

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA

1127326

BAKALÁRSKA PRÁCA

2010

Marek Urminský

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

**MOŽNOSTI ZNÍŽENIA VNÚTORNÝCH NAPÄTÍ
V MATERIÁLI PO ZVÁRANÍ**

Bakalárska práca

Študijný program:	Poľnohospodárska technika
Študijný odbor:	5. 2. 46 Poľnohospodárska a lesnícka technika
Školiace pracovisko:	Katedra kvality a strojárskych technológií
Školiteľ:	Ing. Rastislav Bernát, PhD.

Nitra 2010

MAREK URMINSKÝ

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE

Technická fakulta
Katedra kvality a strojárskych technológií

Akademický rok: 2008/09

ZADÁVACÍ PROTOKOL BAKALÁRSKEJ PRÁCE

Študent: **Marek URMINSKÝ**

Študijný odbor: **Poľnohospodárska a lesnícka technika**
Študijný program: **Poľnohospodárska technika**

V zmysle 3. časti, čl. 21 Študijného poriadku SPU v Nitre z roku 2005 Vám zadávam
tému bakalárskej práce:

Možnosti zníženia vnútorných napätí v materiáli po zváraní

Cieľ práce:

Teoreticky spracovať možnosti zníženia vnútorných napätí v materiáli po zváraní

Rámcová metodika práce:

1. Štúdium literatúry a zhodnotenie súčasného stavu riešenia.
2. Postup práce:
 - Charakterizovať materiál zvarku
 - Popísať vznik vnútorných napätí a tepelné ovplyvnenie materiálu
 - Spôsoby obmedzenia vzniku vnútorných napätí po zváraní
3. Spôsob vyhodnotenia: teoretické návrhy riešenia problémov pri vzniku vnútorných napätí a ich odstránenia na základe overených skutočností

Rozsah grafických prác: Podľa potreby a určenia vedúceho bakalárskej práce

Rozsah textovej časti: 25-30 strán

Literatúra:

1. BALOG, J. – ČIČO, P. : Spoľahlivosť strojov 1,2. Nitra: ES SPU. 2002. 301s. ISBN 80-8069-060-X
2. BLAŠKOVITŠ, P. – ČOMAJ, M. : Renovácia naváraním a žiarovým striekaním. Bratislava: STU, 2006. 204 s. ISBN 80 – 227 – 2482 – 3
3. <http://www.4weld.sk>.
4. <http://www.strojnictvo.depi.sk>
5. Zborníky vedeckých prác z vedeckých konferencií z oblasti vnútorných napätí po zváraní.

Vedúci bakalárskej práce: **Ing. Rastislav Bernát, PhD.**

Konzultant bakalárskej práce: **Ing. Ján Kysel'**

Dátum zadania bakalárskej práce: **december 2008**

Harmonogram postupu prác:

1. Štúdium problému a spracovanie prehľadu literatúry – september 2009
2. Vypracovanie metodiky – september 2009
3. Vlastná práca – december 2009
4. Prezentácia bakalárskej práce na katedrovom seminári – február 2010
5. Spracovanie a vyhodnotenie vlastnej práce – apríla 2010

