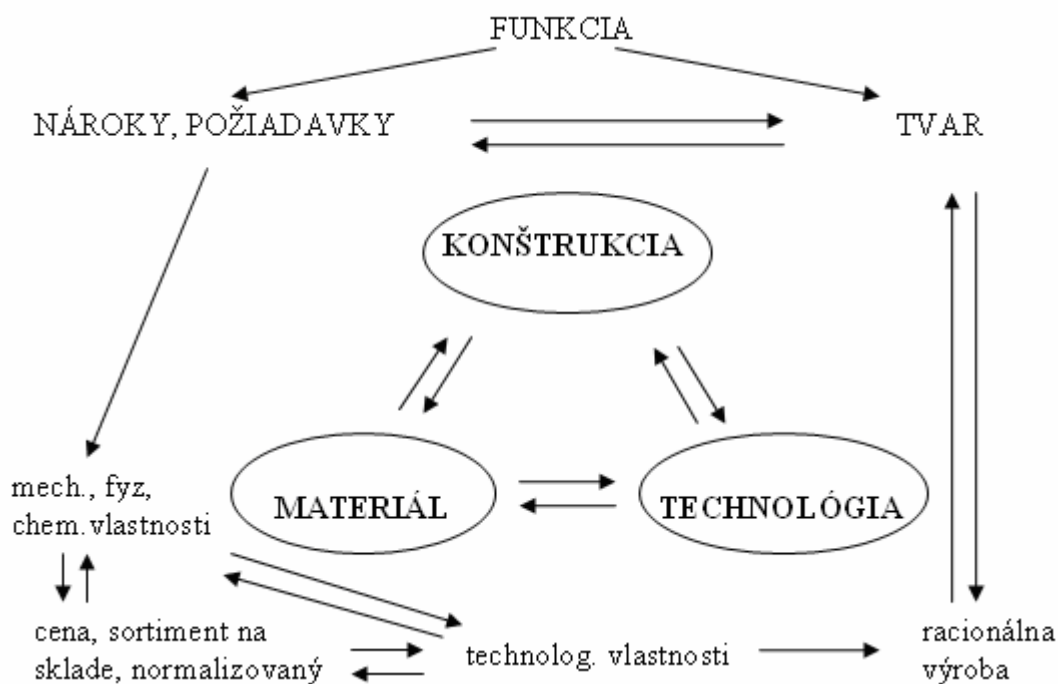
3 VOĽBA MATERIÁLU PRE VÝROBU AERIFIKAČNÝCH NOŽOV

V súčasnej dobe existuje približne 20 000 zliatin technických kovov. Z toho je 12 000 zliatin železa s legujúcimi prvkami ako C, Cr, Ni, Mo, V, Ni, Ta, Ti, Z a iné. Zliatin hliníku poznáme asi 2000 s rôznymi prídavnými kovmi ako napr. Cu, Mg, Si, Zn a ďalšie, s ktorými práve hliník vytvára špecifické zliatiny. Zliatin medi je približne 5000 s prídavnými kovmi. Existujú samozrejme ďalšie druhy materiálov či už v práškovej podobe alebo na báze spekaných karbidov, ktoré nachádzajú využitie v rôznych odvetviach priemyslu. Pri návrhu konštrukcie súčiastky má veľkú dôležitosť voľba druhu polotovaru a akosti materiálu z hľadiska náveznosti na technológiu obrábania, požadovaných vlastností súčiastky a v neposlednom rade ceny. Pri voľbe materiálu sa musí zohľadniť funkčné, technologické a ekonomické hľadisko. Navrhovaná súčiastka musí splniť požiadavky na pevnosť a spoľahlivosť súčiastky v navrhovanom výrobku. Technológia výroby súčiastky musí brať ohľad na predpokladané množstvo vyrábaných kusov. V neposlednom rade rozhoduje cena materiálu polotovaru, ďalej prácnosť a energetická náročnosť uvažovaných technológií. Je žiaduce porovnať celkové náklady viacerých konštrukčných návrhov a vybrať pre predpokladané množstvo vyrábaných kusov a ekonomicky najvýhodnejšie riešenie.

3.1 Zásady voľby materiálu

Voľba materiálu pre daný výrobok nemôže prebiehať nezávisle na technológii, ktorou je nutné použiť k výrobe daného výrobku. Funkcia výrobku (súčasti) ako celku, jeho konštrukcia (tvar), materiál a technológia sú zásadnými prvkami návrhu, ktoré spolu vzájomne súvisia.

Funkcia výrobku napr. prenos zaťaženia, krútiaceho momentu, tepla, dizajnový tvar určujú výber materiálu, ktorý je schopný požadované parametre splniť. Technológia je ovplyvnená vlastnosťami použitého materiálu (jeho tvárnosťou, obrábateľnosťou, zlievateľnosťou, možnosťou tepelného spracovania atď.). Použitá technológia zasa výrazne ovplyvňuje možnosti docielenia požadovaného tvaru, dosiahnuteľnou presnosťou tvaru, kvalitou povrchu a samozrejme i cenou. Konštrukcia výrobku (jeho tvar) limituje výber použiteľného materiálu a technológie. Čím je návrh komplikovanejší, tým je špecifikácia užšia a interakcia väčšia. [17]



Obr. 13 Vzťah medzi vlastnosťami výrobku

Interakcia materiálu, konštrukcie, technológie je srdcom celého procesu voľby materiálu. Najmä pri použití kovových materiálov a špeciálne ocelí ovplyvňuje technologické vlastnosti použitého materiálu prostredníctvom vplyvu na jeho zloženia a štruktúru materiálu, čo sa samozrejme podstatnou mierou odráža na užitočných vlastnostiach materiálu a najmä výrobku. [18]

3.1.1 Proces voľby materiálu

Z pravidla sa voľba materiálu realizuje z dvoch možných dôvodov:

- výber materiálu a technológie pre nový výrobok (pôvodný návrh)
- hodnotenie alternatívnych materiálov a výrobných postupov pre už existujúci výrobok

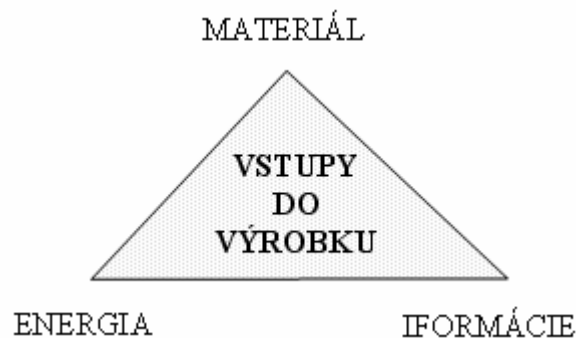
S novým výrobkom sú spojené obvykle nové pracovné postupy, voľba optimálneho materiálu a samozrejme i správny návrh technológie výroby. V prípade kedy však navrhujem alternatívu výrobku, či inováciu pozostávajúceho materiálu alebo technológie je proces voľby nasledovný:

- je potrebné prispôbiť sa požadovaným funkčným či parametrickým zmenám výrobku v súvislosti s variantným návrhom

- snažiť sa o zníženie podielu ceny materiálu na výrobu
- znížiť výrobné náklady (v súvislosti so zavedením novej ekonomicky výhodnejšej výrobnéj technológie)
- využiť predností nového materiálu či technológie (ide o tzv. adaptívny alebo vývojový návrh v materiálovej a technologickej oblasti)
- riešiť problémy spojené z technológiou spracovania materiálov
- aplikovať odporúčenia o predchádzajúcich porušeníach výrobku

3.1.2 Cenové aspekty voľby materiálu

V zjednodušenom pojatí je cena výrobku určovaná troma hlavnými vstupmi a to materiálom, energiou a informáciami (informačný obsah = množstvo teoretických a praktických poznatkov potrebných k zhotoveniu).



Obr. 14 Hlavné nákladové vstupy do výrobku

Cena materiálu je prvým dôležitým článkom reťazca na konci ktorého je predajná cena výrobku. Tá zahrňuje okrem ceny materiálu, tiež napr. cenu nástrojov, výrobných zariadení, cenu pracovnej sily atď.

$$C = C_m + \frac{C_c}{n} + \frac{C_p}{\dot{n}} \quad (3.1)$$

kde C_m je cena materiálu, C_c sú fixné náklady (podiel kapitálovej ceny výrobného celku, zariadenia a nástrojov), C_p je cena pracovnej sily na jednotku času, n je objem a \dot{n} je rýchlosť výroby, teda počet výrobkov za jednotku času. [19]

3.1.3 Obecné a mechanické vlastnosti pri voľbe materiálu

Obecné vlastnosti

Obecné vlastnosti vyjadruje hmotnosť a cena materiálu. Pre výrobu oceľových výrobkov rôznych profilov je potrebné pri výbere materiálu zohľadniť druh polotovaru. Polotovary sú vyrábané v rôznych rozmeroch a dĺžkach, kde pre každý normalizovaná rozmer polotovaru je určené merná hmotnosť ρ (kg/m^3) alebo hmotnosť m (kg), ku ktorým prislúcha cena C_m (cena/kg) za kilogram hmotnosti. Takže pri výbere druhu materiálu majú vplyv i obecné vlastnosti na správny druh a voľbu polotovaru v závislosti na ďalšom technologickom spracovaní.

Mechanické vlastnosti

Voľbu materiálu ovplyvňujú predovšetkým mechanické vlastnosti materiálu. Preto pri správnom výbere materiálu majú často rozhodujúci vplyv. Každý materiál (oceľ, plasty, keramika a iné) má normou stanovené základné mechanické vlastnosti získané z mechanických skúšok. Medzi najzákladnejšie patrí:

- **Pevnosť:** charakterizovaná medzou pevnosti R_m (MPa)
- **Pružnosť:** charakterizovaná medzou klzu R_e (Mpa)
- **Tvrdosť:** vyjadrovaná v jednotkách (HB,HRC,HRV)
- **Tuhosť:** charakterizovaná modulom pružnosti E (MPa)
- **Krehkosť:** charakterizovaná lomovou húževnatosťou K_{IC} ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{-2}$)

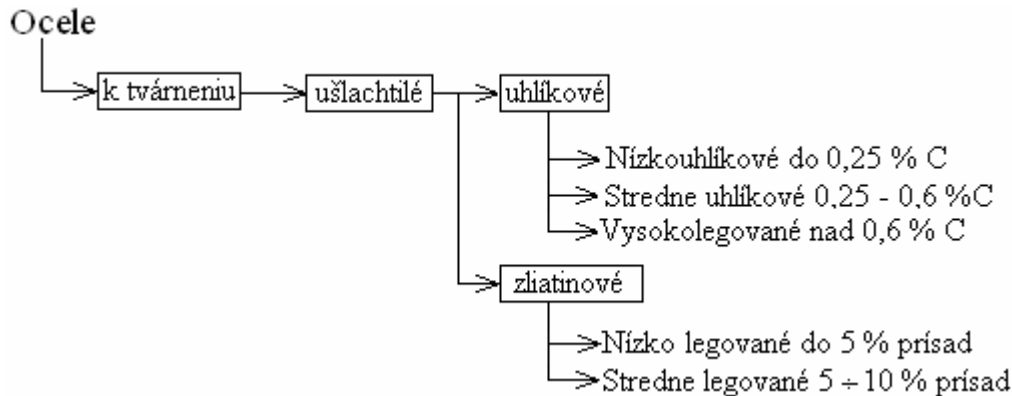
Mechanické vlastnosti materiálu určujú najmä vhodnosť použitia daného výrobku, z hľadiska namáhania, odolnosti voči opotrebeniu a deformácií navrhnutého výrobku. [20]

3.2 Používané druhy ocelí

Z hľadiska tvarov a profilov vyrábaných aerifikačných nožov a predovšetkým z dostupných polotovarov (pre aerifikačné nože predovšetkým drôty, tyče a rúrky) využívame ako výrobné materiály zo skupiny ocelí, oceli určené k tvárneniu. Definície a rozdelenie ocelí k tvárneniu obsahuje norma ČSN EN 10020 – Definice a rozdělení ocelí. Ako oceli k tvárneniu

sú označované materiály, v ktorých je hmotnostný podiel železa väčší, než ktoréhokoľvek iného prvku a ktoré vo všeobecnosti vykazujú menej ako 2 % C a obsahujú iné prvky.

Nasledujúca schéma (obr. 15) zobrazuje rozdelenie ocelí k tvárneniu vhodných pre výrobu aerifikačných nožov.



Obr. 15 Rozdelenie tvárnych ocelí

Do týchto skupín patria oceli nelegované obvyklých akosti a ocele akostné a ušľachtilé. Z týchto ocelí sú vybrané jednotlivé triedy podľa svojich vlastností, ktoré sú vhodné k výrobe aerifikačných nožov. [21]

Ocele triedy 11

Majú predpísanú čistotu a zaručené pevnosť v ťahu, medzu klzu a ťažnosť. Nesmú byť náchylné k lámavosti za studena i za červeného žiaru. Sú odstupňované podľa obsahu uhlíka od najmenej pevnosti 280 MPa do 900 MPa. Sú dodávané vo forme tvárnených profilov, drôtov, plechov, výkovekov, výliskov, bezšvových rúr a hlbokoťažných plechov. Požívajú sa v stave normalizačne žíhané.

Ocele pevnostnej rady 37 medzi predstaviteľov tejto rady patrí oceľ 11 373 a ocele rady 42 s predstaviteľom 11 423 majú obsah C 0,2 % a pevnosť v medziach 370 až 450 MPa. Dajú sa zvärať a cementovať, oceľ 11 373 je výborne tváriteľná. Sú vhodné k výrobe menej namáhaných strojných súčastí.

Ocele konštrukčné triedy 12

Trieda ušľachtilých uhlíkových ocelí s obsahom C od 0,06 do 0,7 % a niektoré pružinové s obsahom C do 0,9 %. Prakticky sa rozdeľujú na ocele určené:

- *cementovaniu* - patria sem ocele s obsahom C od 0,06 % do 0,2 % s nízkou pevnosťou jadra, ale vysokou húževnatosťou. Tvrdosť cementovanej vrstvy po zakalení a popúšťaní ja asi 60 HRC. Medzi vhodných predstaviteľov patria ocele 12 020 ocel' s nižším obsahom C a ocel' 12 024 s vyšším obsahom. Všeobecne sa používajú na menej namáhané súčasti motorových vozidiel, majú dobrú obrábateľnosť.
- *k zušľachtovaniu* - obsahujú 0,25 až 0,7 %, vyznačujú sa dobrou prekaliteľnosťou až do priemerov $d = 40$ mm. Vhodná je ocel' 12 060 je vhodná k zušľachtovaniu.
- *k povrchovému kaleniu* – obsahujú 0,4 až 0,6 % C. Vhodná je ocel' 12 050 je vhodná k zušľachtovaniu a najmä k povrchovému kaleniu, má obtiažnu zväratelnosť.

Ocele konštrukčné legované triedy 13

Legovacím prvkom je väčšinou mangán, používajú sa tam kde ušľachtilé ocele nie sú vhodné a chrómové alebo chróm-niklové drahé. Nehodia sa k cementovaniu. Používané ocele :

- *pružinové* – obsahujú hlavne kremík v množstve asi 1,7 %. Vhodné ocele sú 13 251 a 13 270 legované kremíkom, majú zvýšenú medzu únavy, sú to zušľachtené pružinové ocele kalením a popúšťaním všeobecne vhodné na výrobu pružných súčastí a pružín.

Ocele konštrukčné legované triedy 14

Ocele legované chróm prípadne mangánom a kremíkom. Vhodným predstaviteľom sú:

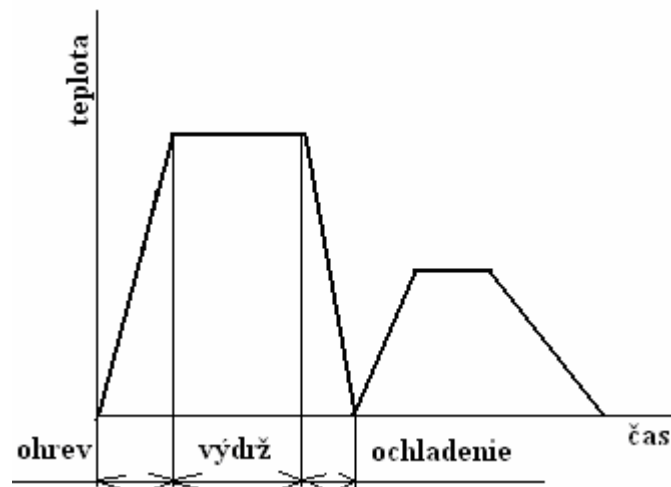
- *ocle chrómové k cementovaniu* – obsahujú až 1,3 % chrómu. Všeobecne sa používajú sa na značne namáhané súčasti. Vhodná je ocel' 14 220 legovaná Mn - Cr, ktorá ma veľmi tvrdú cementovanú vrstvu a veľkú pevnosť jadra po kalení, je veľmi dobre tvárna za tepla a po žíhaní i za studena, dobre obrábateľná a zväratelná.

Ocele konštrukčné legované triedy 15

Sú legované prísadovými prvkami, kde ich špecifické vlastnosti sa získavajú kombináciou prvkov. Sú vhodné k zušľacht'ovaniu, majú vysokú medzu pevnosti a klzu, zvýšenú odolnosť proti korózií. Vhodná je oceľ 15 221 legované Cr – Mo, ktorá ma dobrú obrobitel'nosť, tvárnosť za tepla i studena.

3.3 Tepelné spracovanie

K tomu aby sme dosiahli požadované mechanické i technologické vlastnosti, zarad'ujeme do technologického procesu tepelné spracovanie. Ide o riadený pochod, pri ktorom je súčasť podrobená niekoľkým tepelným cyklom, aby sa dosiahlo požadovanej štruktúry materiálu a tým i vlastností. Cyklus tepelného spracovania sa skladá z ohrevu, výdrži na teplote a ochladenie. Grafický sa znázorňuje v súradniciach $x = \text{čas } t$, $y = \text{teplota } T$ obr. 16.



Obr. 16 Obecný cyklus tepelného spracovania

Ohrev na teplotu môže byť:

- Stupňovitý – ohrev s prestojmi, pri ktorých sa má vyrovnat' teplota povrchu a jadra materiálu a zmenšiť tak tepelné pnutie.
- Priami – plynulý ohrev na požadovanú teplotu. Nehrozí vznik teplotných pnutí, pretože rozdiel teploty na povrchu a v jadre je malý.

Rýchlosť ochladzovania z teploty výdrže ovplyvňuje predovšetkým výsledné vlastnosti spracovávaného materiálu. Rýchle ochladenie sa používa u tvorby presýteného tuhého roztočného a u kalenia, pomalé ochladzovanie je základným znakom žihania.

U aerifikačných nožov je snahou dosiahnuť požadované mechanické vlastnosti najmä pevnosť nožov ako celku, húževnatosť predovšetkým jadra aby nôž odolával silovému pôsobeniu pri prevzdušňovaní pôdneho substrátu, tvrdosť povrchu noža, aby odolával najmä opotrebeniu vznikajúcemu pôsobením ílových a kremičitých častí pôdy, ktoré pri pohybe noža pôsobia ako brusivo s negatívnym účinkom opotrebovania. [22]

K tomu aby boli dosiahnuté tieto vlastnosti sa používajú i vzhľadom na už spomenuté ocele, najmä tieto spôsoby tepelného a chemicko tepelného spracovania:

1. Kalenie
2. Popúšťanie
3. Cementovanie

3.3.1 Kalenie

Kalenie je spôsob tepelného spracovania, ktorého cieľom je dosiahnutie nerovnovážnych stavov ocelí (odlišného stavu od rovnovážneho stavu). Skladá sa z ohrevu na kaliacu teplotu, výdrže na tejto teplote a ochladzovanie rýchlosťou väčšou ako je rýchlosť kritická.