Dátum odovzdania bakalárskej práce: **apríl 2010**

doc. Ing. Peter Čičo, CSc.
vedúci katedry

prof. Ing. Vladimír Kročko, CSc.
dekan

ABSTRAKT

Jedným s faktorov existencie ľudstva je poľnohospodárska výroba, realizovaná cez poľnohospodársku techniku na výrobu ktorej sú kladené čoraz väčšie požiadavky. Vo zvaroch častí strojov vznikajú vnútorné napätia, ktoré je snahou výrobcov poľnohospodárskych strojov znížiť alebo odstrániť. Na vznik týchto napätí vplyva veľa vonkajších aj vnútorných činiteľov. Ak chceme predĺžiť životnosť týchto častí strojov musíme im venovať dostatočnú pozornosť aj z hľadiska štruktúry materiálu. Bakalárska práca sa zameriava na teoretické spracovanie a praktické návrhy možnosti zníženia vnútorných napätí v materiáli, riešenia a možnosti na ich odstránenie. V práci sú spracované materiály z ktorých sa vyrábajú konštrukcie poľnohospodárskych strojov vo vybranom podniku, popis vzniku vnútorných napätí po zvarení a následky zvarovania. Práca je koncipovaná na základe problémov z praxe z ktorých sa snažím navrhnúť praktické riešenia na ich odstránenie. Vnútorné napätie v materiáli si zasluhuje veľkú pozornosť pretože je nežiadúce, ťažko sa určí a nákladne sa odstraňuje. Cieľom práce bolo navrhnúť jednoduché a technicky prístupné opatrenia na predídenie vzniku vnútorných napätí a následne ich odstránenie.

Kľúčové slová: vnútorné napätie v materiáli, tepelné ovplyvnenie materiálu, materiál zvaru, zvarovanie, žíhanie.

ABSTRAKT V CUDZOM JAZYKU

There are many factors for existence of the universe. One of them is agricultural production. It has been realized thru agricultural technology which quality has to be more and more advanced. In welding parts of agricultural machines is developed internal tension which needs to be decreased or removed by agricultural producers. The origin of the tension is affected by many external and internal factors. The structure of the material is important for prolongation of lifetime of these parts of the machine. Bachelor paper is oriented on theoretical processing and practical application for possibilities of decreasing of internal tension in material, solution and possibilities for elimination. There are processed materials for producing construction of agricultural machines in chosen firm in this paper. There is also description of the origin of the internal tension after welding and consequences of the welding. The paper was written on base of problems from experience where I try to suggest practical solution for elimination of the problems. The internal tension in material has to have a lot of attention because is unwilling, difficult to find and expensive for elimination. The aim of the study was to suggest basic and technical available arrangements to prevent origin of the internal tension and in consequence to eliminate it.

Key words: internal tension in material, thermal effect on material, material of the welding parts, welding, annealing

ČESTNÉ VYHLÁSENIE

Podpísaný Marek Urminský vyhlasujem, že som bakalársku prácu na tému „Možnosti zníženia vnútorných napätí v materiáli po zváraní“ vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomý zákonných dôsledkov v prípade, ak horeuvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre 4.apríla 2010

.....
Marek Urminský

POĎAKOVANIE

Touto cestou chcem vyjadriť poďakovanie môjmu školiteľovi bakalárskej práce Ing. Rastislavovi Bernátovi, PhD. a technickým pracovníkom katedry za pomoc, odborné vedenie, cenné rady a pripomienky pri vypracovaní mojej bakalárskej práce.

V Nitre 4.apríla 2010

.....
Marek Urminský

Obsah

Úvod	11
1. Cieľ práce	12
2. Materiál a metódy	13
2.1. Charakteristika materiálov	13
2.2. Rozdelenie materiálov	13
2.3. Zvariteľnosť materiálov	16
2.4. Tepelné ovplyvnenie materiálu pri zváraní	18
2.4.1. Teplotné polia v materiáli	19
2.4.2. Šírenie tepla v materiáli	20
2.5. Vznik a rozdelenie vnútorných napätí po zváraní	21
2.6. Vplyv tepla na napätie	27
3. Výsledky práce – štúdia o súčasnom stave problematiky	31
3.1. Nové technológie určenia zvyškových napätí	31
3.2. Spôsoby obmedzenia vzniku vnútorných napätí po zváraní	32
3.3. Možnosti zníženia vnútorných napätí po zváraní	35
3.4. Spôsoby odstránenia vnútorných napätí po zváraní	36
3.4.1. Žíhanie	36
3.4.2. Vibrovanie	39
3.4.3. Preťažovanie	40
4. Návrh na využitie výsledkov v praxi	41
5. Záver	42
6. Použitá literatúra	43

Použité skratky a označenia

R_e – medza klzu	[MPa]
R_u – medza úmarnosti	[MPa]
σ – napätie	[MPa]
ε – deformácia	-
R_E – medza pružnosti	[MPa]
R_m – medza pevnosti	[MPa]
F_M – sila maximálna	[N, kN]
S_0 – prierez materiálu pôvodný	[mm ²]
E – modul pružnosti	[MPa]
T_1 – teplota	[°C]
t – čas	[s]
Z_p – uhlové presadenie	[mm]
φ – uhlové presadenie	[°]

ÚVOD

Jedným z faktorov existencie ľudstva je poľnohospodárska výroba. Táto výroba sa realizuje prostredníctvom poľnohospodárskej techniky.