Podľa štruktúrneho zloženia kalenie rozdeľujeme :

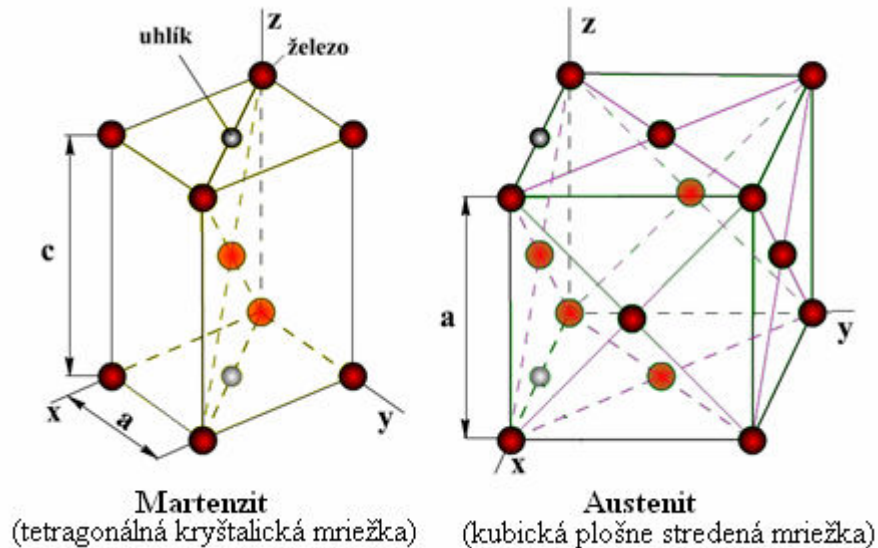
- kalenie martenzitické
- kalenie bainitické

U týchto spôsobov kalenia sa k dosiahnutiu požadovaných vlastností a výslednej štruktúry používa rôznych variant pretržitého i nepretržitého ochladzovanie z kaliacej teploty. Cieľom rôznych variant je predovšetkým znížiť úroveň vnútorných pnutí a obmedziť deformáciu kaleného materiálu, poprípade zabrániť vzniku kaliacich trhlín. [23]

Martenzitické kalenie

Účelom je získanie vysokej tvrdosti a odolnosti proti opotrebeniu, čo je hlavným cieľom pri výrobe aerifikačných nožov. Martenzitická premena je bezdifúzny spôsob premeny,

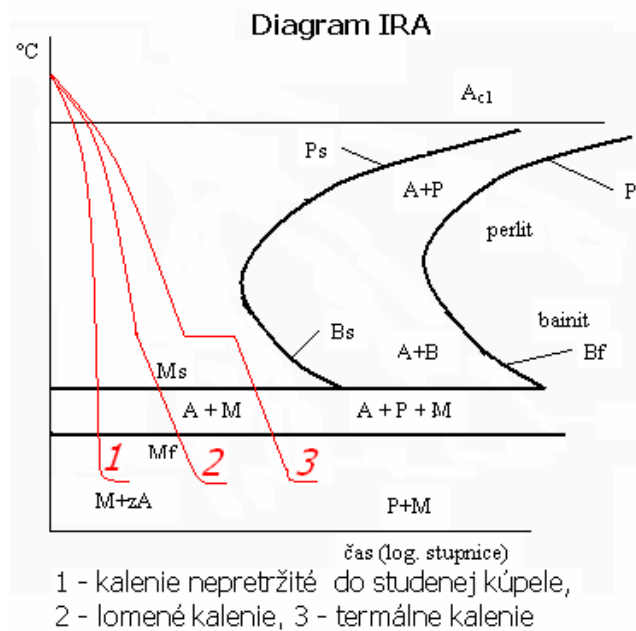
kedy sa austenit prechladí až do oblasti nízkych teplôt, kde nie je možná difúzia substitučných a intersticiálnych prvkov a austenit sa bezdifúzne mení v martenzite, čo je nerovnovážny presýtený roztok uhlíku v železe α . Martenzit má tetragonálne priestorovo strednú mriežku a jeho tvrdosť je vyššia ako tvrdosť východzej fázy.



Obr. 17 Mriežky martenzitu a austenitu

Pri martenzitickom kalení je dielec ochladení tak rýchlo, aby ochladzovacie krivky povrchu i stredu súčiastky neprešli krivky počiatku difúzneho rozpadu austenitu. Kaliace teploty podeutetoidných ocelí ležia 30°C až 50°C nad A_3 , nadeutektoidné ocele sa kalia z teplôt 30°C až 50°C nad A_1 . Po zakalení vzniká u podeutetoidných ocelí martenzit s podielom zbytkového austenitu u nadeutektoidných ocelí vzniká martenzit s väčším podielom zbytkového austenitu a nerozpustený sekundárny cementit, ktorý zlepšuje odolnosť voči opotrebeniu.

Druhy kalenia:



Obr. 18 Priebehy jednotlivých druhov kalenia

Z hľadiska dosiahnutia martenzitickej štruktúry, sú vhodné tieto druhy kalenia:

Kalenie do studenej kúpele (krivka 1) – ochladzovacie prostredie tvorí (voda, olej, vzduch). Ide o najjednoduchší a najčastejšie používaný spôsob kalenia, ktorý má jednoduchý technologický spôsob a nízku cenu, ale jeho hlavným nedostatkom je vysoké vnútorné pnutie a následné deformácie až praskanie kalených predmetov.

Prerušované (lomené) kalenie (krivka 2) - spočíva v rýchlom ochladení až na teplotu tesne nad M_s , ktoré zabráni perlitickej premene a následne nato sa predmet premiestni do miernejšieho ochladzovacieho média, v ktorom prebehne martenzitická premena

Kalenie do teplej kúpele (termálne, krivka 1) - ochladzovanie prebieha v prostredí, ktorého teplota obvykle leží tesne nad teplotou M_s kalenej oceli. Nasleduje výdrž na tejto teplote, čo vedie k potlačeniu teplotného pnutia už pred kalením. Výdrž však nesmie presiahnuť inkubačnú dobu ku vzniku bainitu. Potom nasleduje ochladenie (spravidla na vzduchu), pri ktorom prebehne martenzitická premena. Termálne kalení je vhodné najmä u výrobkov zhotovených z legovaných ocelí s dostatočnou stabilitou austenitu nad teplotou M_s , alebo u menších tenkostenných a tvarovo zložitých výrobkov z uhlíkových alebo nízkoalegovaných ocelí.

Ďalším často používaným druhom kalenia, k dosiahnutiu povrchovej tvrdosti daného materiálu je:

Povrchové kalenie – ide o zvláštny technologický postup martenzitického kalenia. Zakalí sa iba povrch súčasti a stred si zachováva pôvodnú štruktúru. Vysoká tvrdosť povrchu pri veľkej húževnatosti jadra s menšou tvrdosťou sa vyžaduje hlavne u súčastí, ktoré majú mať vysokú odolnosť proti opotrebeniu, zvýšenú odolnosť voči dynamickému namáhaniu a zvýšenú medzu únavy. Pozostáva z rýchleho ohrevu, (ktorý môže byť docielený plameňom alebo v indukčnej peci) povrchovej vrstvy súčasti na kaliacu teplotu a z následného rýchleho ochladenia, pri ktorom sa v povrchovej vrstve premení austenit na martenzit. [24]

3.3.2 Popúšťanie

Po každej kaliacej operácii je nevyhnutné aby v technologickom postupe nasledovalo popúšťanie a to najmä z dôvodu, že vnútorné pnutia by mohli viesť k popraskaniu zakaleného predmetu už po vytiahnutí z kaliaceho prostredia. Popúšťanie sa skladá z ohrevu na teploty nižšie ako A_1 , výdrži na tejto teplote a z nasledujúceho ochladzovania vhodnou rýchlosťou. Podľa výšky popúšťacej teploty, ktorá má rozhodujúci vplyv na rozsah štruktúrnych zmien a súvisiacich zmien mechanických vlastností, sa rozlišuje popúšťanie pri nízkych a vyšších teplotách.

Popúšťanie pri nízkych teplotách uskutočňuje sa spravidla v rozmedzí teplôt 100°C až 300°C (u vysokolegovaných nástrojových ocelí až asi 600°C). Jeho cieľom je znížiť hladinu vnútorných pnutí, zmenšiť obsah zostatkového austenitu a stabilizovať rozmery súčasti pri zachovaní vysokej tvrdosti. Používa sa najmä u nástrojových ocelí, u konštrukčných ocelí je toto popúšťanie menej časté. Popúšťacie prostredie býva vriaca voda, teplá olejová vaňa, solné kúpele, elektrické pece atd.

Popúšťanie pri vysokých teplotách (anizotermické zušľachtovanie) – rozsah teplôt býva v rozmedzí 400°C až 650°C a používa sa k dosiahnutiu optimálnej kombinácie pevnostných vlastností medze pevnosti, húževnatosti a plasticity. Uvedená kombináciu vlastností zaručuje bainitická štruktúra, ktorá vzniká v 3., respektíve 4. štádiu popúšťania.

V určitých oblastiach však pri popúšťacích teplotách nie je sprevádzajúci pokles pevnostných charakteristík odpovedajúci zvýšeným hodnotám húževnatosti. Tento pokles húževnatosti býva označovaný ako popúšťacia krehkosť. [25]

3.3.3 Cementovanie

Je chemicko-tepelný spôsob, pri ktorom dochádza k nasycovaniu povrchu súčasti uhlíkom tak, aby ju bolo možné po ukončení pochodu zakaliť na vysokú tvrdosť. Jadro pritom ostane húževnaté. Cementovať je možné v prostredí plynnom, kvapalnom i sypkom.

Cementovanie v plynnom prostredí – využíva sa tu reakcia oxidu uhoľnatého ($2 \text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{C}$) alebo rozpadu metánu ($\text{CH}_4 \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{C}$), kde C je rozpustený v austenitu. V sústave sýtiaca atmosféra– sýtený materiál po určitej dobe vznikne ustálený rovnovážny stav, ktorý pri konštantnom tlaku závisí iba na teplote. Sýtenie povrchu prebieha pri teplote okolo 900°C . Cementovanie v plynnej atmosfére je rýchlejšie ako v sypkej hmote, výhodou je tiež čistý povrch súčasti.

Cementovanie v kvapalnom prostredí – prevádza sa v kyanidových kúpeľoch. Nasycovanie prebieha veľmi rýchle a rovnomerne.

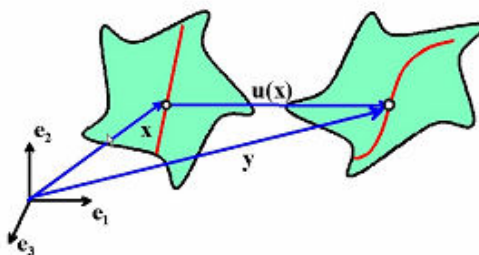
Cementovanie v sypkom prostredí – prevádza sa v zmesi, ktorej hlavnými zložkami sú drevené uhlie a uhličitan barnatý BaCO_3 . Dielce sa vkladajú do nádoby, zasypú sa zmesou, nádoba sa uzavrie a vloží sa do pece. Pri ohreve sa z dreveného uhlia uvoľňuje oxid uhličitý, reaguje na oxid uhoľnatý a ten sa rozpadá na uhlík a ďalší oxid uhličitý. Cementačné teploty sa pohybujú kolem 800°C až 950°C . Dobu výdrže na teplote je nutné voliť podľa požadovanej hrúbky cementovanej vrstvy, ktorej hrúbku možno dosiahnuť do 2 až 3 mm. Po cementovaní vždy nasleduje kalenie. [26]

4 MECHANICKÁ ANALÝZA

Pri konštruovaní súčiastok namáhaných či už tepelne alebo mechanicky je veľmi vhodnou a v poslednej dobe aj čoraz častejšie využívanou podpornou metódou tzv. FEM (Finite Element Method) modelovanie, čo znamená modelovanie pomocou metódy konečných prvkov. Použitím metódy konečných prvkov (MKP) je možné pomocou programov (napr. ANSYS, ABAQUS, COSMOS, INVENTOR, CATIA a ďalšie) simulovať zaťaženie súčiastky a vypočítať tak pôsobenie zaťaženia v objeme súčiastky. Jedná sa najmä o distribúciu napätí a nájdenie najkritickejších miest s vysokou lokálnou hodnotou napätia (napr. ostré hrany, skoková zmena prierezu súčiastky, atď.).

4.1 Vznik metódy

Pri matematickom modelovaní inžinierskych úloh v mechanike poddajného telesa vznikali zložité, často neriešiteľné systémy obyčajných alebo parciálnych diferenciálnych rovníc. Na základe toho vyplynula potreba vývoja numerických počítačovo orientovaných metód, ktorými by sa tento problém zvládol. MKP začali súčasne vyvíjať matematici R. Courant, fyzici J.L. Synge a inžinieri J.H. Argyris a S. Kelsey. Významné prvotné publikácie z počiatku rozvoja MKP publikovali J.H. Argyris, O.C. Zienkiewicz a Y.K. Cheung. Názov metódy stanovil R.W. Clough. Prudký rozvoj MKP začal počiatkom 60-tych rokov minulého storočia. MKP sa v počiatkoch rozvíjala len pre oblasť mechaniky pevných a poddajných telies. Ukázalo sa však, že je ju možné použiť aj na riešenie iných tried úloh, ako je: teplotné pole, prúdenie plynov a kvapalín, elektrina a magnetizmus, žiarenie a prenos hmoty, viazané úlohy, analýzy mikro a nanoštruktúr, atď. V súčasnosti patrí medzi najuniverzálnejšie, najrozšírenejšie a najefektívnejšie numerické metódy riešenia inžinierskych úloh, resp. v mechanike tuhých telies k popisu a riešeniu posunutia poľa, zaťaženého vonkajšími silami. [27]



Obr. 19 Stav deformácie a posunutia poľa

4.2 Metóda konečných prvkov (FEM)

Je počítačovo orientovaná metóda riešenia úloh v teórii poľa (silového, deformačného, elektrostatického, elektromagnetického, teplotného, rýchlostného, atď.). Ide o približnú metódu riešenia systému parciálnych diferenciálnych rovníc (diferenciálne rovnice rovnováhy, diferenciálne rovnice vedenia tepla, elektrického prúdu, elektromagnetickej indukcie atď.)

4.2.1 Princíp metódy

Základným krokom metódy je rozdeliť ľubovoľný mechanický (rám, nosník, dosku) alebo iný systém na konečný počet prvkov, obvykle geometricky jednoduchých (úsečka, trojuholník, obdĺžnik, hranol), ktoré sú navzájom pospájané uzlovými bodmi, ktoré môžu ležať na hranici prvku alebo vo vnútri prvku.

Počiatočný stav telesa (silový, deformačný, teplotný) sa popíše funkcionálom (funkcia funkcií), ktorý obsahuje príslušné známe i neznáme stavové veličiny (sily, napätia, deformácia, počiatočná teplota, tlak, rýchlosť pohybu,...) na určitej oblasti (povrch alebo objem telesa).

Pre silové pole platí: Potenciálna energia (energia napätosti vnútorných síl + práca vonkajších síl) nadobúda v rovnovážnom stave minimálnu hodnotu. Treba nájsť také hodnoty neznámej veličiny v bodoch telesa (posunutie, teplota, rýchlosť), ktoré robia daný funkcionál stacionárnym. Spravidla ide o hľadanie minima funkcionálu pre dané počiatočné a okrajové podmienky. Hľadaním stacionárnych hodnôt funkcionálov sa zaoberá variačný počet. [28]

Vstupom pre FEM: počiatočný mechanický stav telesa, počiatočné a okrajové podmienky.

Výstupom z FEM okamžitý stav telesa (deformácia a napätosť v bodoch telesa, rozdelenie teploty, rýchlosť pohybu, vlastné tvary a vlastné frekvencie systému)

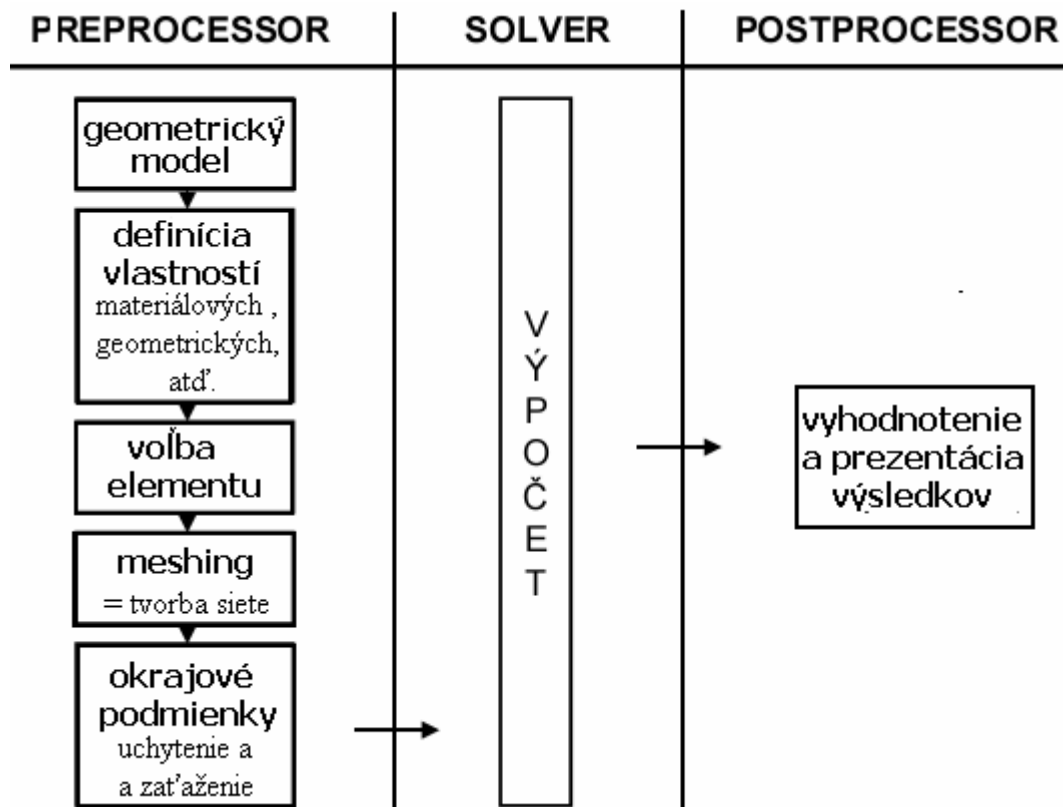
Základné typy FEM

Metóda konečných prvkov môže riešiť dva základné typy modelov a to:

- Statický , ktorý predstavuje rovnováhu vnútorných a vonkajších síl pôsobiacich na teleso (nezávislosť na čase) $\Sigma F = 0$
- Dynamický, predstavuje napr. vibrácie, šírenie vln, rýchle deje, explózie, rázy (závislosť na čase) $\Sigma F = m \cdot a$, teda výslednica síl je daná súčinom hmotnosti telesa a jeho zrýchlenia. [29]

4.2.2 Postup tvorby FEM analýzy podporou CAE

Tvorbu analýzy môže realizovať v jednom už spomínaných softwarov, kde postup tvorby zobrazuje (obr. 20). Preprocessor znamená v danom programe zadanie vstupných parametrov, z hľadiska informačnej technológie predstavuje skriptovací jazyk. Solver predstavuje v programe riešiteľ a, rôznych matematických funkcií, ktoré vo výsledku vyhodnotí postprocessor, ktorý vygeneruje vypočítané hodnoty analýzy.

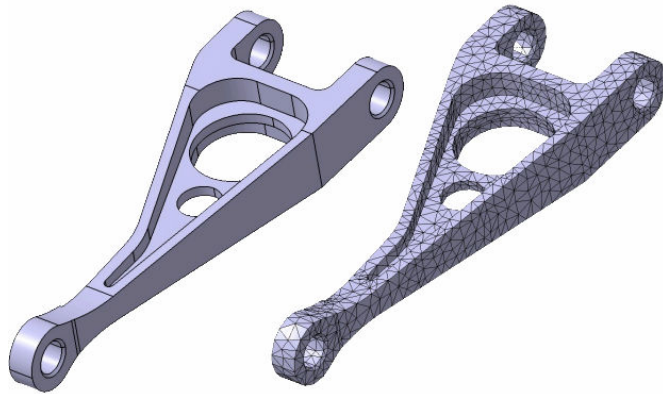


Obr. 20 Postup tvorby FEM analýzy

Geometrický model a FEM model

Pri tvorbe FEM mechanickej analýzy vychádzame z vytvoreného geometrického objemového alebo plošného modelu za podpory niektorého CAD systému. Po nadefinovaní materiálových, geometrických prípadne teplotných vlastností, prichádza na rad vytvorenie FEM modelu (obr. 21). FEM model pozostáva z vytvorenie siete (Mesh), ktorá je charakteristická jednotlivými úsečkami pospájanými do uzlových bodov. Uzlové body majú nasledovné parametre:

- Číslo
- Súradnice
- Stupne voľnosti (posunutie, rotácia, teplota, elektrické napätie...)



Obr. 21 Geometrický a FEM model

Vzniknutá sieť pospájaná v uzlových bodoch, vytvára na telese elementy, ktoré rozdeľujú teleso na jednotlivé základné oblasti a majú charakteristické parametre ako:

- Číslo
- Pripojené uzly
- Interpolácie (lineárne alebo kvadratické)
- Integročné body
- Materiálové vlastnosti (závislosť napätia na deformácií)
- Tvar (priamka, trojuholník, štvorhran, štvorsten, šesťsten), špeciálne typy elementov ako (BEAM – nosník, SHELL – škrupina...) [30]

4.3 Riešenie rovníc FEM analýzy

V FEM metóde sa integrálny tvar DR - spravidla funkcionál potenciálnej energie- vyjadri ako suma potenciálov jednotlivých elementov

$$\Pi = \sum_e \Pi^e = (\varphi^e(x, y, z)) \quad (1.1)$$

Tento potenciál je funkciou náhradných funkcií prvkov obsahujúcich neznáme voľné koeficienty. Náhradné funkcie prvku sú spravidla polynómy, a ich stupeň k závisí na počte jeho uzlových bodov. Napr.:

$$\varphi^e(x, y, z) = \sum_{k=1}^n N_k(x, y, z) \cdot \varphi_k^e \quad (1.2)$$

kde $N_k(x, y, z)$ sú tzv. tvarové funkcie, a φ_k^e sú neznáme hodnoty riešeného poľa v uzlových bodoch elementu (voľné parametre tvarových funkcií). Implementáciou (1.2) do (1.1) dostaneme funkcionál vyjadrený v závislosti od neznámych hodnôt hľadaného poľa v uzlových bodoch všetkých elementov.