Čoraz častejšie sa stretávame s tým, že náročnosť na túto techniku stále narastá. V častiach strojov, ktoré sú zvarcami dochádza k vnútorným napätiam a tie bývajú nežiadúce. Problémy pri znižovaní vnútorných napätí v materiáli pri zvaraní však nevznikajú len pri výrobe poľnohospodárskej techniky a iných odvetviach strojárskoho priemyslu, ale aj pri renovačných technológiách. Negatívne vplyvajú na chod a životnosť stroja a preto sa ich snažíme minimalizovať prípadne odstrániť.

Široký sortiment technológií na odstránenie vnútorných napätí nás núti hľadať tie, ktoré by sme čo najefektívnejšie uplatnili. Výber tej najlepšej technológie je ovplyvnený mnohými faktormi a jednotlivé zložky medzi sebou úzko súvisia.

Medzi najznámejšie patria:

- žihanie na odstránenie napätí,
- vibrovanie,
- preťaženie.

Ich účelom je, aby sme sa čo najviac dostali k rovnovážnemu stavu ocele aký bol pred tepelným ovplyvnením.

Ďalšou možnosťou je predchádzať vzniku zvyškových napätí:

- konštrukčnými opatreniami,
- technologickými opatreniami (výber materiálu, metóda zvarania).

Proces zvarania a výber základných a návarových materiálov prechádzalo počas svojej existencie rôznymi etapami vývoja. Vhodnou kombináciou materiálov a zvaracieho postupu môžeme napätia znížiť alebo presmerovať do menej dôležitých lokalít, prípadne ich eliminovať na minimum.

Odstránenie napätí po zvaraní zahŕňa súbor operácií a prebieha v určitom prostredí, ktoré sú totožné s inými oblasťami strojárskoho výroby. Obsahuje zvláštnosti a je významným článkom v oblasti výroby. Cieľom mojej práce je teoreticky spracovať návrhy spôsobov zníženia vnútorných napätí po zvaraní, vzhľadom na technické a ekonomické možnosti podniku na základe overených skutočností.

1. CIEĽ PRÁCE

Renovačné postupy vo zváraní v poľnohospodárskej praxi sú v neposlednom rade ovplyvňované vlastnosťami nových materiálov a ich možnosťami tepelného ovplyvnenia. Zmena štruktúry materiálov spôsobená tepelným ovplyvnením pri technológii zvárania prípadne navárania má vplyv na ďalšiu prevádzkyschopnosť celého zariadenia.

Jedným veľmi dôležitým sprevádzajúcim javom pri zmene štruktúry materiálu je vznik vnútorných napätí, ktoré majú vo väčšine prípadoch nežiadúce účinky. Snahou ďalších technologických postupov je toto napätie minimalizovať prípadne odstrániť.

Cieľom bakalárskej práce je teoreticky spracovať príčiny vzniku vnútorných napätí v materiáli po zváraní, identifikovať ich a nájsť riešenia a možnosti na ich odstránenie. Taktiež je potrebné poskytnúť informácie o opatreniach, ktoré majú predchádzať vzniku prípadne odstrániť vnútorné napätia.

2. MATERIÁL A METÓDY

2.1 Charakteristika materiálu

Železný materiál od svojho počiatku prechádzal rôznymi štádiami vývoja. Ľudia časom zistili, že materiál tepelným ovplyvneným mení svoje vlastnosti. Na celom svete veľmi rýchlo vzrástla spotreba technických materiálov potrebných k výrobe zváraných oceľových konštrukcií.