Minimalizáciou potenciálu (1.1) podľa týchto neznámych v uzlových bodoch

$$\frac{\partial \Pi(\varphi_k)}{\partial \varphi_k} = 0 \quad (1.3)$$

dostaneme pre všetky spomínané polia základný algebraický systém rovníc MKP v tvare

$$[K\{\varphi\}] = \{F\} \quad (1.4)$$

obsahujúci maticu poľa $[K]$. Stĺpcový vektor pravej strany $\{F\}$ obsahuje reakcie pôsobiace v uzlových bodoch vyvolávajúce reakcie - stĺpcový vektor uzlových neznámych $\{\varphi\}$. Matica poľa obsahuje spravidla geometrické parametre riešenej oblasti a jej materiálové vlastnosti. V mechanike pevných a poddajných telies je to matica tuhosti, v termokinetike je to matica tepelnej vodivosti, v elektrickom poli je to matica elektrickej vodivosti. [31]

4.3.1 Postup riešenia inžinierskej úlohy FEM

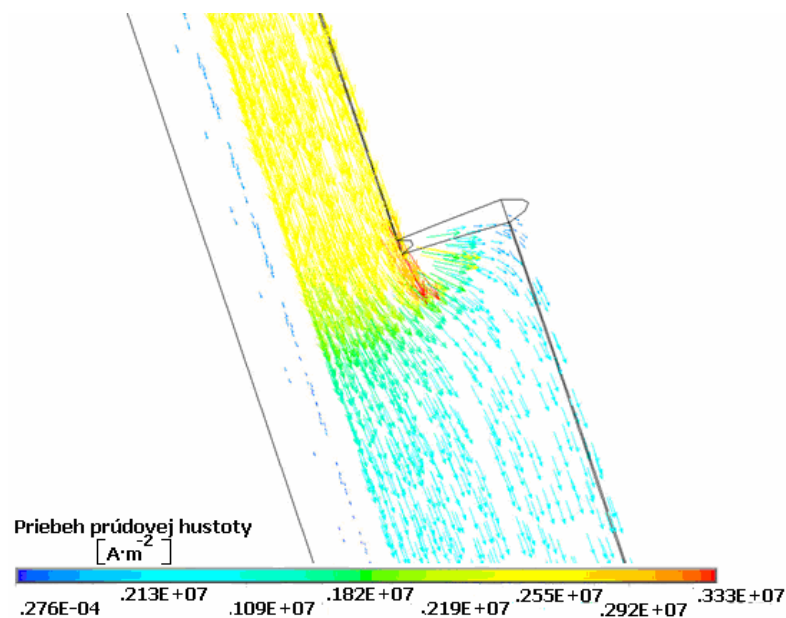
Postup riešenia inžinierskej úlohy FEM analýzou možno vyjadriť pomocou týchto bodov:

1. Zostavenie fyzikálneho modelu úlohy a definovanie podmienok jednoznačnosti riešenia;

2. Diskretizácia analyzovanej oblasti (teleso alebo sústava telies) na konečné prvky;
3. Identifikácia primárnych neznámych a voľba vhodných interpolačných (tvarových, náhradných) funkcií poľa;
4. Definovanie konštitutívneho vzťahu medzi akciami a reakciami riešeného poľa;
5. Odvodenie prvkových rovníc;
6. Odvodenie rovníc MKP pre celú riešenú oblasť a ich riešenie pre primárne neznáme;
7. Výpočet sekundárnych neznámych;
8. Interpretácia výsledkov riešenia a optimalizácia riešenej úlohy. [32]

4.3.2 Interpretácia výsledkov

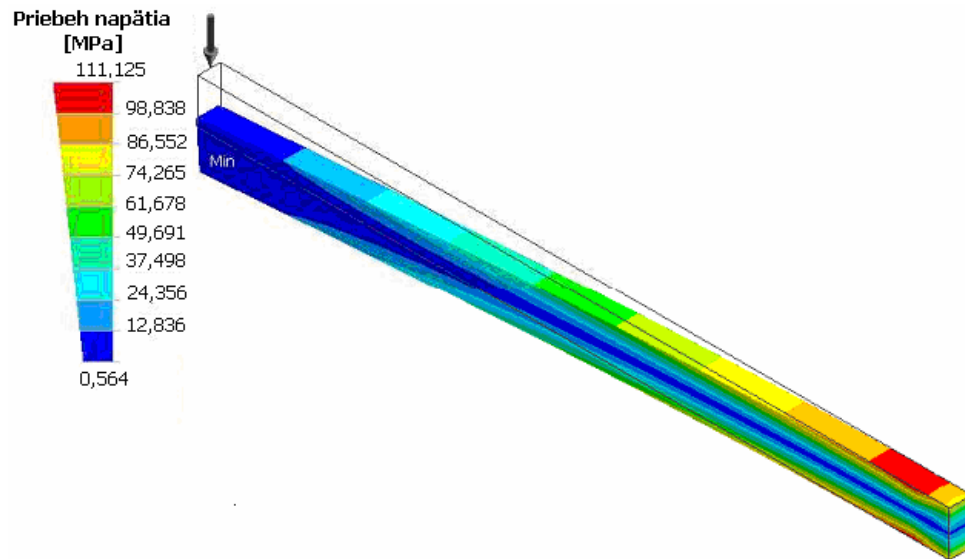
Výsledky analýz podáva Postprocessor programu FEM vo forme tabuliek, grafov, a grafických máp (izočiary, izoplochy, atď.). Úlohou riešiteľa je tieto výsledky klasifikovať a využiť ich na optimalizáciu riešeného problému.



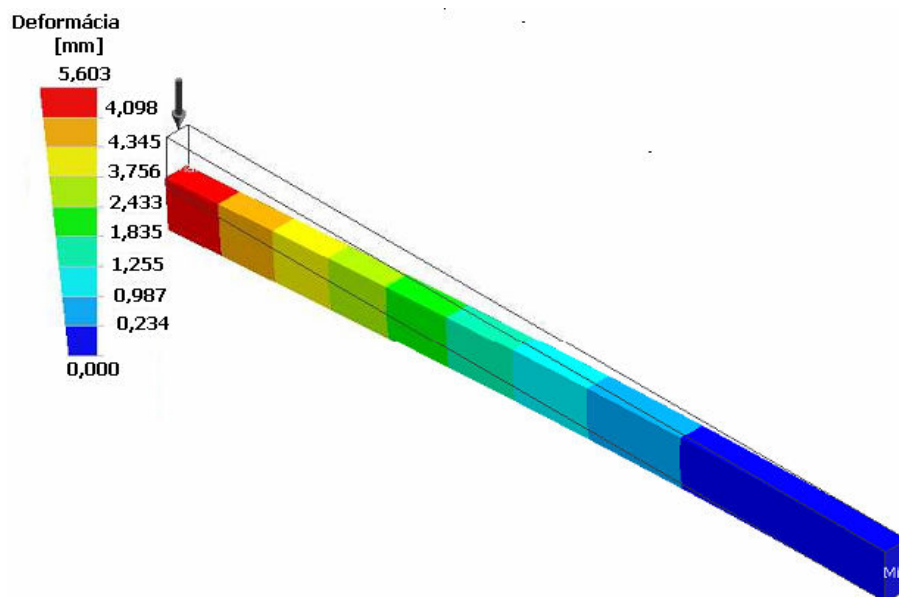
Obr. 22 Príklad výsledku prúdovej hustoty telesa

Tab. 2 Príklad priebehu napätia votknutého nosníka

Konštrukčné výsledky		
Názov	Minimum	Maximum
Ekvivaletné napätie	0,564 MPa	111,125 MPa
Deformácia	0 mm	5,603mm
Koeficient bezpečnosti	1,865	—



Obr. 23 Príklad výsledkov napätia votknutého nosníka



Obr. 24 Príklad výsledkov deformácie votknutého nosníka

II. PRAKTICKÁ ČÁST

CIELE PRAKTICKEJ ČASTI

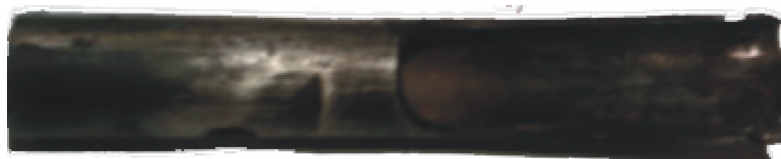
1. Previest' materiálovú analýzu poškodeného vzorku
2. Navrhnuť technologický postup pre výrobu aerifikačného noža
3. Navrhnuť ohýbacie zariadenie a určiť' sily potrebné pri ohýbaní
4. Navrhnuť vhodné tepelné spracovanie pre aerifikačné nože
5. Realizovať výrobu aerifikačných vzoriek
6. Previest' skúšku funkčnosti vzoriek aerifikačných nožov pri prevzdušňovaní

5 MATERIÁLOVÁ IDENTIFIKÁCIA PÔVODNÝCH NOŽOV

Keďže u poškodených nožov, nepoznáme materiál, jeho chemické zloženie a ďalšie vlastnosti, na základe ktorých, by sme mohli určiť vhodný alternatívny materiál k výrobe nových aerifikačných nožov, rozhodli sme overiť poškodené vzorky spektrálnou emisnou analýzou, ktorá nám určí chemické zloženie materiálu, na základe ktorého môžeme určiť druh materiálu týchto nožov.

5.1 Spektrálna emisná analýza pomocou Spektrometru LECO SA 2000

Toto zariadenie pracuje na základe spektrálnej emisnej iskrovej metódy, ako bolo už spomenuté v 2. kapitole. Táto analýza poškodeného vzorku (obr. 25.) prebehla v Metalurgickom laboratóriu firmy ZPS Slévárna Taimac Zlín. Postup analýzy bol nasledovný:



Obr. 25 Poškodený aerifikačný nôž

Príprava analyzovanej vzorky

Príprava spočíva v nasledovných krokoch:

- *čistenie povrchu analyzovanej plochy*: časť prípadne analyzovaná plocha musí byť zbavená všetkých povrchových nečistôt, mastnoty a korózie.
- *brúsenie pozorovanej plochy*: spočíva v mechanickom brúsení plochy brúsnym papierovým kotúčom, vybranej k pozorovaniu, aby bolo dosiahnutá rovná plocha s jemnou štruktúrou pozorovaného povrchu.

Analýza vzorky

Pri analýze sa pripravená vzorka vloží do meracej hlavice Spektrometru. Nasledovne prebehne meranie (identifikácia) pozorovanej plochy, ktorá musí byť väčšia ako 2 x 2 mm. Výsledkom merania je merací protokol, v ktorom je na základe zisteného percentuálneho zloženia jednotlivých prvkov v pozorovanom materiáli vyhodnotený druh materiálu (oce-

le) daného pozorovaného materiálu. V nasledujúcej tabuľke (tab. 3) je uvedený protokol o skúške, ktorého záverom je zistený druh materiálu podľa normy ČSN.

Tab. 3 Merací protokol emisnej spektrálnej analýzy

<u>PROTOKOL O ZKOUŠCE</u>									
						Číslo protokolu :			
						Počet listů : 1			
						List číslo : 1			
<u>Zákazník :</u>									
<u>Popis zkoušeného předmětu</u>									
Název : Aerifikačný nôž									
Materiál : ocel									
Datum přijetí zkoušeného předmětu : 16.11. 2009									
Datum provedení zkoušky : 16.11. 2009									
<u>Výsledky měření - hodnocení :</u>									
Odběr vzorku : zákazník									
Příprava vzorku : broušení									
<u>1. Chemické složení [%]</u>									
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	W
0,198	0,484	0,346	0,022	0,021	0,037	0,018	0,009	0,000	0,018
Ti	Co	Cu	Al	B	Pb				
0,005	0,005	0,017	0,010	0,000	0,002				
Validace provedena na : QCM: CE2, RM: RM-N									
Kvantometrický rozbor č. : 1									
Zkušební přístroj - metoda: LECO SA-2000 - OES (BULK)									
Zkoušku provedl : Jan Fojtik									
<u>2. Závěr</u>									
Chemické složení dodaného vzorku odpovídá materiálům ČSN 11 373 případně 12 024.									
Příloha: není									
Zlín dne: 16.11.2009									
Zpracoval: Jan Fojtik						Schválil : Ing. Petr Látal			
Uvedené výsledky zkoušek se týkají pouze předmětu zkoušek.									
Protokol o zkoušce nesmí být bez písemného souhlasu laboratoře reprodukován jinak než celý									

Vyhodnotenie meracieho protokolu:

Na základe prevedenej meracej skúšky a meracieho protokolu, bolo stanovené, že chemické zloženie pozorovanej vzorky podľa normy ČSN je oceľ triedy 11 373, alebo oceľ triedy 12 024. Takže pri návrhu nového materiálu môžeme vychádzať z materiálov určených skúškou, prípadne alternatívneho materiálu s podobným zložením a vlastnosťami.

5.2 Voľba druhu materiálu a polotovaru pre výrobu aerifikačných nožov

Zo získaných informácií o analyzovanom materiály, sme na základe dostupnosti na trhu, ceny a pôvodných rozmerov aerifikačných nožov rozhodli zvoliť pre výrobu aerifikačný nožov (skúšobných vzorkou) podľa normy ČSN ocel' triedy 12 022.

Tab. 4 Chemické a mechanické vlastnosti oceli 12 022

Skupina ocelí podle ČSN 42 0074	k chemicko - tepelnému spracovaniu							
Chemické složení (rozbor tavby) %	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
	0,13 až 0,20	0,60 až 0,90	0,15 až 0,40	max. 0,25	max. 0,30	max. 0,30	max. 0,040	max. 0,040
Dovolené úchytky chemického zložení v hotovém výrobku %	-0,02 +0,03	-0,05 +0,10	+ 0,03	-	-	-	-	-
Třída odpadu podle ČSN 42 0010	002							
Barevné označení ČSN 42 0010	zelená - bílá - fialová							
Druh oceli podle způsobu výrobku	martinská nebo elektroocel							
	uklidnená							
Výrobek	trubky bezešvé							
Provedení	valcovano za tepla							
Povrch	okujený							
Rozměrová norma	ČSN 42 5715							
Technický dodací předpis ČSN 42 0010	ČSN 42 0188							
Označení materiálu a stavu	12 022.1							
Stav	normalizačne žíhaný							
Najmenší mez kluzu Re: pri 20°C	Tloušťka [mm]	do 12	12-25	25-36	nad 36			
	N/mm ²	255	255	245	235			
Mez pevnosti Rm N/mm ²	441 až 568							
Nejmenší tažnost A %	1100/Rm ,avšak min 21							
Tvrđost podle Brinella HB	max. 175							

Pre výrobu vzorkou aerifikačných nožov bol zvolený polotovar RÚRKA Ø 21,3 x 2,9 - 1000 - ČSN 42 5723.01 – 12 022.1 – ČSN 42 0250.11 v počte kusov 2.

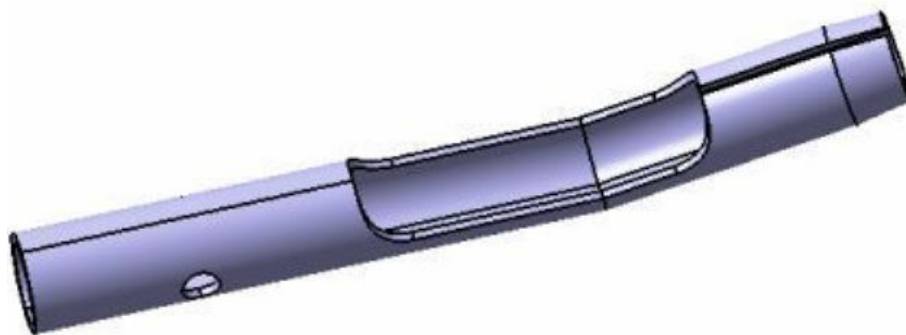
6 TECHNOLÓGIA VÝROBY AERIFIKAČNÝCH NOŽOV

Z hľadiska technológie výroby aerifikačného noža (obr. 26), ktorý má špecifický tvar je potrebné navrhnuť vhodný sled technologických operácií. Pri návrhu sme vychádzali z pôvodného tvaru.

6.1 Návrh technologických operácií výroby skúšobných vzorkou:

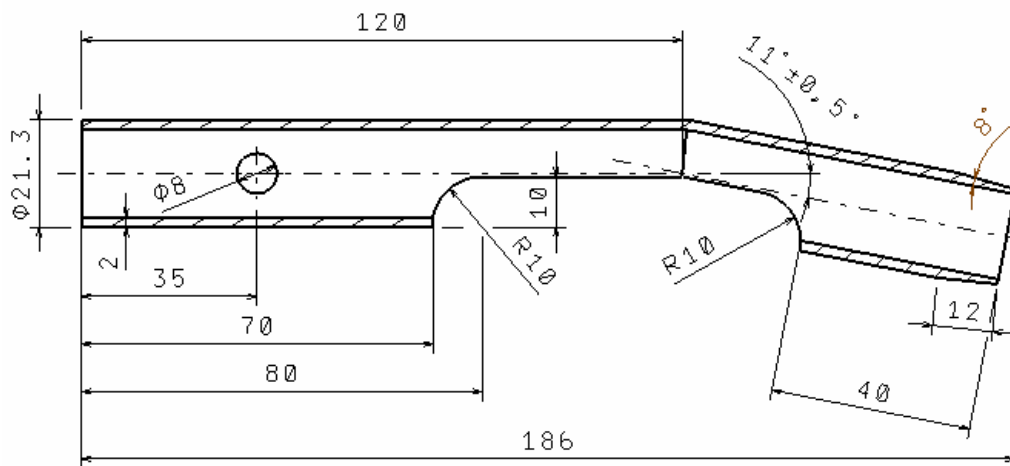
- Meranie rozmerov pôvodného noža
- Sústružnícke operácie
- Vŕtacie operácie
- Frézovacie operácie
- Ohýbacie operácie
- Tepelné spracovanie

K skúške vhodnosti zvoleného materiálu je potrebné vyrobiť 16 skúšobných vzorkou (obr. 26.) aerifikačných nožov, na ktorých bude neskôr prevedená funkčná skúška.



Obr. 26 Aerifikačný nôž

Keďže pre prevzdušňovacie zariadenie nie je možné navrhnuť iný profil a tvar nožov najmä z dôvodu uchytenia nožov (obr. 29), návrh inovácie vychádza z pôvodného tvaru nožov. Na základe tohto predpokladu ako prvý krok návrhu bolo zvolené meranie rozmerov pôvodných aerifikačných nožov za pomoci mechanických meradiel (posuvné meradlo, oblúkový uhlomer, rádiusové mierky), ako zobrazuje (obr.27).



Obr. 27 Rozmery aerifikačného noža

Pre výrobu vzorkou aerifikačných nožov bol z technologického hľadiska zvolený nasledujúci postup operácií, uvedený v (tab. 5). Všetky technologické operácie pre výrobu skúšobných vzorkou aerifikačných nožov v počte 16 ks boli prevedené na strojnom zariadení dielni UTB Zlín.

Strojné zariadenie dielni UTB Zlín:



a)



b)



c)

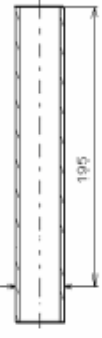
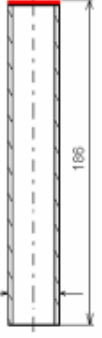
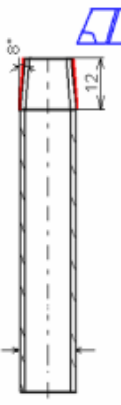
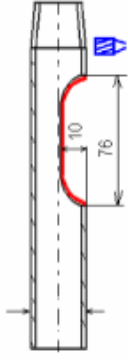
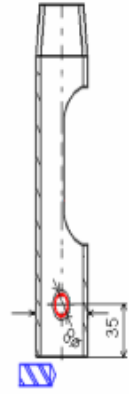
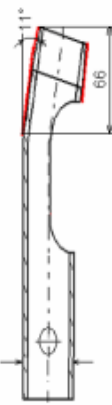
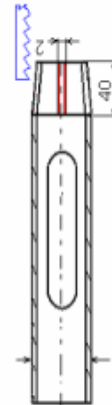
Obr. 28 Obrábacie stroje dielne UTB

a) Univerzálna frézka – **FHV-50PD**

b) Univerzálny hrotový sústruh – **TOS Žebrák S32**

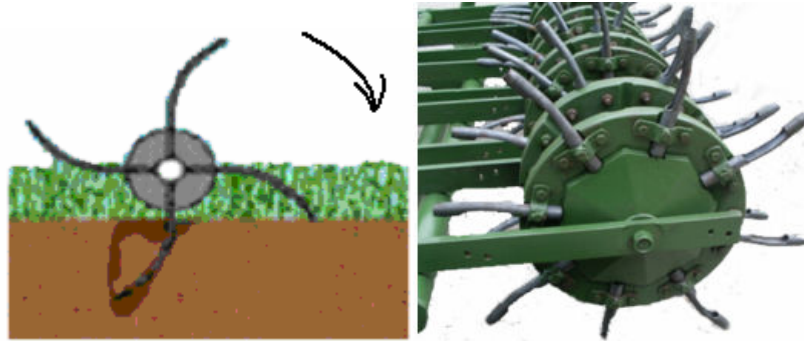
c) Pásová píla na kov- **PROMA PPK-175T**

Tab. 5 Návrh technologických operácií výroby vzorkou aerifikačných nožov

Technologický postup		Název súčiastky: <i>Aerif. nôž</i>	Stroj:	Náčrt	Materiál: 12 022	Počet kusov: 16 výroby: kusová	Rezné podmienky						
Číslo operácie	Číslo úseku						Stroj	Nástroj	Nástroj prípravky	v_c [m/min]	n_{vc} [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]
01	1	sústruh TOS - S32			upnúť polotovár na l = 195 mm								
02	1	sústruh TOS - S32			zarovnať čelo na l = 186 mm	priamy uberací nôž ČSN 22 3513		skúšobadlo	70	1046	0,09	0,5	1
03	1	sústruh TOS - S32			sústružiť ostrie na l = 12 mm, pod uhlom $\alpha = 8^\circ$	priamy uberací nôž ČSN 22 3513		skúšobadlo	70	1046	0,09	0,5	1
04	2	univerzálna frézka FHV - 50 PD			frézovať vybranie na l = 76 mm, do hĺbky h = 10 mm	čelná valcová fréza ČSN 22 2108		zverák	34	1082	0,22	0,5	20
05	2	univerzálna frézka FHV - 50 PD			vrtat otvor D = 8x21,3 mm	vrták s valcovou stopkou ČSN 22 1119		zverák	25,4	1010	0,12		1
06	3	ručný ohýbací nástroj			ohýbať pod uhlom $\alpha = 11^\circ$ na l = 66 mm	ohybník		ohýbací tm					1
07	4	pásová pila			rezať drážku s = 2mm na dĺžku l = 40 mm	pilový pás		zverák	35		40		1

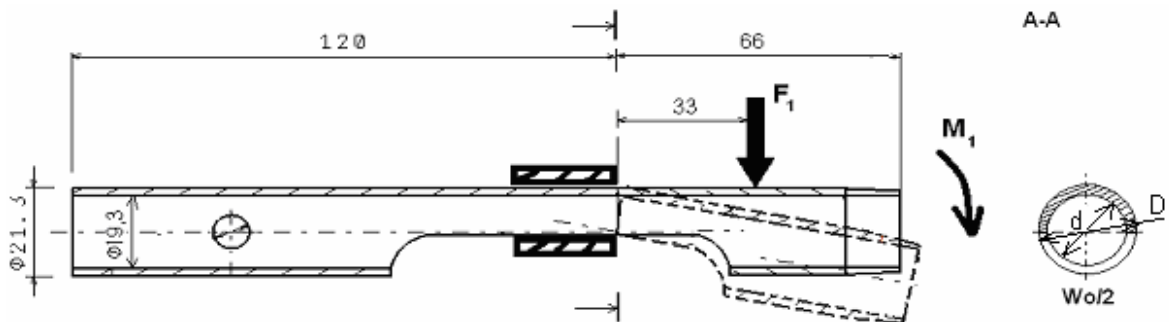
6.2 Návrh a výroba ručného ohýbacieho nástroja

K tomu aby prevzdušňovací nôž, ktorý je upevnený na liatinovom kruhovom kotúči kopíroval dráhu kruhového pohybu a tým ľahšie vnikal do pôdneho substrátu, je koniec noža (obr. 26) zahnutý o uhol 11° .



Obr. 29 Dráha pohybu a uchytenie aerifikačných nožov

6.2.1 Teoretický výpočet ohýbacej sily



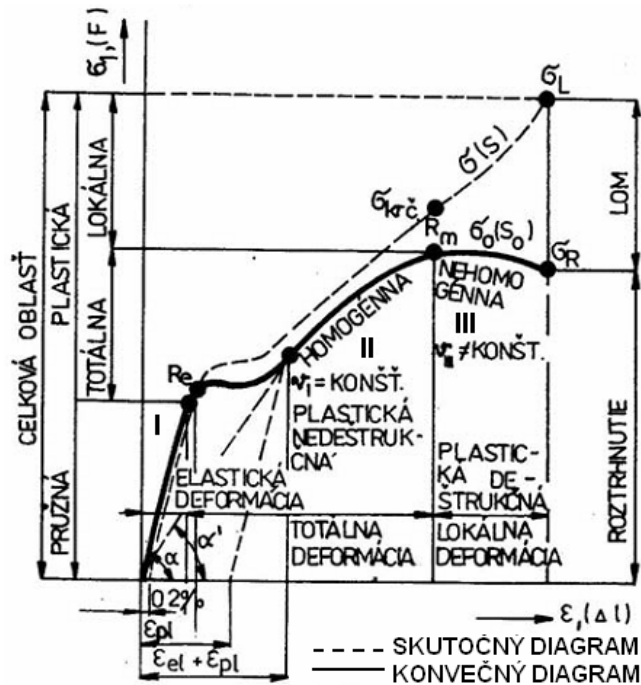
Obr. 30 Schéma ohýbania a pôsobenia ohýbacej sily

Pri návrhu ručného ohýbacieho zariadenia uvažujeme, že pôsobisko ohýbacej sily bude v polovici ohýbanej dĺžky. Pri ohýbaní bude časť noža pridržiavaná, tak aby bol zabránený pohyb voči posunutiu a natočeniu pri ohýbaní. Pri výpočte je potrebné stanoviť:

- ohýbaciú silu
- ohybový moment
- odpruženie

Ohýbacia sila:

Podľa normy ČSN 42 0074 sú pre materiál 12 022 (tab.4) hodnoty medze pevnosti $R_m = (441 - 568) \text{ N/mm}^2$ a ťažnosti $A = 1100/R_m \%$.



Obr. 31 Diagram ťahovej skúšky skutočného s konvenčného priebehu

Pre tvárnenie ocelí všeobecne využívame oblasť elastickej a plastickej deformácie (obr.31), ktorú tiež sprevádza pružná deformácia, ktorá má výrazný podiel najmä pri ohýbaní. Pri výpočte ohýbacej sily, by sme mali teda počítať s hodnotami napätia a pomerného predĺženia, ktoré sú vyvedené pri ohýbaní. Avšak z priebehu ťahovej skúšky pre materiál 12 022 podľa normy ČSN 42 0074 poznáme hodnoty medze pevnosti a % hodnotu ťažnosti, na základe ktorých prevedieme výpočet.

Výpočet

Podľa normy ČSN 42 0074 $R_m (441 - 568) \text{ MPa}$, zvolené $R_m = 450 \text{ MPa}$, $R_e = 255 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned}
 M_1 &= F_1 \cdot a_E = \frac{W_o}{2} \cdot R_e(1,3 + 0,8\varepsilon) & A &= \frac{\Delta L}{L_o} \cdot 100 = \varepsilon \\
 F_1 &= 0,1 \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{a_F} \cdot R_e(1,3 + 0,8\varepsilon) & A &= \frac{1100}{450} = 2,44\% \\
 F_1 &= 0,1 \cdot \frac{21,3^4 - 19,3^4}{21,3} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{33} \cdot R_e(1,3 + 0,8 \cdot 0,0024) & A &= \frac{\Delta L}{L_o} \cdot 100 = \varepsilon \\
 F_1 &= 1584,3 \text{ N} & A &= 2,44\% \Rightarrow \varepsilon = 0,00244
 \end{aligned}
 \tag{6.1}$$

kde M_1 je ohybový moment (Nmm)

F_1 – ohýbacia sila (N)

a_F – dĺžka ramena, na ktorom pôsobí ohýbacia sila (mm)

W_0 – prierezový modul (mm^3)

R_m – medza pevnosti (Mpa)

ε - pomerné predĺženie ()

A – ťažnosť (%)

ΔL - zmena dĺžky (mm)

L_0 – pôvodná dĺžka (mm)

Ohybový moment:

Výpočet

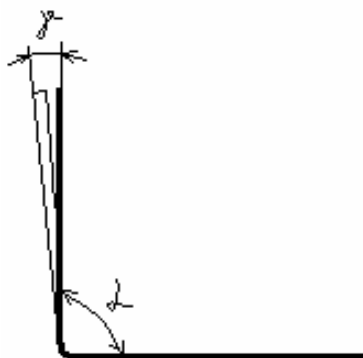
$$M_1 = F_1 \cdot a_F$$

$$M_1 = 1584,3 \cdot 33$$

$$M_1 = 52281,2 \text{ Nmm}$$

(6.2)

Uhol odpruženia:



Obr. 32 Uhol ohybu a odpruženia

Výpočet

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \gamma &= 0,375 \cdot \frac{\alpha_F R_e}{k t E} \\ \operatorname{tg} \gamma &= 0,375 \cdot \frac{33 \cdot 255}{0,52 \cdot 2 \cdot 2,1 \cdot 10^5} \\ \gamma &= 0,8278^\circ = 1^\circ \end{aligned} \quad (6.3)$$

kde a_F je rameno pôsobiacej ohybovej sily [mm]

γ - uhol odpruženia ($^\circ$)

α - uhol ohybu ($^\circ$)

R_e – medza klzu (MPa)

k - súčiniteľ závislý na pomere $R:t$ [47, st.243]

R - polomer ohybu (mm)

t - hrúbka steny noža (mm)

E – modul pružnosti oceli (MPa)

K vytvoreniu požadovaného ohybu aerifikačného noža, je potrebná ohybová sila o veľkosti $F_1 = 1584,3$ N a požadovaný uhol ohnutia $\alpha + \gamma = 12^\circ$.

6.2.2 Konštrukčný návrh ručného ohýbacieho nástroja

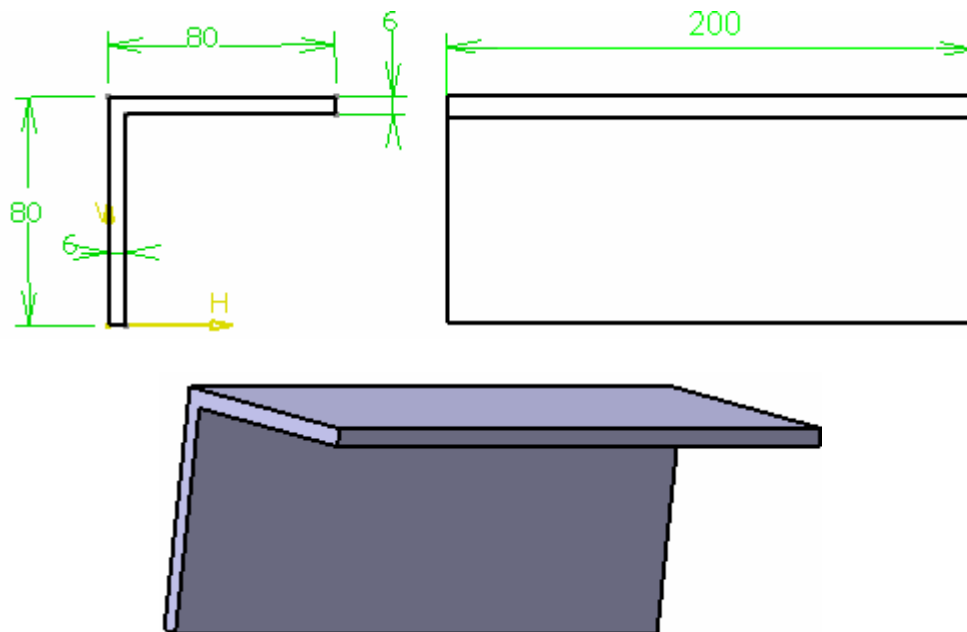
Kdeže ohybová sila nie je príliš veľká postačí k ohybu i ručný nástroj na princípe pákového mechanizmu. Nástroj bude pozostávať z jednotlivých komponentov a súčastí, ktoré po zvarení a montáži vytvoria funkčný celok.

Držiak nástroja

Pre držiak boli zvolené nasledovné rozmery a materiál (obr. 33):

Materiál: ČSN 11 343

Polotovar: Tyč L 80 x 80 x 6 – ČSN 42 5441.1



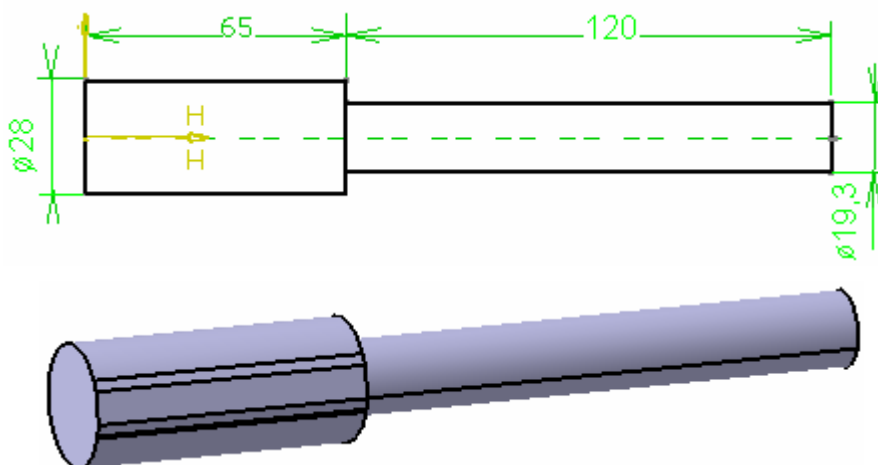
Obr. 33 Náčrt držiaka a 3D model

Ohýbací trň

Pre ohýbací trň boli zvolené nasledovné rozmery a materiál (obr. 33):

Materiál: ČSN 11 523

Polotovar: Tyč kruhová EN 10060 ϕ 28 x 190



Obr. 34 Náčrt ohýbacieho trňa a 3D model

Čap, puzdro a platňa ramena páky

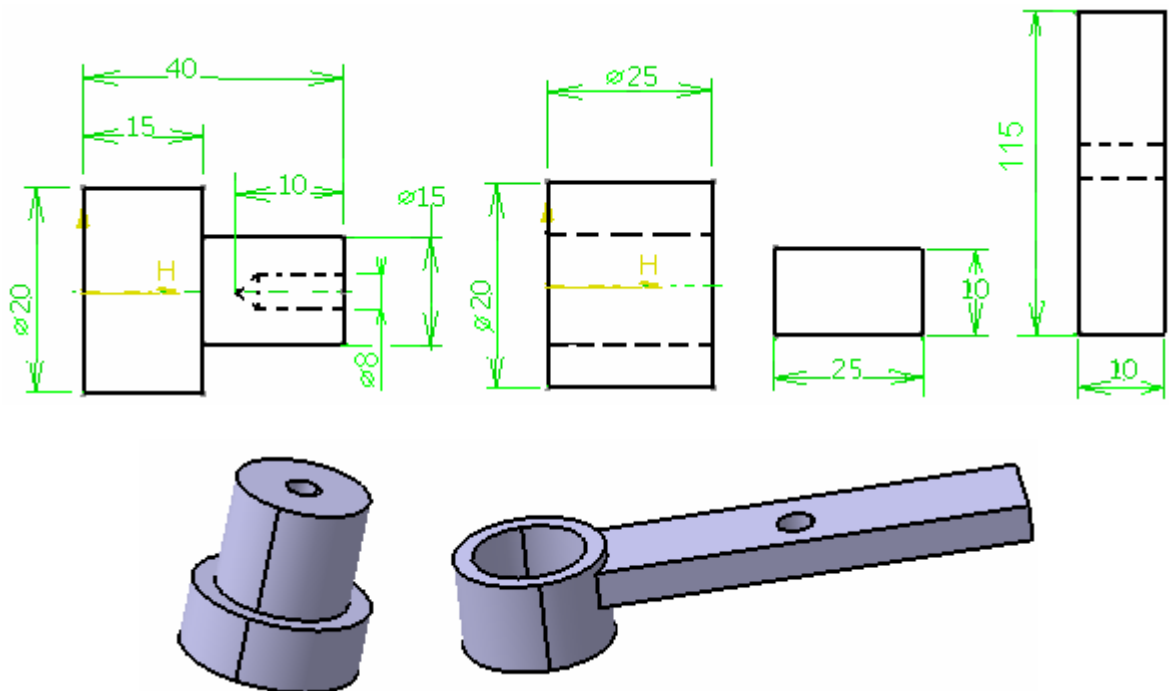
Pre tieto komponenty boli zvolené nasledovné rozmery a materiál (obr. 33):

Materiál: ČSN 11 373

Polotovar čapu: Tyč kruhová EN 10060 ϕ 20 x 45

Polotovar puzdra: Tyč kruhová EN 10060 ϕ 20 x 20

Polotovar platne: Tyč plochá 25x10x 120 ČSN 42 5522.01



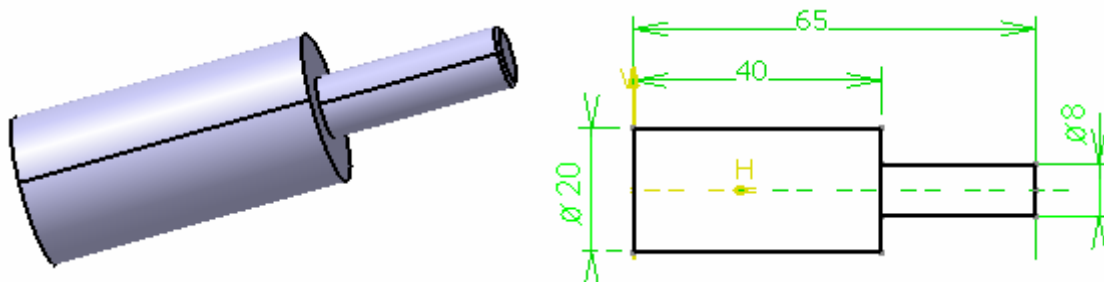
Obr. 35 Náčrt čapu, puzdra, platne páky a 3D modely

Ohýbací kolík

Pre ohýbací kolík boli zvolené nasledovné rozmery a materiál (obr. 36):

Materiál: ČSN 11 373

Polotovar: Tyč kruhová EN 10060 ϕ 20 x 70



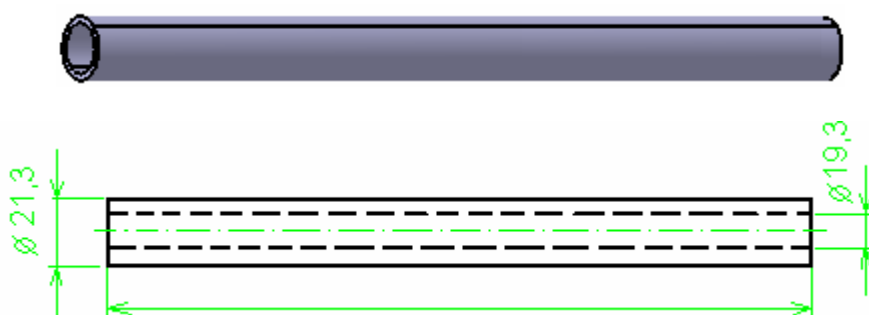
Obr. 36 Náčrt ohýbacieho kolíka a 3D modely

Páka ohýbacieho nástroja

Pre páku ohýbacieho nástroja boli zvolené nasledovné rozmery a materiál (obr. 33):

Materiál: ČSN 11 353

Polotovár: Rúrka ϕ 25 x 3,2 – ČSN 42 5723.01



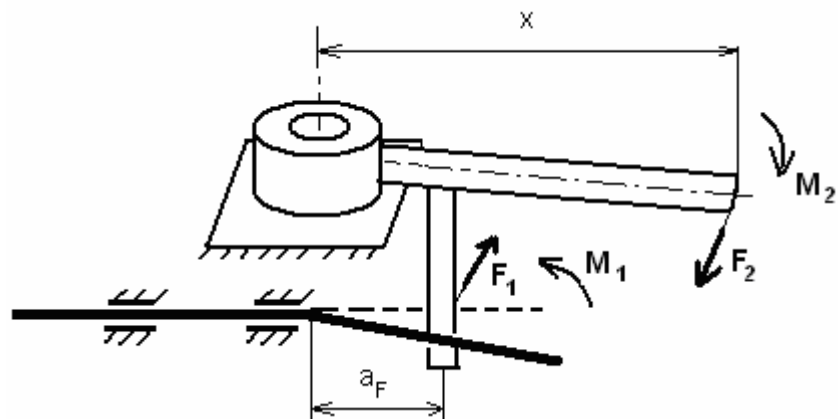
Obr. 37 Páky ohýbacieho nástroja a 3D modely

Pri ohýbaní musíme vyvinúť väčšiu silu na ramene páky ako je sila, ktorá je potrebná na ohnutie v mieste pôsobenia ohýbacieho kolíka na aerifikačný nôž (obr.35). Preto výpočtom stanovíme dĺžku páky ohýbacieho nástroja, tak aby ručné ohýbanie nebolo silovo náročné.