Snahou priemyslu je v súčasnosti (Kolektív autorov, 2001):

- snažiť sa hospodárne využívať technické materiály (zmenšovanie hmotnosti strojov, zavádzanie modernejších technologických postupov...),
- náhradou mohutných materiálov z menšou pevnosťou menej masívnym materiálom z väčšou pevnosťou,
- správne hospodáriť s odpadovým materiálom – využitie zberných surovín.

Všetky tieto činnosti ovplyvňuje konštruktér, technológ, vývojový pracovník a ďalší ľudia, ktorí prichádzajú s materiálmi do styku.

Aby sme mohli správne a hospodárne využívať materiál musíme dobre poznať a chápať jeho vlastnosti a vedieť ich čo najpresnejšie zistiť.

Podľa Skočovského (1995) medzi základné vlastnosti materiálu patria:

- tepelné vlastnosti,
- mechanické vlastnosti.

2.2 Rozdelenie materiálov

Pre praktické riešenie materiálových problémov je vhodné rozdelenie oceli do skupín. V minulosti a ešte aj v súčasnosti ČSN a STN používa rozdelenie ocelí po čísle. Ocele podľa STN 420002 (tabuľka 1) boli zaradené do tried podľa chemického zloženia, s ohľadom na účel použitia ocele. Pri triedach ocele 10 a 11 ďalšie dvojčíslice označuje minimálnu pevnosť v ťahu $\times 10$ MPa, prie triedach ocele 12 až 16 tretia číslica označuje stredný obsah legujúcich prvkov v percentách, štvrtá číslica obsah uhlíka v desatinách percentách. Ocele triedy 17 sú stredne a vysoko legované Cr, Ni, Mn ocele a ocele triedy 19 sú nástrojové ocele. Prvé doplnkové číslo za bodkou znamená druh tepelného spracovania 0 – bez tepelného spracovania, 1 – normalizačne žiňaná, 2 –

žíhaná (uvedie sa druh), 3 – žíhaná na mätko, 4 – kalená alebo nízko popustená, 5 – normalizačne žíhaná a popustená, 6 – zušľachtená na dolnú medzu klzu, 7 – zušľachtená na strednú medzu klzu, 8 – zušľachtená na hornú medzu klzu, 9 – zvláštny stav tepelného spracovania.

Tab.1
[Rozdelenie ocelí do tried podľa STN 420002]

Trieda ocele	Miera legovania	Charakteristika ocele Predpísané obsahy prvkov
10	Nelegované	Nepredpísané chemické zloženie
11		Predpísané: C, Mn, Si, P, S
12		Uhlíkové predpísané: C, Mn, Si, P, S
13	Nízkolegované	Mangánové, mangán-kremíkové predpísané: Mn, Si, Mn-Si, Mn-V
14		Chrómové predpísané: Cr, Cr-Mn, Cr-Si, Cr-Mn Si
15		Chróm-molybdénové, chróm-vanadové predpísané: Mo, Mn-Mo, Cr-Mo, Cr-V, Cr-W, Mn- Cr-V, Cr-Mo-V, Cr-Si-Mo-V
16	Stredne a vysokolegované	Nikel-chrómové predpísané: Ni, Cr- Ni, Ni-V, Cr-Ni-Mn, Cr-Ni-V, Cr- Ni-W, Cr-Ni-Mo, Cr-Ni-V-W
17		Stredne a vysoko legované chróm – niklové predpísané: Cr, ni, Cr-Ni, Cr-Mo, Cr-V, Cr-Ni-Mo, atď.

Modernizáciou a príchodom nových výrobných technológií pre spracovanie ocele vznikli a boli zavedené aj iné systémy označovania oceli. Podľa medzinárodnej komisie ISO – TC 17 rozdeľuje konštrukčne tvárnené ocele do 6 kategórií. Sú odstupňované na základe odolnosti proti krehkému porušeniu A, B, C, D, E, F.