Musí platiť: $F_1 \cdot a_F < F_2 \cdot x$, potom aj $M_1 < M_2$

$F_1 = 21584,3 \text{ N}$ $F_2 = ?$

$M_1 = 52281,9 \text{ N}$



Obr. 38 Schéma pôsobenia sil na ohýbacom nástroji

Výpočet sily na ramene páky ohýbacieho nástroja:

$$F_1 \cdot a_F = F_2 \cdot x$$

$$F_2 > \frac{F_1 \cdot a_F}{x} = \frac{52281,2}{400} \quad (6.3)$$

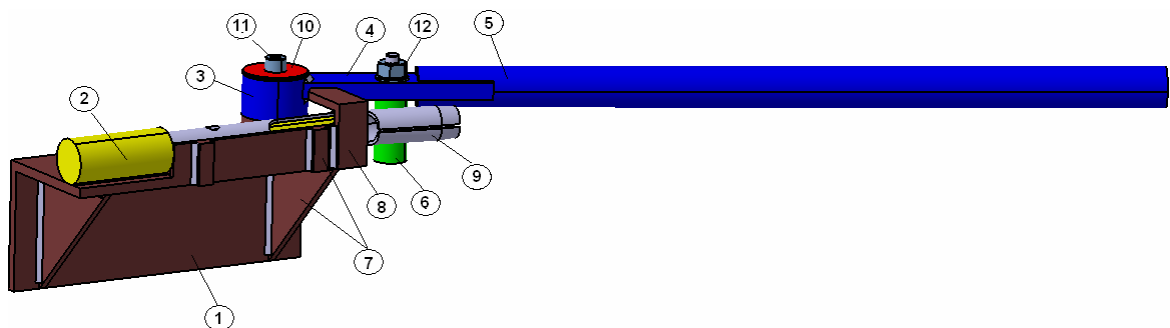
$$\underline{F_2 > 130 \text{ N}}$$

$x = 400 \text{ mm}$ – zvolené

kde F_2 je minimálna sila vyvinutá na ramene páky [N]

x – je dĺžka ramena páky

Pri ohýbaní vzorkou aerifikačných nožov na ručnom ohýbacom nástroji je potrebné vyvinúť na konci ramena páky ohýbacieho nástroja silu väčšiu 130 N.



1-držiak, 2-ohýbací trň, 3-čap a puzdro, 4-platna páky, 5-páka, 6-ohýbací kolík, 7-výstuže, 8-doraz, 9-aerifikačný nôž, 10-podložka, 11-skrutka, 12-matica

Obr. 39 Ohýbací nástroj

6.2.3 Kontrola ohýbacieho trňa nástroja na ohyb

Keďže ohýbací trň nástroja je najviac namáhaná časť nástroja pri ohýbaní, je potrebné skontrolovať nadimenzované rozmery tohto komponentu (obr.40)

Zvolený materiál pre ohýbací trň 11 523 je $\sigma_{Do} \approx Re = (284 - 490) \text{ MPa}$ podľa Strojníckych tabuliek [47, st.33]

Výpočet väzbových reakcií

$$\sum_i^n F_{i,x} = 0 \rightarrow R_{Ax} = 0 \text{ N}$$

$$\sum_i^n F_{i,y} = 0 \rightarrow -R_{Ay} + F_1 = 0 \rightarrow R_{Ay} = F_1 \quad (6.4)$$

$$F_1 = 1584,3 \text{ N} = R_{Ay}$$

kde R_{Ax} je reakcia pôsobiaca vo votknutí v smere x (N)

R_{Ay} – reakcii pôsobiaca vo votknutí v smere y (N)

$$\sum_i^n F_{i,y;x} - \text{výslednica síl v smere x, y (N)}$$

Výpočet ohybového momentu a napätia v mieste pôsobenia sily F_1 :

$$M_{o_1} = F_1 \cdot x_1 = 1584,3 \cdot 154$$

$$M_{o_1} = 242397,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{o_1} = \frac{M_{o_1}}{W_o} \quad (6.5)$$

$$\sigma_{o_1} = \frac{M_{o_1}}{\frac{\pi d_t^3}{32}} = \frac{32 M_{o_1}}{\pi d_t^3} = \frac{32 \cdot 242397,9}{\pi \cdot 19,3^2}$$

$$\sigma_{o_1} = 337,1 \text{ MPa}$$

kde F_1 je ohýbacia sila pôsobiaca na ramene x_1 (N)

x_t – je dĺžka trňa (mm)

x_1 – rameno sily F_1 (mm)

M_{o_1} – je ohybový moment od sily F_1 (Nmm)

σ_{o_1} - ohybové napätie vyvolané silou F_1 (Mpa)

W_o – prierezový modul kruhového profilu (Nmm³)

d_t – priemer trňa (mm)

Výpočet ohybového momentu a napätia na konci trňa :

$$M_{o_t} = R_{Ay} \cdot x_t - F_1 \cdot (x_1 - x_t) = 1584,3 \cdot 120 - 1584,3 \cdot (153 - 120)$$

$$M_{o_t} = 137834,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ot} = \frac{M_{o_t}}{W_o} \leq \sigma_{Do} \tag{6.6}$$

$$\sigma_{ot} = \frac{M_{o_1}}{\frac{\pi d_t^3}{32}} = \frac{32 M_{o_1}}{\pi d_t^3} = \frac{32 \cdot}{\pi \cdot 19,3^2}$$

$$\sigma_{ot} = 191,72 \text{ MPa}$$

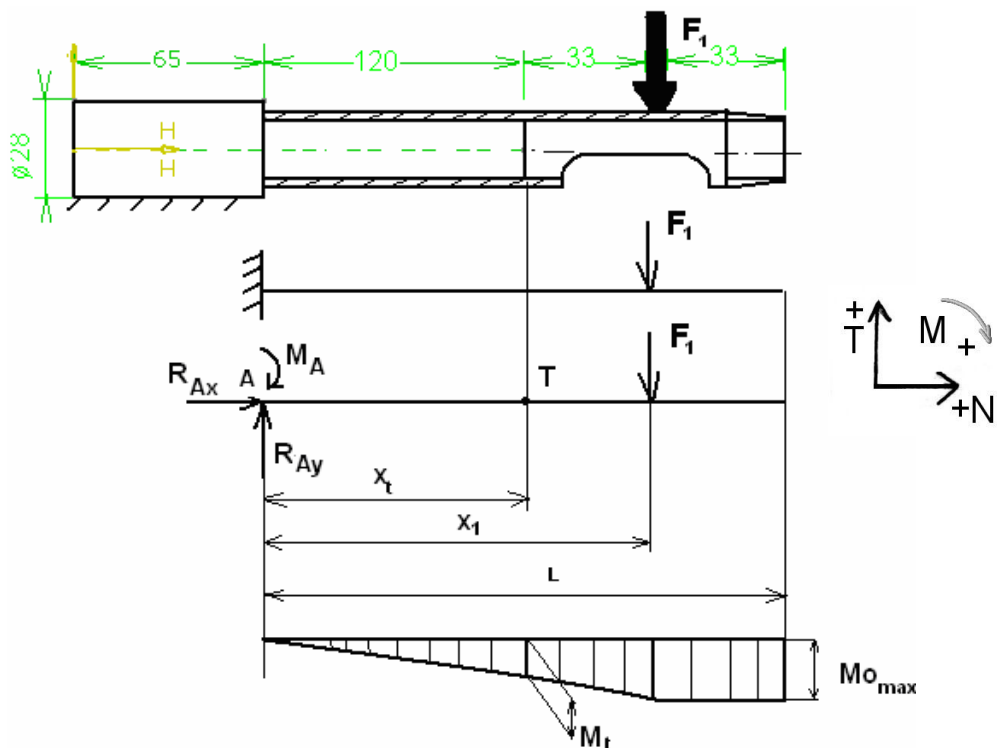
$\sigma_{ot} < \sigma_{Do} \Rightarrow$ zvolený materiál a rozmery vyhovujú zaťaženiu

kde R_{Ay} je sila pôsobiaca vo vŕtknutí v smere y (N)

M_{o_t} – ohybový moment vyvolaný na konci trňa (Nmm)

σ_{ot} - ohybové napätie pôsobiace na ohýbací trň (MPa)

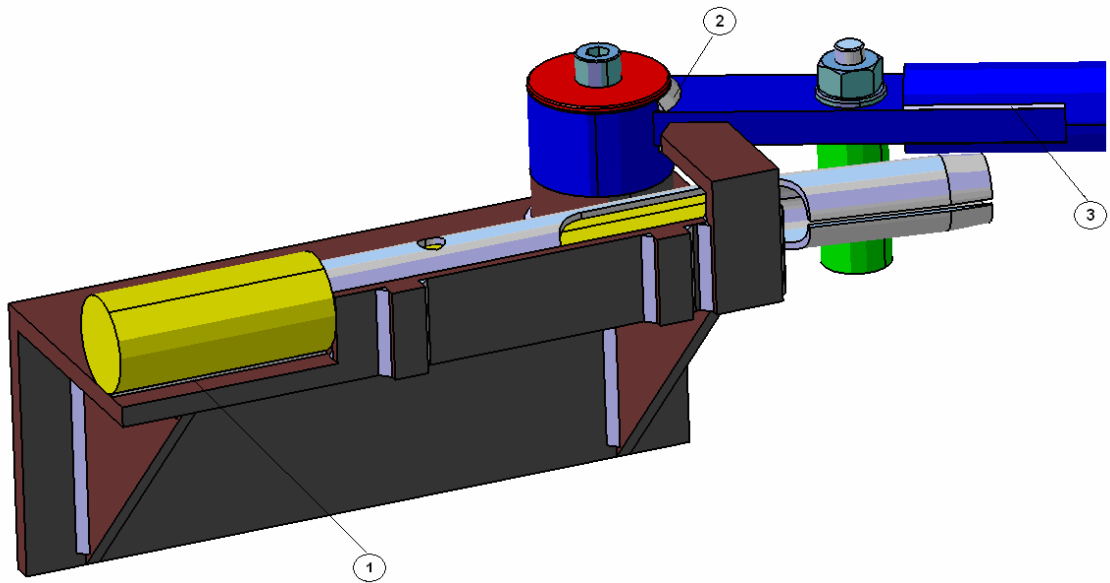
σ_{Do} - dovolené ohybové napätie (MPa)



Obr. 40 Priebeh ohybového momentu ohýbacieho trňa pri ohýbaní

6.2.4 Kontrola zvarových spojov najviac namáhaných častí

Ohýbací nástroj je vytvorený z jednotlivých komponentov, ktoré sú spolu zvarené. Zvarové spoje musia zaručiť pevnosť nástroja ako celku voči namáhaniu a silovému pôsobeniu na zvary komponentov, ktoré vzniká pri ohýbaní. Zvary označené na (obr.41) pozíciami 1,2,3 sú označené ako kritické, ktoré je potrebné skontrolovať.



Obr. 41 Zvarové spoje ohýbacieho nástroja

Kontrolný výpočet pre zvarový spoj 1

K vytvoreniu pevného spojenia medzi ohýbacím tŕňom a držiakom uvažujeme obojstranný kútový zvar (obr. 42) zaťažený cyklickým miznúcim zaťažením. Pre materiál 11 523 (materiál ohýbacieho tŕňa) je medza únavy $\sigma_c = 160 \text{ MPa}$, medza pevnosti $R_m = (441-667) \text{ MPa}$.

Ohybový moment a napätie zvarového spoja 1

$$M_{zv1} = F_1 \cdot x_1 = 1584,3 \cdot 153$$

$$M_{zv1} = 242397,9 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{zv} = \frac{M_{zv1}}{W_{O_{zv}}} = \frac{6 \cdot M_{zv1}}{sl^2} \quad l_1 = l_1' - 1,5z = 65 - 1,5 \cdot 3 = 60,5 \text{ mm} \quad (6.8)$$

$$\sigma_{zv} = \frac{6 \cdot 242397,9}{6 \cdot 60,5^2} = 66,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1zv} = 33,1 \text{ MPa}$$

kde M_{zv1} je ohybový moment pôsobiaci na zvar 1 (MPa)

F_1 - ohýbacia sila (N)

x_1 – rameno pôsobiacej sily F_1 (mm)

σ_{zv1} – ohybové napätie obojstranných zvarov 1(MPa)

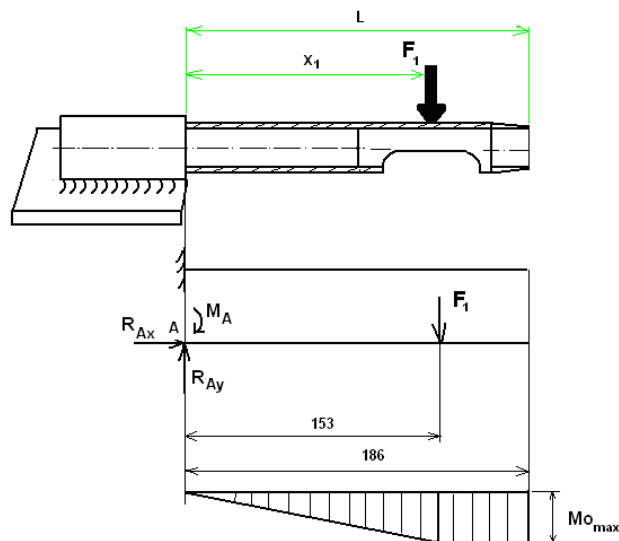
σ_{1zv1} – ohybové napätie 1 zvarového spojenia 1 (MPa)

$W_{O_{zv}}$ – prierezový modul zvaru (Nmm³)

l_1 – výpočtová dĺžka zvaru 1 (mm)

l_1' - dĺžka zvaru 1 (mm)

z – dĺžka odvesny pravouhlého trojuholníka vpísaného do prierezu zvaru (zvolené $z = 1,5$) [47 st. 278]



Obr. 42 Zaťaženie zvarového spoja 1

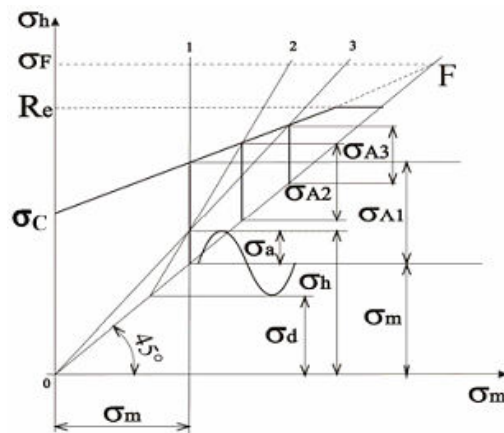
Pre výpočet amplitúdy medze únavy zvaru z Shmitovho diagramu boli zvolené nasledovné hodnoty:

$$\sigma_F = R_m = 554 \text{ MPa} - \text{pomocné napätie}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_h}{2} = \frac{33,1}{2} = 16,55 \text{ MPa} - \text{stredné napätie cyklu}, \quad (6.9)$$

σ_h - horné napätie cyklu (MPa)

$\sigma_C = 160 \text{ MPa}$ - medza únavy základného materiálu



- 1- σ_{A1} –medzná amplitúda pre $\sigma_m = \text{konšt.}$
- 2- σ_{A2} –medzná amplitúda pre $\sigma_d = \text{konšt.}$
- 3- σ_{A3} –medzná amplitúda pre $\sigma_a / \sigma_m = \text{konšt.}$
- $\sigma_A = \sigma_C^*$ medzná amplitúda pre $\sigma_m = 0.$

Obr. 43 Zjednodušený Smithov diagram

Dovolené napätie zvarového spoja 1

Z Smithovho diagramu je $\sigma_{A1} = 155,18 \text{ MPa}$, súčiniteľ bezpečnosti $k = (1,5 - 2,3)$ – volíme $k = 2,25$

$$\sigma_{AD} = \frac{\sigma_{A1}}{k} = \frac{155,18}{2,25} = 68,97 \text{ MPa} \quad (6.10)$$

$$33,1 \leq 68,97$$

$\sigma_{1zv} \leq \sigma_{ADzv1} \rightarrow$ zvar vyhovuje danému zaťaženiu

Kontrolný výpočet pre zvarový spoj 2

K vytvoreniu pevného spojenia medzi puzdrom a platňou páky uvažujeme obojstranný kúťový zvar (obr. 42) zaťažený cyklickým miznúcim zaťažením. Pre materiál 11 373 (materiál puzdra) je medza únavy $\sigma_c = 130 \text{ MPa}$, medza pevnosti $R_m = (340-470) \text{ MPa}$.

Ohybový moment a napätie zvarového spoju 2

$$\begin{aligned}M_{zv2} &= -F_1 \cdot x_1 + F_2 \cdot (x_3 + x_4) = -1584,3 \cdot 18 + 150 \cdot 85 \\M_{zv2} &= 29232,6 \text{ Nmm} \\ \sigma_{zv} &= \frac{M_{zv2}}{W_{O_{zv}}} = \frac{6 \cdot M_{zv2}}{sl^2} \\ l_2 &= l_2' - 1,5z = 25 - 1,5 \cdot 3 = 20,5 \text{ mm} \\ \sigma_{zv2} &= \frac{6 \cdot 29232,6}{10 \cdot 20,5^2} = 41,73 \text{ MPa} \\ \sigma_{1zv2} &= 20,86 \text{ MPa}\end{aligned} \tag{6.11}$$

kde M_{zv2} je ohybový moment pôsobiaci na zvar 2 (Nmm)

F_1 - ohýbacia sila (N)

F_2 – sila vyvinutá na ramene páky, uvažujem $F_2 = 150 \text{ N}$

x_3 – rameno pôsobiacej sily F_1 k zvaru 2 (mm)

x_4 – rameno pôsobiacej sily F_2 k zvaru 2 (mm)

σ_{zv2} – ohybové napätie obojstranných zvarov 2 (MPa)

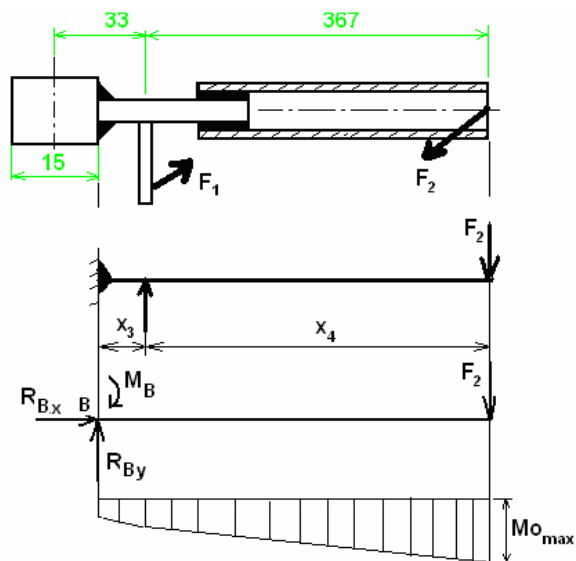
σ_{1zv2} – ohybové napätie 1 zvarového spoja 2 (MPa)

$W_{O_{zv}}$ – prierezový modul zvaru (mm^3)

l_2 – výpočtová dĺžka zvaru 2 (mm)

l_2' - dĺžka zvaru 2 (mm)

z – dĺžka odvesny pravouhlého trojuholníka vpísaného do prierezu zvaru (zvolené $z = 1,5$) [47 st. 278]



Obr. 44 Zaťaženie zvarového spoja 2

Pre výpočet amplitúdy medze únavy zvaru z Shmitovho diagramu boli zvolené nasledovné hodnoty:

$$\sigma_F = Rm = 405 \text{ MPa} - \text{pomocné napätie}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_h}{2} = \frac{20,86}{2} = 10,43 \text{ MPa} - \text{stredné napätie cyklu} \quad (6.12)$$

σ_h - horné napätie cyklu (MPa)

$$\sigma_C = 130 \text{ MPa} - \text{medza únavy základného materiálu}$$

Dovolené napätie zvarového spoja 2

Z Smithovho diagramu je $\sigma_{A1} = 126,65 \text{ MPa}$, súčiniteľ bezpečnosti $k = (1,5 - 2,3)$ – volíme $k = 2,25$

$$\sigma_{AD} = \frac{\sigma_{A1}}{k} = \frac{126,65}{2,25} = 56,28 \text{ MPa} \quad (6.13)$$

$$20,86 \text{ MPa} \leq 56,28 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1zv2} \leq \sigma_{ADzv2} \rightarrow \text{zvar vyhovuje danému zaťaženiu}$$

Kontrolný výpočet pre zvarový spoj 3

K vytvoreniu pevného spojenia medzi pákou a platňou páky uvažujeme obojstranný zvar (obr. 42) zaťažený cyklickým miznúcim zaťažením. Pre materiál 11 353 (materiál puzdra) je medza únavy $\sigma_c = 125 \text{ MPa}$, medza pevnosti $R_m = (343-441) \text{ MPa}$.