- kategória A – ocele tejto kategórie nespĺňajú požiadavku proti krehkému porušeniu. Nemali by sa zvärať, a nemajú zaručenú húževnatosť pri teplote okolia.
- kategória B – majú definovanú húževnatosť pri teplote okolia a môžu sa použiť pre zváranie konštrukcií malej hrúbky a vystaveniu

normálnym zaťažovacím podmienkam.

- kategória C, D – možnosť použitia v konštrukciách, ktorých zložitosť, veľkosť alebo prevádzkové podmienky vyvolávajú riziko krehkého porušenia.
- kategória E, F – majú najväčšiu odolnosť proti krehkému porušeniu a preto sa používajú všade tam, kde je vzhľadom na zložitosť konštrukcie jej veľmi extrémne namáhanie.

Ďalším novým označovaním ocelí je označenie podľa EN 10027-1. Značky musia obsahovať nasledujúce symboly:

- S – konštrukčné ocele,
- P – ocele na tlakové zariadenia,
- L – ocele na potrubia,
- E – ocele na strojové súčiastky,
- B – ocele na výstuž do betónu,
- Y – ocele na predpätú výstuž do betónu,
- R – ocele na koľajnice alebo výpalky podobného druhu,
- H – ploché výrobky valcované za studena,
- D – ploché výrobky na tvárnenie za studena,
- T – pocínované valcované výrobky,
- M – ocele na elektrotechnické úseky.

Po týchto písmenách nasledujú ďalšie čísla a písmená, ktoré podrobne rozoberá norma.

Materiál zvarku na zvárané konštrukcie, ktorým sa venujem vo svojej práci sa používajú nelegované ocele triedy 10 a 11 podľa STN 420002 zo zaručenou zvariteľnosťou, t.j. s obsahom uhlíka do 0,22 %. Tenké plechy a výkovky sa normalizačne žíhajú. Účelom je podľa Ballu – Mikuša - Cvikovej (2007) zjemnenie hrubého zrna vytvoreného liatím alebo tvárnením pri vysokých teplotách a zlepšenie obrobitel'nosti. Má nám zabrániť aj vzniku veľkých vnútorných napätí pri zváraní konštrukcií.

Kálna (1998) vo svojej práci píše o tom, že zo zvyšujúcimi sa požiadavkami na kvalitu ocele sa nám automaticky zvyšujú aj požiadavky na kvalitu zvarového spoja. Konštatuje, že v normách pre zvárané konštrukcie platia rovnaké požiadavky na vlastnosti zvarových spojov ako na základný materiál. Zvarový spoj by nemal

v žiadnom prípade znehodnotiť úžitkové vlastnosti základného materiálu. Napriek tomu má zvarový spoj z pravidla odlišné vlastnosti ako základný materiál.

Napät'ové charakteristiky konštrukčných ocelí nám stanovuje skúška ťahom podľa STN EN 10002.

Podľa ktorej určujeme:

- medzu úmernosti R_U , napätie σ je úmerné deformácií ϵ , platí Hookeov zákon $\sigma = E \cdot \epsilon$
- modul pružnosti E je konštantou úmernosti medzi deformáciou a napätím
- medzu pružnosti R_E
- medzu klzu R_e
- medzu pevnosti R_m , stanoví sa ako podiel sily maximálnej F_M a pôvodného prierezu S_0

Prídavný materiál nám tiež v veľkej časti ovplyvňuje kvalitu spoja. Volíme ho tak, aby bol čo najviac podobný zváranému materiálu a to či už po mechanickej ako aj chemickej stránke (Kálna, 1998).

Na zváranie mäkkých ocelí typu S 235, S 275 nemáme prídavné materiály z dostatočne nízkou medzou klzu, zvarový kov je vždy pevnejší ako základný materiál. Na zváranie ocelí z vyššou medzou klzu $R_e > 420$ MPa, je už dostatok možností voľby prídavného materiálu. To ako zvoliť základný a k tomu prídavný materiál už dlhú dobu zaujíma všetkých odborníkov v oblasti zvarových spojov a zvárania. Zavádzanie rôznych konštrukčných programov nám vytvára nové dimenzie v riešení tohto typu problémov.

2.3 Zvariteľnosť materiálu

Pojem zvariteľnosť kovového materiálu a jeho definícia bola prijatá až koncom šesťdesiatych rokov minulého storočia. Podľa Medzinárodnej normalizačnej organizácií – ISO sa: „Kovový materiál považuje za zvariteľný na stanovený stupeň pre daný proces a pre daný účel, ak možno dosiahnuť spojenie kovov použitím vhodného postupu, takže spoje zodpovedajú požiadavkám špecifikovaným vzhľadom na ich miestne vlastnosti a vzhľadom na ich vplyv na konštrukciu, ktorej súčasťou tvoria“.

Magula (2008) uvádza, že základom výroby ocele požadovanej kvality okrem vhodne navrhnutého chemického zloženia, sú fyzikálne mechanizmy spevňovania

mriežky železa. Pokiaľ tieto mechanizmy môže riadiť tak dosahuje vyrobený materiál požadovanú vlastnosť. Na opačnej strane pri zváraní tie isté mechanizmy spevňovania nie je možné riadiť do dôsledku, čo zvyčajne vedie k neželanej zmene teplom ovplyvnenej oblasti zvarového spoja. V takomto prípade hovoríme o vnútorných napätiach v materiále alebo degradačných mechanizmoch.

Zváračský technológovia tvrdia, že voľba správneho koncepčného riešenia a vhodných materiálov je základnou a najnáročnejšou úlohou projektanta pri navrhovaní spoľahlivých a ekonomických oceľových konštrukcií. Materiály často limitujú rozmery alebo únosnosť konštrukcie a majú významný vplyv aj na koncepčné riešenie. Projektant má zvoliť také materiály, z ktorých možno najľahšie a najlacnejšie vyrobiť oceľovú konštrukciu, ktorá bude spoľahlivo slúžiť počas celej životnosti pri optimálnych prevádzkových nákladoch.

Najzákladnejším materiálom používaným v technickej praxi na zváranie je oceľ. Kolektív autorov (2000) uvádza, že vlastnosti ocele závisia od jej výroby. Oceľ sa vyrába zo surového železa, vytaveného vo vysokej peci skujňovaním. Skujňovanie spočíva v tom, že roztavená vsádzka surového železa a šrotu obsahuje vysoké množstvo uhlíka (nepripustné pre zváranie materiálov) a nečistôt, najmä síry a fosforu.

Po dosiahnutí žiadaného percenta obsahu uhlíka sa do tavby pridávajú legujúce prvky a oceľ sa odlieva do kokíľ. Nesprávnym postupom môže prísť k chybám v oceliach. Častými chybami sú nevyhovujúce chemické zloženia. Môže to spôsobiť i nevhodný spôsob odlievania. Vznik niektorých chýb môže pri zváraní spôsobovať vznik vnútorných napätí, ktoré vedú až k deformácii prípadne k prasknutiu zvaranej oceľovej konštrukcie.

Z hľadiska mechanických vlastností sú materiáli pri zváraní a používaní vystavené rôznym namáhaniam, ako sú ťah, tlak, krut, strih a ohyb. Tieto namáhania obvykle nepôsobia samostatne, ale v konštrukcii zvarku v rôznych kombináciách. Napríklad materiál je namáhaný súčasne ťahom, ohybom aj krutom. Hovoríme teda o tom, že je vystavený zloženému namáhaniu. Aby mohol týmto namáhaniam odolávať musí mať určité vlastnosti ako pevnosť, pružnosť, tvrdosť, tvárnosť a pod. (Balla, 2007).

2.4 Tepelné ovplyvnenie materiálu

Podľa Veleja (1985) sú základné tepelné vlastnosti:

- Teplota tavenia a tuhnutia – je to teplota, pri ktorej látka mení svoje skupenstvo.

Pri tejto teplote sa rozkladá kryštalická stavba tuhých látok.

- Tepelná vodivosť – je to množstvo tepla, ktoré prejde za jednotku času medzi dvoma stenami hranola. Materiál má schopnosť prenášať tepelnú energiu prostredníctvom tepelných kmitov častíc v uzlových bodoch mriežky a aj pohybu vodivých elektrónov z miest s vyššou teplotou do miest s nižšou teplotou.