Ohybový moment a napätie zvarového spoju 3

$$\begin{aligned}M_{zv3} &= F_2 \cdot x_5 = 150 \cdot 300 \\M_{zv3} &= 45000 \text{ Nmm} \\ \sigma_{zv3} &= \frac{M_{zv3}}{W_{ozv}} = \frac{6 \cdot M_{zv3}}{sl^2} \\ l_3 &= l_3' - 1,5z = 30 - 1,5 \cdot 3 = 25,5 \text{ mm} \\ \sigma_{zv3} &= \frac{6 \cdot 45000}{10 \cdot 25,5^2} = 41,52 \text{ MPa} \\ \sigma_{1zv3} &= 20,76 \text{ MPa}\end{aligned} \tag{6.14}$$

kde M_{zv3} je ohybový moment pôsobiaci na zvar 3 (Nmm)

F_2 – sila vyvinutá na ramene páky, uvažujem $F_2 = 150 \text{ N}$

x_5 – rameno pôsobiacej sily F_2 k zvaru 3 (mm)

σ_{zv3} – ohybové napätie obojstranných zvarov 3 (MPa)

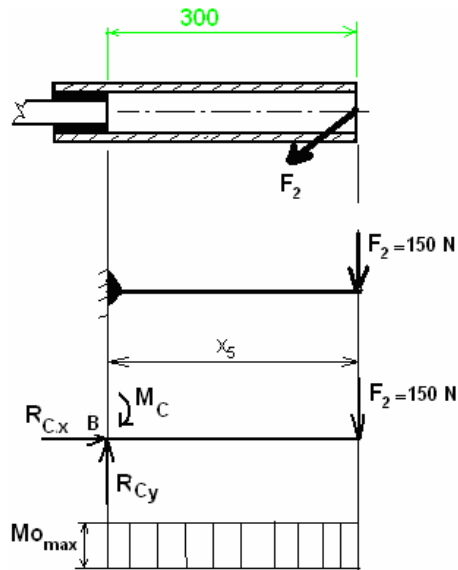
σ_{1zv3} – ohybové napätie 1 zvarového spoja 2 (MPa)

W_{ozv} – prierezový modul zvaru (Nmm^3)

l_3 – výpočtová dĺžka zvaru 3 (mm)

l_3' - dĺžka zvaru 3 (mm)

z – dĺžka odvesny pravouhlého trojuholníka vpísaného do prierezu zvaru (zvolené $z = 1,5$) [47 st. 278]



Obr. 45 Zaťaženie zvarového spoja 3

Pre výpočet amplitúdy medze únavy zvaru z Shmitovho diagramu boli zvolené nasledovné hodnoty:

$$\sigma_F = R_m = 392 \text{ MPa} - \text{pomocné napätie}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_h}{2} = \frac{20,76}{2} = 10,38 \text{ MPa} - \text{stredné napätie cyklu} \quad (6.15)$$

σ_h - horné napätie cyklu (MPa)

$$\sigma_C = 120 \text{ MPa} - \text{medza únavy základného materiálu}$$

Dovolené napätie zvarového spoja 3

Z Smithovho diagramu je $\sigma_{A1} = 121,64 \text{ MPa}$, súčiniteľ bezpečnosti $k = (1,5 - 2,3)$ – volíme $k = 2,25$

$$\sigma_{AD} = \frac{\sigma_{A1}}{k} = \frac{121,75}{2,25} = 54,06 \text{ MPa} \quad (6.16)$$

$$20,76 \text{ MPa} \leq 54,06 \text{ MPa}$$

$\sigma_{1zv3} \leq \sigma_{ADzv3} \rightarrow$ zvar vyhovuje danému zaťaženiu

7 NÁVRH TEPELNÉHO SPRACOVANIA

K dosiahnutiu požadovaných vlastností aerifikačných nožov, je potrebné zvoliť vhodné tepelné spracovanie, ktoré je ovplyvnené celou radou faktorov. K najdôležitejším patria, chemické zloženie, podmienky austenitizácie, vlastnosti a druh kaliaceho prostredia.

Aby bola dosiahnutá predovšetkým požadovaná tvrdosť, pevnosť, ale i húževnatosť je treba zvoliť vhodný druh kalenia. Pri kalení má rozhodovací vplyv na tieto vlastnosti druh kaliaceho prostredia. Ak poznáme chemické zloženie oceli a zvolíme optimálne ochladzovacie prostredie získame požadovanú tvrdosť. Ochladzovacia schopnosť rôznych prostredí je definovaná ochladzovacou intenzitou (tab.6)

Tab. 6 Ochladzovacia intenzita

<i>cirkulácia</i>	<i>vzduch</i>	<i>olej</i>	<i>voda</i>
žiadna	0,02	0,25-0,3	1
stredná	0,04	0,4-0,5	1,5
silná	0,08	0,8-1,1	4

Pre zvolený materiál aerifikačných nožov 12 022.1 dodávaný ako normalizačne žíhaný s obsahom uhlíka 0,15% - 0,2% volíme nasledovnú druhy tepelného spracovania:

- 1.Cementovanie
2. Kalenie
3. Popúšťanie

Pre nasledovné druhy tepelného spracovania bola zvolená šachtová pec s riadenou ochrannou atmosférou o rozmeroch 600mm x 800mm s maximálnou hmotnosťou vsádzky 450 kg v Kalírně Zlín. Toto spracovanie umožňuje riadený priebeh procesu, s úplnou reguláciou teplôt, uhlíkového potenciálu a s možnosťou grafického záznamu týchto hodnôt. Kalenie prebieha do soľnej kúpele AS 140, kde oproti iným spôsobom tepelného spracovania dochádza k minimálnym deformáciám s čistým a lesklým povrchom.

7.1.1 Cementovanie

Pre oceľ 12 022 je obsah uhlíku v rozmedzí 0,13 -0,20 %C. Keďže sa pre aerifikačné nože požaduje vysoká povrchová tvrdosť, pri súčasnom zachovaní húževnatého jadra je potreb-

né zvýšiť obsah uhlíka v povrchovej vrstve. Zvyčajne sa povrch súčiastok obohacuje na eutektoidnú alebo mierne nadeutektoidnú koncentráciu.

Zakalením nacementovanej súčiastky sa získa vo vrstve martenzitická štruktúra vysokej tvrdosti, pričom v jadre dochádza, v závislosti od prekaliteľnosti ocele a veľkosti prierezu, väčšinou iba k čiastočnému zakaleniu, prípadne vznikajúci martenzit má vzhľadom na nízky obsah uhlíka nízku tvrdosť. Jadro súčiastky preto zostane mäkké a húževnaté.

Cementačné prostredie: Pre cementovanie bolo zvolená difúzia uhlíka z plynnej fázy zmesi plynov CO, CO₂, N₂, H₂.

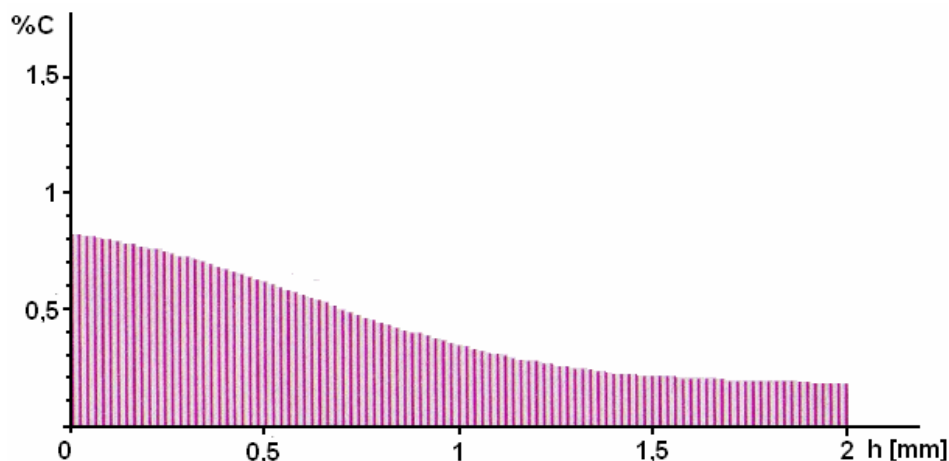
Cementačná hĺbka: 0,9 – 1,0 mm

Teplota pri cementovaní: cementovanie v plynnom prostredí pri teplote 920 °C po dobu 5,75 h.

Cementačný program pre aerifikačné nože je uvedený v (tab.7). Na (obr.46) môžeme vidieť grafické znázornenie cementačnej vrstvy v priereze materiálu.

Tab. 7 Cementačný program aerifikačných nožov

CEMENTAČNÝ PROGRAM				
	1	2	3	4
Doba Hod.: Min.	0:20	3:45	1:00	0:30
Teplota	880	920	920	820
%C	0.40	1.10	0.95	0.83
N ₂	Nie	Nie	Nie	Nie
NH ₃	Nie	Nie	Nie	Nie
%C medza sytienia	1.10	1.21	1.21	0.92



Obr. 46 Cementačná vrstva

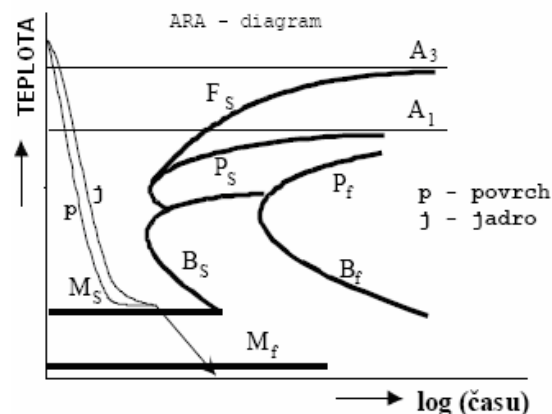
7.1.2 Kalenie

Dôležitá časť tepelného spracovania je fáza kalenia. K tomu aby sme získali vhodné vlastnosti je potrebné zvoliť správny druh kalenia. Pri voľbe vhodného spôsobu kalenia je potrebné zohľadniť chemické zloženie ocele, žiadané mechanické a iné vlastnosti po tepelnom spracovaní, potrebu čo najnižších výrobných nákladov, čo najnižšej časovej náročnosti zvoleného spôsobu pri kalení.

Druh kalenia:

Pre kalenie aerifikačných nožov bolo zvolené termálne kalenie, ktoré umožňuje dosiahnuť nasledovné vlastnosti a požiadavky:

- dovoľuje znížiť rozdiel medzi teplotou povrchu a teplotou jadra na najmenšiu mieru.
- využíva tvar diagramu ARA (dlhší inkubačný čas pri teplotách tesne nad M_s)
- ohrev na kaliacu teplotu, potom ochladenie v soľnom kúpeli na teplotu asi $30\text{ }^\circ\text{C}$ nad M_s ocele. Na tejto teplote sa zotrvá (čas zotrvania nesmie zasiahnuť do oblasti bainitickej premeny), pri ktorom sa vyrovnávajú teploty v jadre a na povrchu. Potom sa ochladzuje v intervale martenzitickej premeny (voľne na vzduchu).
- oddelia sa tepelné a štruktúrne napätia a zmenší sa ich spoločný účinok
- vhodné na kalenie menších súčiastok zložitejších tvarov a nástrojov z uhlíkových a nízkoalegovaných ocelí.



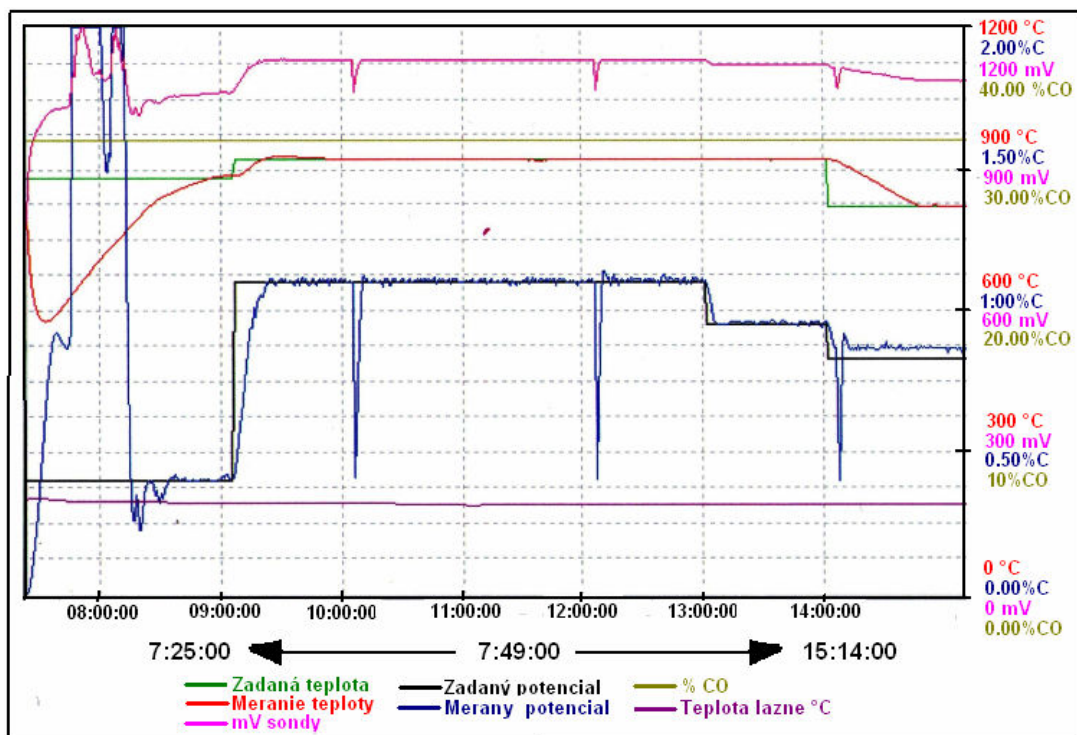
Obr. 47 Anizotermický rozpad austenitu

Druh kaliacej kapele: soľná kúpeľ AS 140

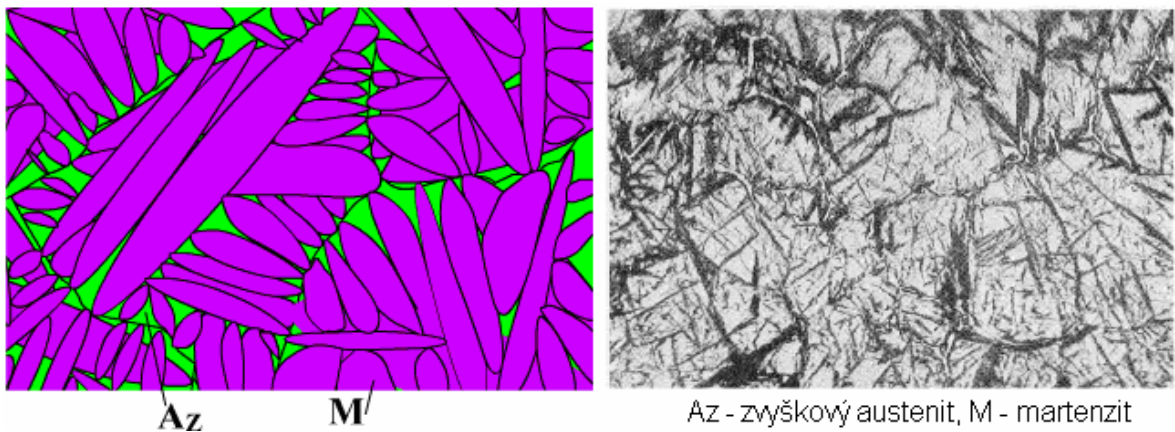
Tab. 8 Parametre pri kalení

Parametre kalenia					
Teplota sol. kúpeľa: [°C]	189	Doba ponorenia [min]	10	Rýchlosť výt'ahu:	malá
Rýchlosť miešania:	4	Doba odkvapkávania [min]	15	Doba oneskorenia [s]	0

Cementačný proces i kaliaci proces je plne riadený programom, ktorý umožňuje reguláciu jednotlivých veličín a zároveň i grafické vyhodnotenie týchto veličín v závislosti na čase ako uvádza (obr.48).



Obr. 48 Grafický priebeh cementácie a kalenia



Obr. 49 Výsledná štruktúra po kalení

Po kalení vznikne v materiály výsledná štruktúra tvorená martenzitom a zvyškovým austenitom ako môžeme vidieť na (obr.49). Tvrdosť materiálu vzniknutá po kalení je približne 58 HRC.

7.1.3 Popúšťanie

Aby sme vytvorili rovnovážnu štruktúru zo zakalenej ocele s martenzitickou štruktúrou je potrebné zaradiť ako ďalší tepelný proces popúšťanie.

Popúšťanie pri nízkych teplotách (do 350 °C) sa prevádza za účelom zníženia napätí po kalení, zmenšenia podielu zvyškového austenitu, stabilizácia rozmerov, zvýšenia húževnatosti. Pokles tvrdosti je minimálny.

Popúšťanie pri vyšších teplotách (nad 350°C) sa prevádza za účelom dosiahnutia štruktúr vykazujúcich priaznivejší komplex mechanických vlastností – vysokú húževnatosť pri vysokých hodnotách medze sklzu, medze únavy, kontrakcie. Je súčasťou procesu anizotermického zušľachtovania.

Druh popúšťania: 2 fázové popúšťanie

Teplota popúšťania: 400 – 450 °C

Čas popúšťania: 120 min

V prvej fáze popúšťania vzniká kubický martenzit sprevádzaný znížením vnútorných pnutí a v druhej fáze sa zvyškový austenit premieňa na bainitickú štruktúru.

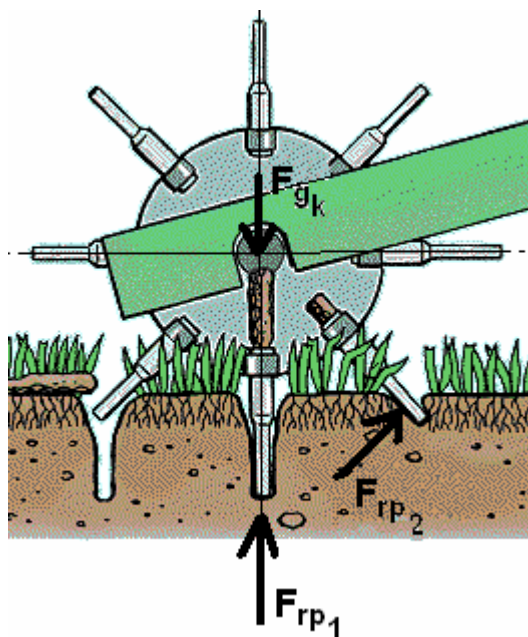
U tepelne upravených nožoch bola nameraná výsledná tvrdosť povrchovej vrstvy noža 53, 78 HRC integrálnym tvrdomerom značky AFRI s veľkosťou predzáťažou 98,01 N a hlavnou záťažou 1471 N.

8 MECHANICKÁ PEVNOSTNÁ ANALÝZA AERIFIKAČNÉHO NOŽA V PROGRAME CATIA V5 R18

Aerifikačné nože sú v priebehu prevzdušňovacieho procesu mechanicky namáhané silovým pôsobením, ktoré vzniká pri styku noža s povrchom zhutnenej pôdy. Nôž je predovšetkým namáhaný reakčnou silou pôdy F_{rp} (obr.50), ktorú charakterizuje merný odpor pôdy. Priebeh namáhania môžeme simulovať pomocou softwaru CATIA V5 R18 využívajúceho výpočet na základe metódy konečných prvkov, ako bolo spomenuté v kapitole 4.

8.1 Silové pomery na aerifikačnom noži

Jednotlivé nože sú pripevnené na liatinovom kotúči, ktorý je pomocou čapu spojený s rámom spolu s ďalším kotúčom. Oba kotúče vytvárajú jednu sekciu aerifikátoru. Zariadenie obsahuje 5 sekcií. Hmotnosť 1 sekcie je $m_s = 68$ kg. Na kotúči s polovičnou hmotnosťou sekcie je upevnených 8 nožov, rozmiestnených po 45° . Pri stanovení jednotlivých pôsobiacich síl uvažujeme, že k stretu noža a pôdy dochádza pod uhlom záberu $\beta_n = 45^\circ$ a kolmo na os noža pôsobí reakčná sila pôdy. Pri otáčaní sa nôž dostáva do vertikálnej polohy kedy reakčná sila pôsobí v smere osi noža. Pod účinkom tiažovej sily kotúča F_{gk} sú nože ztláčané do pôdneho substrátu. Z nasledovného zaťaženia síl vyplýva, že aerifikačné nože sú najviac zaťažené ohybovým namáhaním.



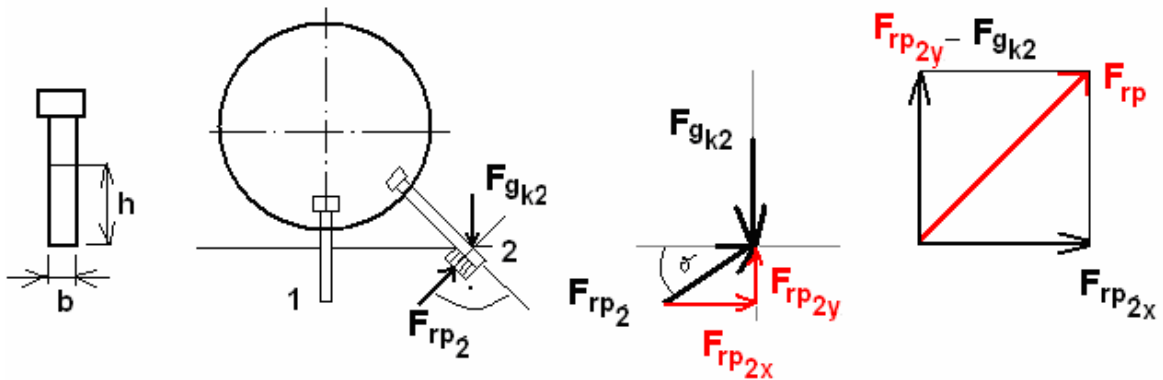
Obr. 50 Sily pôsobiace na aerifikačné nože

Výpočet jednotlivých síl:

Pri výpočte uvažuje s dvoma nožmi, ktoré sú v styku s pôdou označenými číslom 1 a 2. Hmotnosť kotúča $m_k = 34$ kg. Merný odpor pre zhutnené pôdy uvažujeme podľa (tab. 9).

Tab. 9 Merný odpor pôdy

Druh pôdy	Merný odpor pôdy - k_p [Pa]
Ľahké pôdy	$[2 - 3] \cdot 10^4$
Stredne ťažké pôdy	$[3 - 5] \cdot 10^4$
Ťažké pôdy	$[5 - 8] \cdot 10^4$
Veľmi ťažké pôdy	$[8 - 10] \cdot 10^4$



Obr. 51 Schéma silového pôsobenia na aerifikačný nôž

Reakčná sila pôdy pôsobiaca na nôž 1

$$F_{r_{p1}} = k_p \cdot S_{n1}$$

$$F_{r_{p1}} = 8 \cdot 10^4 \cdot 0,00006377, \quad S_{n1} = \pi \frac{(D^2 - d^2)}{4} = \pi \frac{21,3^2 - 19,3^2}{4} = 63,77 \text{ mm}^2 \quad (8.1)$$

$$F_{r_{p1}} = 5,1 \text{ N}$$

kde $F_{r_{p1}}$ je reakčná sila pôdy pôsobiaca na nôž 1 (N)

k_p - súčiniteľ pre ťažké pôdy

S_{n1} – plocha medzikružia aerifikačného noža (mm^2)

D – vonkajší priemer noža (mm)

d – vnútorný priemer noža (mm)

Tiažová sila pôsobiaca na nôž 2

$$\begin{aligned} Fg_{k2} &= Fg_k - Fr_{p1} \\ Fg_{k2} &= 34 - 5,1 = 28,9 \text{ N} \end{aligned} \quad (8.2)$$

kde Fg_k – je tiažová sila kotúča (N)

Fg_{k2} – tiažová sila pôsobiaca na nôž 2 (N)

Reakčná sila pôdy pôsobiaca na nôž 2

$$\begin{aligned} Fr_{p2} &= kp \cdot S_{n2} \\ Fr_{p2} &= 8 \cdot 10^4 \cdot 0,0001704, \quad S_{n2} = b \cdot h = 21,3 \cdot 80 = 170,4 \text{ mm}^2 \\ Fr_{p2} &= 136,32 \text{ N} \end{aligned} \quad (8.3)$$

$$\begin{aligned} Fr_{p2x} &= \cos \delta \cdot Fr_{p2} = \cos 45 \cdot 136,32 = \underline{96,4 \text{ N}} \\ Fr_{p2y} &= \sin \delta \cdot Fr_{p2} = \sin 45 \cdot 136,32 = \underline{96,4 \text{ N}} \end{aligned} \quad (8.4)$$

kde Fr_{p2} je reakčná sila pôdy pôsobiaca na nôž 2 (N)

S_{n2} – plocha noža na ktorú pôsobí reakčná sila pôdy (mm^2), pre jednoduchosť výpočtu uvažujeme plochu obdĺžnika

b – šírka obdĺžnikovej plochy (mm)

h – výška obdĺžnikovej plochy (mm)

Fr_{p2x} - zložka reakčnej sily pôdy v smere x (N)

Fr_{p2y} - zložka reakčnej sily pôdy v smere y (N)

δ - uhol pôsobenia reakčnej sily ($^\circ$)

Výsledná zat'azujúca sila pôdy aerifikačného noža

$$\begin{aligned} Fr_p &= \sqrt{(Fr_{p2} - Fg_{k2})^2 + Fr_{p2x}^2} \\ Fr_p &= \sqrt{(96,4 - 28,9)^2 + 96,4^2} \\ Fr_p &= \underline{\underline{117,68 \text{ N}}} \end{aligned} \quad (8.5)$$

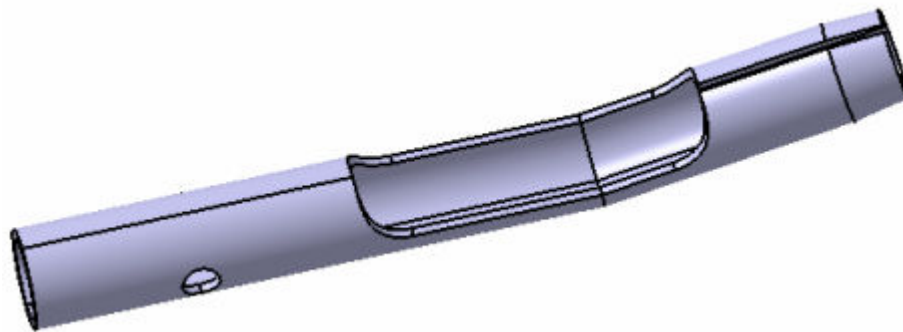
Z hľadiska bezpečnosti pevnostného návrhu a výpočtu aerifikačného noža, výslednú zaťažujúcu silu zväčšíme o súčiniteľ bezpečnosti $k = 1,3$ zvoleného podľa [47, st. 47]. Potom pri pevnostnej analýze v programe CATIA uvažujeme so zaťažujúcou silou noža $F_{r_{sk}}$.

$$\begin{aligned} F_{r_{sk}} &= k \cdot F_{r_p} \\ F_{r_{sk}} &= 1,3 \cdot 117,68 \\ \underline{\underline{F_{r_{sk}}}} &= \underline{\underline{152,98 \text{ N}}} \end{aligned} \quad (8.6)$$

8.2 Pevnostná FEM analýza v programe CATIA V5 R18

Materiálové konštanty

Pri výpočte pevnostnej analýzy bol použitý 3D model aerifikačného noža (obr.52), pre ktorý boli pri výpočte brané nasledovné materiálové hodnoty (tab.10)



Obr. 52 3D model aerifikačného noža

Tab. 10 Materiálové konštanty

Materiál	Oceľ
Yungov modul	2e+011N_m2
Poissonvé číslo	0,266
Hustota	7860kg_m3
Súč.tepelnej rozt'ážnosti	1,17e-005_Kdeg
Modul pružnosti	2,5e+008N_m2

Tvorba siete

Pri výpočte bola zvolená tetragonálna sieť prepojená v uzlových bodoch (nodoch) pre, ktorú sú špecifické hodnoty uvedené v nasledovných tabuľkách (tab.11, tab. 12).

Tab. 11 Parametre siete

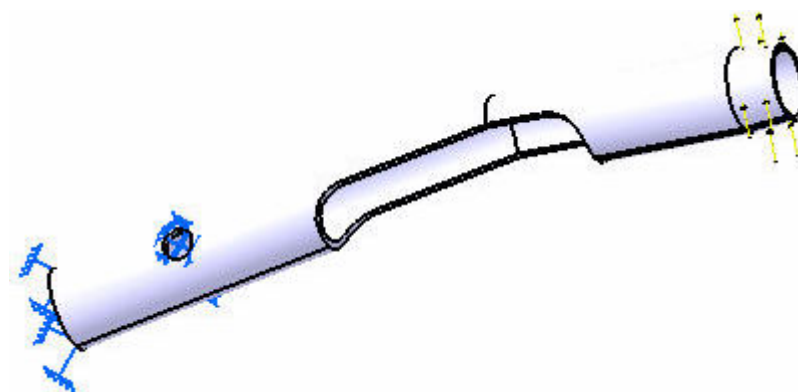
Entity	Počet	Prepojenie
Nody	6916	Tetragonálne TE4
Elementy	23179	

Tab. 12 Kvalita siete

Kritérium	Dobré	Zlé	Priemer
Rozsah	23179 (100,00%)	0,348	0,612
Aspect Ratio	23179 (100,00%)	4,209	2,020

Definícia uchytenia a zaťažujúcich síl

V tejto časti analýzy bolo potrebné zvoliť správne uchytenie noža, ktoré zodpovedá skutočnému upevneniu nožov na liatinové kotúče aerifikačného zariadenia.



Obr. 53 Upevnenie a zaťaženie aerifikačného noža

Nôž je zaťažený silou kolmou na os noža o veľkosti $F_{rp_{sk}} = 152,98$ N. Zaťaženiu v programe zodpovedá sila F_x .

$$F_x = 1.5298e+002 \text{ N}$$

Vzniknuté zaťažujúce sily a momenty:

$$F_y = 1.295e-009 \text{ N}$$

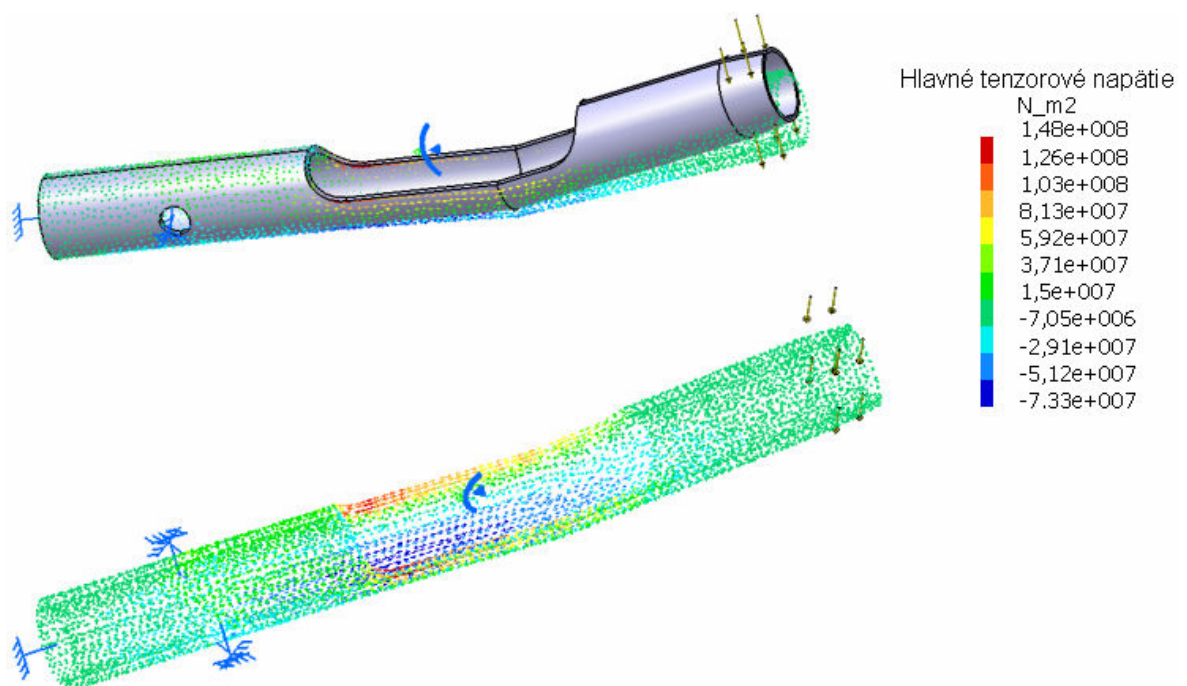
$$F_z = -8.280e-009 \text{ N}$$

$$M_x = -2.344e-010 \text{ Nm}$$

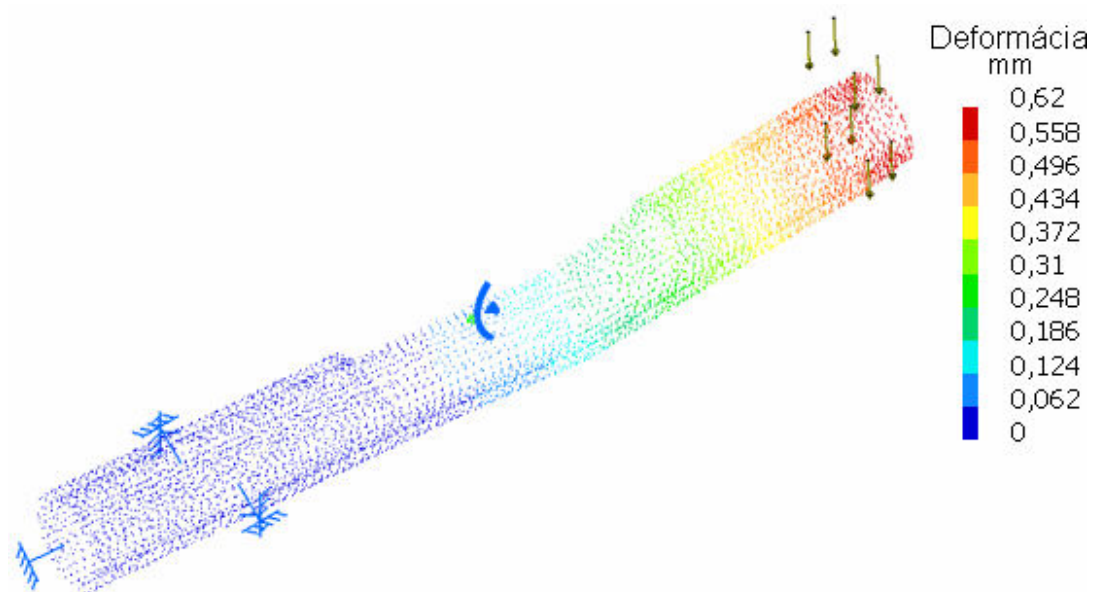
$$M_y = 2.225e+001 \text{ Nm}$$

$$M_z = -3.734e-007 \text{ Nm}$$

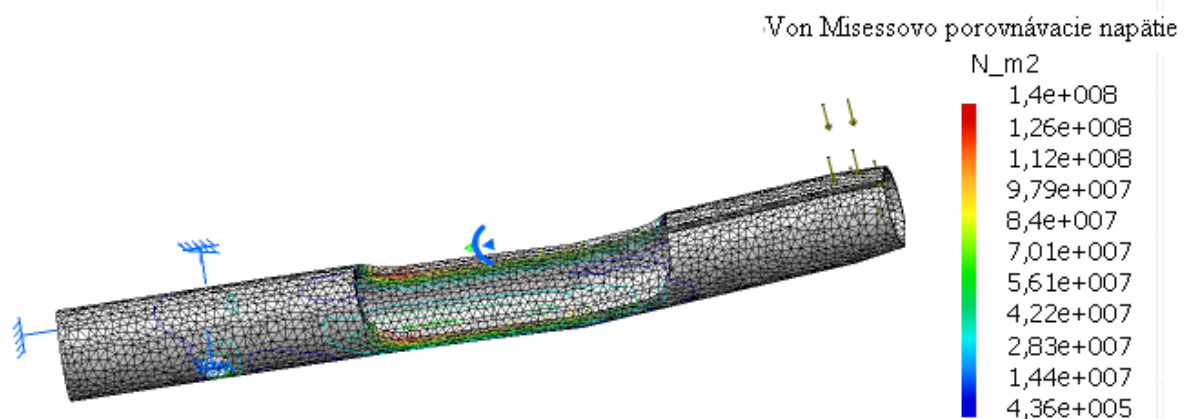
Výsledky pevnostnej analýzy



Obr. 54 Priebeh hlavného tenzorového napätia



Obr. 55 Priebeh deformácie



Obr. 56 Von Missesovo porovnávacie napätie

Podľa výsledkov priebehu napätí a deformácií, môžeme vyhodnotiť a porovnať výsledné hodnoty s hodnotami dovolenými. Von Missesovo porovnávacie napätia, ktoré porovnáva napätosti na základe hodnoty mernej energie, potrebnej k zmene tvaru teda distórnú napätosť udáva maximálnu hodnotu $\sigma_{VON}=140 \text{ Nmm}^2$ zobrazenú podľa (obr. 56) ako červenú oblasť. V tejto časti je zrejme že hodnota napätia dosiahla maximálnu hodnotu, čo odôvodňuje predovšetkým zmena prierezu aerifikačného noža, ktorá je spôsobená vybraním vytvo-

renom v tejto časti. Dovoľenú hodnotu namáhania uvažujeme hodnotu medze klzu pre materiál aerifikačného noža ocel' podľa ČSN 12 022 $R_e = 255 \text{ MPa}$ a hodnotu medze pevnosti $R_m = 450 \text{ MPa}$.

Dovoľené namáhanie podľa medze klzu:

$$\sigma_{DovRe} \geq \sigma_{VON}$$

$255 \text{ MPa} \geq 140 \text{ MPa} \rightarrow$ aerifikačný nôž vyhovuje danému zaťaženiu

V prípade, že by hodnota Von Missesovho namáhania presiahla hodnotu dovoľeného namáhania podľa medze klzu, došlo by ohybu noža v kritickom priereze, čo by malo nežiaduci vplyv pri rotačnom pohybe a stretu noža s pôdnym substrátom.

Dovoľené namáhanie podľa medze pevnosti:

$$\sigma_{DovRm} \geq \sigma_{VON}$$

$450 \text{ MPa} \geq 140 \text{ MPa} \rightarrow$ aerifikačný nôž vyhovuje danému zaťaženiu

V tejto podmienke pevnosti je hodnota dovoľeného namáhania skôr 4-násobne väčšia ako hodnota Von Missesovho napätia, teda v kritickom priereze nehrozí celkové porušenie ani deštrukcia noža, ktorá by v opačnom prípade porušila celkovú funkčnosť noža

Výsledná deformácia noža podľa (obr. 55) dosahuje maximálnu hodnotu (oblasť červenej farby) $y_{\max} = 0,62 \text{ mm}$, čo predstavuje minimálnu deformáciu, ktorú umožňuje pružnosť materiálu získaná celkovým tepelným spracovaním a z hľadiska pevnosti nepredstavuje výraznú oblasť nebezpečia, ktorá by spôsobila trvalú deformáciu alebo porušenie.

9 VÝROBA, FUNKČNÁ SKÚŠKA A EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE VÝROBY AERIFIKAČNÝCH NOŽOV

Hlavnou úlohou tejto práce bolo inovovať aerifikačné nože prevzdušňovacieho zariadenia s celkovou výmenou týchto nožov s podmienkou minimálnych výrobných nákladov nožov v porovnaní s trhovou predajnou cenou aerifikačných nožov.

9.1 Výroba skúšobných vzorkou a skúška funkčnosti aerifikačných nožov

Na základe vypracovaného technologického postupu výroby aerifikačných nožov a vyhodnotenej pevnostnej analýzy bolo v školskej dielni UTB vyrobených 16 skúšobných vzorkou (obr.57) aerifikačných nožov, ktoré boli ďalej tepelné spracované a pripravené k prvej skúške funkčnosti.



Obr. 57 Skúšobné vzorky aerifikačných nožov

Vyhodnotenie skúšky funkčnosti:

Tieto nože boli dňa 12.5 2009 vymenené na 1 sekcii aerifikačného zariadenia (obr.58) a bola prevedená prvá skúška funkčnosti nožov na trávinatej futbalovej ploche TJ Spartak Myjava s rozlohou 12000 m². Po prevedení prevzdušňovacej operácie boli demontované skúšobné nože z aerifikačného zariadenia, ktoré boli podrobené pozorovaniu na možné vzniknuté poškodenie nožov, vylomenie reznej časti noža, alebo celkovú deformáciu noža. Keďže sa na skúšobných nožoch neprejavili známky deformácie ani poškodenia noža alebo reznej časti, bolo možné považovať konštrukčný a technologický návrh ako správny

a realizovať celkovú výrobu aerifikačných nožov v počte 80 kusov a ďalšie odskúšanie nožov ako celku aerifikačného zariadenia.



Obr. 58 Sekcia so skúšobnými vzorkami

9.2 Ekonomické zhodnotenie výroby aerifikačných nožov

Hlavnou úlohou tejto práce bolo inovovať aerifikačné nože prevzdušňovacieho zariadenia, s cieľom minimálnych nákladov na výrobu nožov. Na základe prevedenej funkčnej skúšky aerifikačných nožov, bolo možné realizovať výrobu všetkých nožov v počte 80 kusov potrebných k výmene a 20 náhradných kusov.

9.2.1 Výber najoptimálnejšej cenovej ponuky

Z pripravenej výkresovej dokumentácie a technologického postupu, bolo možné realizovať výrobu aerifikačných nožov na základe najvýhodnejšej cenovej ponuky, ktorá bola zaslaná vybraným trom strojárskym firmám špecializujúcich sa na obrábanie a tepelné spracovanie kovov.

Nasledovné cenové ponuky zahŕňajú cenu materiálu, cenu tepelného spracovania a jednotlivé ceny práce pre technologické operácie:

- sústruženie, frézovanie, vŕtanie, rezanie, tepelné spracovanie

Cenová ponuka firmy A

<i>Cenová ponuka firma A</i>			
Operácia/Polotovár	Množstvo	Cena €/1ks	Cena €/100ks
<i>Oceľ 12 022 Ø21,3x2,9x1000</i>	4500 mm	0,178	17,8
<i>Sústruženie</i>	100 ks	0,82	82
<i>Frézovanie</i>		1,282	128,2
<i>Vrtanie</i>		0,083	8,3
<i>Rezanie</i>		0,51	51
<i>Tepelné spracovanie</i>		0,652	65,2
Cena Spolu			3,53

Cenová ponuka firmy B:

<i>Cenová ponuka firma B</i>			
Operácia/Polotovár	Množstvo	Cena €/1ks	Cena €/100ks
<i>Oceľ 12 022 Ø21,3x2,9x1000</i>	4500 mm	0,29	29
<i>Sústruženie</i>	100 ks	0,93	93
<i>Frézovanie</i>		1,433	143,3
<i>Vrtanie</i>		0,056	5,6
<i>Rezanie</i>		0,4115	41,15
<i>Tepelné spracovanie</i>		0,517	51,7
Cena Spolu			3,64

Cenová ponuka firmy C:

<i>Cenová ponuka firma C</i>			
Operácia/Polotovár	Množstvo	Cena €/1ks	Cena €/100ks
<i>Oceľ 12 022 Ø21,3x2,9x1000</i>	4500 mm	0,162	16,2
<i>Sústruženie</i>	100 ks	0,553	55,3
<i>Frézovanie</i>		1,124	112,4
<i>Vrtanie</i>		0,03	3
<i>Rezanie</i>		0,32	32
<i>Tepelné spracovanie</i>		0,333	33,3
Cena Spolu			2,52

Najvýhodnejšia bola cenová 3. ponuka firmy C v celkovej sume 252, 20 € za 100 kusov. Na základe tejto cenovej ponuky bola v tejto firme realizovaná výroba aerifikačných nožov.

9.2.2 Celkové náklady výroby aerifikačných nožov

Celkové náklady zahrňujú náklady na výrobu spojené s technologickými operáciami a tepelným spracovaním a ďalej náklady na ručný ohýbací nástroj. V týchto nákladoch sú zahrnuté iba výdaje nákup materiálu, keďže výroba nástroja bola realizovaná vlastnoručne. Celkové náklady nezahŕňajú ani náklady potrebné na ohýbanie aerifikačných nožov.

$$\begin{aligned}N_c &= N_v + N_n \\N_c &= 252,20 + 11,80 \\N_c &= \underline{\underline{262 \text{ €} / 100ks}} \\N_{c_1} &= \frac{262}{100} = \underline{\underline{2,62 \text{ €} / 1ks}}\end{aligned}\tag{9.1}$$

kde N_c sú celkové náklady na výrobu aerifikačných nožov v počte kusov 100 (€)

N_v – výrobné náklady na 100 kusov (€)

N_n – náklady ručného ohýbacieho nástroja (€)

N_{c_1} - náklady na výrobu jedného aerifikačného noža (€)

Porovnanie celkových nákladov aerifikačných nožov s predajnou trhovou cenou:

<i>Predajca:</i>	<i>Cena</i>
Vibrant Yard Company USA	13 \$
IRM Inc Company USA	10,50 \$
Jacobsen Company USA	12,15 \$
John Deere USA	13,35 \$
ITEEC spol s.r.o CZ	
Nože značky Jacobsen	178 Kč
Nože značky Greenby	277 Kč
Nože značky Ryan	212 Kč

<i>Priemerná cena aerifikačného noža USA</i>	12,25 \$ = 9,15 €
<i>Priemerná cena aerifikačného noža CZ</i>	222,33 Kč = 8,81 €
<i>Výrobná cena aerifikačného noža</i>	2,62 €

Úspora:

Cenová úspora v porovnaní s cenou v USA: $\frac{9,15}{2,62} = 3,5$ krát

Cenová úspora v porovnaní s cenou v CZ: $\frac{8,81}{2,62} = 3,4$ krát

Z uvedených vybraných predajcov a cien aerifikačných nožov, či už na zahraničnom trhu alebo domácom môžeme vidieť, že v porovnaní výrobnéj ceny aerifikačného noža a predajných cien bola dosiahnutá úspora približne 3,5 krát. Na základe dosiahnutej úspora môžeme konštatovať, že výroba aerifikačných nožov bola realizovaná s minimálnymi nákladmi.

ZÁVER

Táto diplomová práca sa zaoberá inováciou aerifikačných nožov prevzdušňovacieho zariadenia, ktoré slúži k prevzdušňovaniu zhutnených trávnatých povrchov. Cieľom a hlavnou úlohou práce bolo vyrobiť skúšobné vzorky aerifikačných nožov a podrobiť tieto vzorky skúšobnému testu pri samotnom prevzdušňovaní zeminy, kde bude overená správnosť konštrukčného a technologického návrhu. Ďalšou požiadavkou bolo zrealizovať výrobu 100 kusov aerifikačných nožov na základe overenej funkčnosti skúšobných vzorkou pre spoločnosť SAM šport s.r.o Myjava, s kritériom minimálnych výrobných a celkových nákladov v porovnaní s nákupnou cenou aerifikačného noža.

V teoretickej časti práce je spracovaná literárna štúdia, ktorá sa zaoberá aerifikáciu a aerifikačnými zariadeniami, metódami identifikácie chemického zloženia materiálov, materiálmi používanými k výrobe aerifikačných nožov, tepelným spracovaním a v poslednej časti mechanickej pevnostnej analýze. Na základe spracovanej literárnej štúdie som získal potrebné poznatky a vedomosti, ktoré som mohol využiť pri riešení a vypracovaní praktickej časti.

V praktickej časti práce som na základe pôvodných aerifikačných nožov s neznámym materiálovým zložením identifikoval materiál nožov pomocou spektrometru LESCO SA 2000 a zistil chemické zloženie materiálu. Z výsledkov chemického zloženia som podľa dostupnosti na trhu zvolil alternatívny materiál aerifikačných nožov ČSN 12 022, pre ktorý bol v programe CATIA V5 R18 vymodelovaný profil aerifikačného noža a ďalej vypracoval technologický postup výroby pre skúšobné vzorky aerifikačných nožov.

Aby aerifikačné nože, mali požadované vlastnosti a to najmä tvrdosť, pevnosť a odolnosť voči opotrebeniu, ďalšou veľmi dôležitou časťou bol návrh tepelného spracovania. Keďže aerifikačný nôž má špecifický tvar, bolo potrebné navrhnuť ohýbacie zariadenie pre vytvorenie ohybu aerifikačného noža. Na základe konštrukčného návrhu a výpočtov som vyrobil ručný ohýbací nástroj pre ohýbanie aerifikačných nožov. Aerifikačný nôž je v procese prevzdušňovania mechanicky namáhaný, teda k overeniu správnosti materiálového, konštrukčného a technologického návrhu som v programe CATIA V5 R18, podrobil nôž pevnostnej analýze. Z výsledkov bolo možné vyhodnotiť, že nôž vyhovuje danému zaťaženiu. Po prevedení pevnostnej analýzy som na základe vyhotovenej výkresovej dokumentácie a technologického postupu vyrobil 16 skúšobných vzorkou. Tieto vyrobené vzorky boli odskúšané pri samotnej aerifikácii, kde na základe skúšky, pri ktorej sa nepreukázali žiadne

poškodenia ani deformácia noža bolo možné ďalej realizovať výrobu požadovaných 100 kusov aerifikačných nožov. Pre výrobu bol vybraný výrobca na základe najvýhodnejšej cenovej ponuky. V závere práce som ekonomicky zhodnotil výrobu aerifikačných nožov, kde celkové náklady na výrobu jedného kusu noža vyšli 2,62 € a v porovnaní s predajnou cenou na trhu bola pri výrobe dosiahnutá úspora približne 3,5 krát. Vyrobené nože boli vymenené namiesto starých nožov na aerifikačnom zariadení, ktoré doposiaľ pracovalo na ploche 96 000 m² a na aerifikačných nožoch neboli pozorované žiadne známky opotrebenia ani poškodenia. Z týchto výsledkov môžeme konštatovať, že inovácia aerifikačných nožov bola úspešná a navrhnuté nože spĺňajú požadovanú funkciu bez porušenia.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] APLIKOVANÁ MECHANIKA: Metóda konečných prvkov. [online]. 2009, [cit. 2009-11-29]. <http://kmech.elf.stuba.sk/dokumenty/APLIMECH/apl1.pdf>
- [2] BARÉNYI, I., MÄSIAR, H., HÍREŠ, O., KASALA, J. Systém klasifikácie materiálov pomocou spektrálneho analyzátora SPECTROLAB JrCCD. In: Zborník prednášok z medzinárodnej vedeckej konferencie TRANSFER 2002, Trenčín: FŠT TnU-AD 2002
- [3] ENGO: Aerifikácia trávnikov [online]. 2009 <http://www.engo.sk/aerifikacia-prevzdusnenie-travnikov.html>
- [4] FINITE ELEMENT METHOD: Vznik metódy. [online]. 2009, [cit. 2009-11-29]. http://kmech.elf.stuba.sk/dokumenty/APLIMECH/prednaska_c2.pdf
- [5] GLOBAL DRN: Základy aerifikácie [online]. 2009, [cit. 2009-10-11]. <http://globaldrn.org>
- [6] JAVOŘÍK, J. Aplikace výpočetních metod. pdf . Zlín: UTB 2007. 57 s
- [7] LABORATÓRNÍ PRÁCE: Identifikace kovů. [online]. 2009, [cit. 2009-10-18]. http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_identifikace_kovu/index.htm
- [8] LUKO: Regenerace a ošetrování trávniků [online]. 2009, [cit. 2009-10-8]. <http://www.luko.biz/regenerace.html>
- [9] LUKOVICS, Imrich. Konstrukční materiály a technologie. 1. vyd. Brno: VUT, 1992. 273 s
- [9] MACHÁČEK, M. Encyklopedie fyziky. Praha: Vydavatelství Mladá fronta, 2001
- [10] MAŇAS, D. Nauka o materiálu, Zlín: UTB, 2005. Tepelné spracování kovů a slitin. doc. 23 s
- [11] PTÁČEK, L. a kol. Nauka o materiálu I. Brno: CERM, 2001. 505 s. ISBN 80-7204-193-2.
- [12] PTÁČEK, L. a kol. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: CERM, 2002. 392 s. ISBN 80-7204-248-3.

- [13] PROFI GREENKEEPER: Aerifikácia [online]. 2009.
http://profigreenkeeper.sk/viewpage.php?page_id=5
- [14] RAŠA, J. a ŠVERCL, J. Strojnícke tabuľky II. Praha: SCIENTA 2007. 586 s. ISBN 978-80-86960-20-30
- [15] SIVÁK, L.: Pevnostná analýza – MKP. [online]. 2009. <http://www.sost.sk/soft-student/fem-mkp.pdf>
- [16] VANOVIČ, J. Atómová fyzika. Bratislava: Vydavateľstvo ALFA, 1980
- [17] VOJTĚCH, D. Kovové konstrukční materiály II. 1.vyd. Praha: VŠCHT 1997. 292 s.

ZOZNAM OBRÁZKOV

<i>Obr. 1 Pôdne profily</i>	13
<i>Obr. 2 Pôdne výrezy a prevzdušnený trávnik</i>	14
<i>Obr. 3 Ručné aerifikátory</i>	16
<i>Obr. 4 Mechanické aerifikátory</i>	16
<i>Obr. 5 Aerifikačné nože</i>	17
<i>Obr. 6 Oblasť plastickej a elastickej deformácie</i>	20
<i>Obr. 7 Rôzne druhy ocelí s špecifickými iskrami</i>	23
<i>Obr. 8 Atómové emisné spektrum</i>	25
<i>Obr. 9 Príklad emisného spektra vodíka</i>	25
<i>Obr. 10 Principiálna schéma AES analyzátora</i>	26
<i>Obr. 11 Atómové emisné spektrum a RTG žiarenie</i>	27
<i>Obr. 12 Laboratórny iskrový a mobilný RTG spektrometer</i>	28
<i>Obr. 13 Vzťah medzi vlastnosťami výrobku</i>	30
<i>Obr. 14 Hlavné nákladové vstupy do výrobku</i>	31
<i>Obr. 15 Rozdelenie tvárných ocelí</i>	33
<i>Obr. 16 Obecný cyklus tepelného spracovania</i>	35
<i>Obr. 17 Mriežky martenzitu a austenitu</i>	37
<i>Obr. 18 Priebehy jednotlivých druhov kalenia</i>	38
<i>Obr. 19 Stav deformácie a posunutia poľa</i>	41
<i>Obr. 20 Postup tvorby FEM analýzy</i>	43
<i>Obr. 21 Geometrický a FEM model</i>	44
<i>Obr. 22 Príklad výsledku prúdovej hustoty telesa</i>	46
<i>Obr. 23 Príklad výsledkov napätia votknutého nosníka</i>	47
<i>Obr. 24 Príklad výsledkov deformácie votknutého nosníka</i>	47
<i>Obr. 25 Poškodený aerifikačný nôž</i>	50
<i>Obr. 26 Aerifikačný nôž</i>	53
<i>Obr. 27 Rozmery aerifikačného noža</i>	54
<i>Obr. 28 Obrábacie stroje dielne UTB</i>	54
<i>Obr. 29 Dráha pohybu a uchytenie aerifikačných nožov</i>	56
<i>Obr. 30 Schéma ohýbania a pôsobenia ohýbacej sily</i>	56
<i>Obr. 31 Diagram ťahovej skúšky skutočného s konvenčného priebehu</i>	57

<i>Obr. 32 Uhol ohybu a odprużenia.....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 33 Náčrt držiaka a 3D model.....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 34 Náčrt ohýbacieho trňa a 3D model</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 35 Náčrt čapu, puzdra, platne páky a 3D modely</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 36 Náčrt ohýbacieho kolíka a 3D modely.....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 37 Páky ohýbacieho nástroja a 3D modely</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 38 Schéma pôsobenia síl na ohýbacom nástroji.....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 39 Ohýbací nástroj</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 40 Priebeh ohybového momentu ohýbacieho trňa pri ohýbaní</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 41 Zvarové spoje ohýbacieho nástroja</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 42 Zaťaženie zvarového spoja 1</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 43 Zjednodušený Smithov diagram.....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 44 Zaťaženie zvarového spoja 2</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 45 Zaťaženie zvarového spoja 3</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 46 Cementačná vrstva.....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 47 Anizotermický rozpad austenitu.....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 48 Grafický priebeh cementácie a kalenia</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 49 Výsledná štruktúra po kalení</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 50 Sily pôsobiace na aerifikačné nože.....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 51 Schéma silového pôsobenia na aerifikačný nôž.....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 52 3D model aerifikačného noža</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 53 Upevnenie a zaťaženie aerifikačného noža.....</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 54 Priebeh hlavného tenzorového napätia</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 55 Priebeh deformácie.....</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 56 Von Missesovo porovnávacie napätie.....</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 57 Skúšobné vzorky aerifikačných nožov.....</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 58 Sekcia so skúšobnými vzorkami</i>	<i>87</i>

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Symbol	Jednotka	Význam
A	[]	ťažnosť
A1	[]	prekryštalizačná teplota pri 723 °C
A3	[]	prekryštalizačná teplota pre podeutektoidné ocele
AES	[mm]	atómové emisné spektrum
ap	[mm]	rameno ohýbacej sily
α	[°]	uhol ohybu
ARA	[]	anizotermický rozpad austenitu
b	[mm]	šírka obdĺžnikovej plochy
Bf	[]	bainit finish
Bs	[]	bainit start
CAD	[]	Computer Aided Design (počítačom podporovaný dizajn)
D	[mm]	vonkajší priemer noža
d	[mm]	vnútorný priemer noža
DR	[]	Diferenciálna rovnica
dt	[mm]	priemer ohýbacieho trňa
ϵ	[]	pomerné predĺženie
E	[MPa]	modul pružnosti
F1	[N]	ohýbacia sila
F2	[N]	minimálna sila na ramene páky
FEM	[]	Finite Element Method (metóda konečných prvkov)
Fgk	[N]	tiažová sila kotúča
Fgk ₂	[N]	tiažová sila pôsobiaca na nôž 2
F _i	[N]	výslednica síl

F _{rp}	[N]	reakčná sila pôdy
F _x	[N]	silu pôsobiacu v smere x
F _y	[N]	silu pôsobiacu v smere y
F _z	[N]	silu pôsobiacu v smere z
h	[mm]	výška obdĺžnikovej plochy
HRC	[]	Hardness by Rockwell (tvrdosť podľa Rockwella)
IRA	[]	izotermický rozpad austenitu
k	[]	súčiniteľ bezpečnosti
k _p	[]	súčiniteľ pôdy
L	[mm]	dĺžka vzorku
L ₀	[mm]	pôvodná dĺžka vzorku
l ₁	[mm]	výpočtová dĺžka zvaru 1
l ₁ '	[mm]	dĺžka zvaru 1
l ₂	[mm]	výpočtová dĺžka zvaru 2
l ₂ '	[mm]	dĺžka zvaru 2
l ₃	[mm]	výpočtová dĺžka zvaru 3
l ₃ '	[mm]	dĺžka zvaru 3
M ₁	[Nmm]	ohybový moment
M _f	[]	martenzit finish
m _k	[kg]	hmotnosť kotúča
MKP	[]	Metóda Konečných Prvkov
M _{o1}	[Nmm]	ohybový moment od sily F1
M _{ot}	[Nmm]	ohybový moment trňa
m _s	[kg]	hmotnosť sekcie
M _s	[]	martenzit start

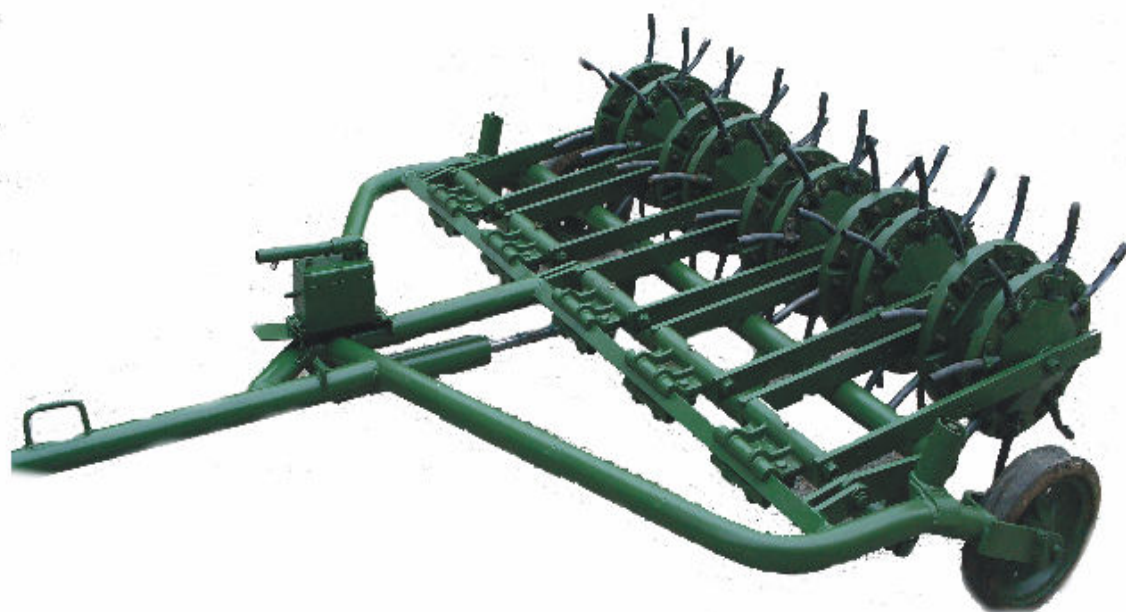
M_x	[Nmm]	moment sily v smere x
M_y	[Nmm]	moment sily v smere y
M_z	[Nmm]	moment sily v smere z
M_{zv_1}	[Nmm]	ohybový moment zvaru
N_c	[€]	celkové náklady
N_n	[€]	náklady na nástroj
P_f	[]	perlit finish
P_s	[]	perlit start
R	[mm]	polomer ohybu
R_{ax}	[N]	reakčná sila v smere x
R_{ay}	[N]	reakčná sila v smere y
R_e	[MPa]	medza klzu
R_m	[MPa]	medza pevnosti
RTG	[]	Röntgenové žiarenie
S_n	[mm ²]	plocha noža
S_{n_1}	[mm ²]	plocha medzikružia noža
t	[mm]	hrúbka steny noža
W_o	[mm ³]	prierezový modul
W_{ozv}	[mm ³]	prierezový modul zvaru
x	[mm]	dĺžka ramena páky
x_1	[mm]	rameno ohýbacej sily
x_3	[mm]	rameno sily F1 pre zvar1
x_4	[mm]	rameno sily F2 pre zvar2
x_5	[mm]	rameno sily F2 pre zvar 3
x_t	[mm]	dĺžka třínu

z	[mm]	dĺžka odvesny zvaru
σ_{AD}	[MPa]	dovolené napätie zvaru
σ_{DOV}	[MPa]	dovolené ohybové napätie
σ_F	[MPa]	pomocné napätie
σ_h	[MPa]	horné napätie cyklu
σ_M	[MPa]	stredné napätie cyklu
σ_{O1}	[MPa]	ohybové napätie od sily F1
σ_{Ot}	[MPa]	ohybové napätie tŕňa
σ_{zv}	[MPa]	ohybové napätie zvaru

ZOZNAM TABULIEK

<i>Tab. 1 Rozdelenie a charakteristika aerifikačných nožov</i>	17
<i>Tab. 2 Príklad priebehu napätia votknutého nosníka</i>	47
<i>Tab. 3 Merací protokol emisnej spektrálnej analýzy</i>	51
<i>Tab. 4 Chemické a mechanické vlastnosti oceli 12 022</i>	52
<i>Tab. 5 Návrh technologických operácií výroby vzorkou aerifikačných nožov</i>	55
<i>Tab. 6 Ochladzovacia intenzita</i>	73
<i>Tab. 7 Cementačný program aerifikačných nožov</i>	74
<i>Tab. 8 Parametre pri kalení</i>	76
<i>Tab. 9 Merný odpor pôdy</i>	79
<i>Tab. 10 Materiálové konštanty</i>	81
<i>Tab. 11 Parametre siete</i>	82
<i>Tab. 12 Kvalita siete</i>	82

PRÍLOHA P I: AERIFIKAČNÉ ZARIADENIE



PRÍLOHA P II: PRIEBEH AERIFIKÁCIE



PRÍLOHA P III: VÝKRESOVÁ DOKUMENTÁCIA