Tepelné energia pri zvaraní nám veľkou formou prispieva ku vzniku napätí. Tie sú pri tepelnom ovplyvnení materiálu neoddeliteľným sprievodným znakom zvarania. Zdroj tepla je potrebný na roztavenie základného a prídavného materiálu. Z toho dôvodu je nutný pohyb zdroja tepla v priebehu zvarania. V mieste pôsobenia tepelného zdroja dochádza k roztaveniu zvaraných materiálov a k tepelnému ovplyvneniu základného materiálu. Pohybom tepelného zdroja dochádza k súvislému taveniu ďalšieho materiálu a materiál, ktorý je roztavený začína chladnúť. Každé miesto materiálu takto prechádza tepelným ovplyvnením.

Tepelné ovplyvnenie materiálu (Konštrukcia a navrhovanie, 2001) teda môžeme vyznačiť nasledujúcimi štádiami:

- štádiom ohrevu, teplotu vzrastá na maximálnu teplotu, ktorá je pri tavných spôsoboch zvarania vyššia ako teplota tavenia zvaraných materiálov,
- štádiom zotrvania na maximálnej teplote,
- štádiom ochladzovania.

Pri rozbere tepelného ovplyvnenia materiálu je nevyhnutné poznať:

- rýchlosť ohrevu,
- maximálnu dosiahnutú teplotu,
- čas zotrvania na maximálnej teplote,
- rýchlosť chladnutia.

Pri technológii (Výroba a inžinierské aplikácie, 2001) z vyššou plošnou hustotou tepelného toku (množstvo tepla dodaného na jednotku plochy) je rýchlosť ohrevu na maximálnu teplotu a rýchlosť ochladzovania veľmi rýchla, čo je z hľadiska tepelného ovplyvnenia materiálu výhodnejšie. Ak je plošná hustota tepelného toku nižšia trvá dlhší čas kým sa materiál roztaví. To však nepriaznivo vplyva na okolitý materiál, ktorý

pohlcuje značnú časť tepla a zapríčiňuje aj pomalšie ochladzovanie. Pri šírení tepla v materiáloch sa najviac uplatňuje vedenie tepla. Rozloženie teplôt okolo miesta, do ktorého sa sústreďí tepelný zdroj, je možné znázorniť čiarami s rovnakými teplotami. Tieto čiary nazývame izotermy.

2.4.1 Teplotné polia v materiáli

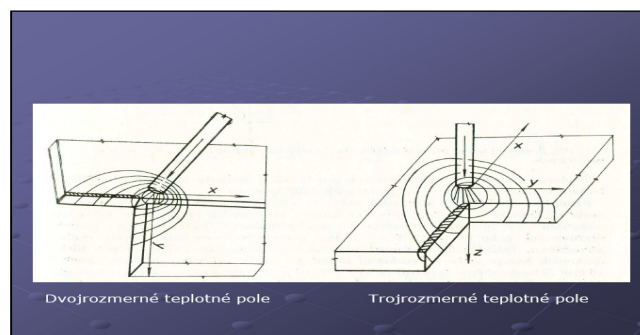
Teplotné pole v materiáli môžeme charakterizovať aj ako súhrn okamžitých hodnôt teplôt vo všetkých bodoch sledovaného priestoru. Ak chceme určovať tepelné ovplyvnenie materiálu v jednotlivých bodoch alebo v určitých pásmach uskutočňujeme to na základe riešenia teplotných polí alebo teplotných cyklov pri zváraní.

Ak je teplota funkciou času hovoríme o nestacionárnom teplotnom poli. Keď sa však teplota s časom nemení hovoríme o stacionárnom teplotnom poli. Výpočet nestacionárnych teplotných polí je základom pre analýzu okamžitých a zvyškových napätí. Teploty sú zadávané do uzlov jednotlivých zvarov. Výpočet teplotných polí je matematicky veľmi náročný. Predstavuje samostatný vedný odbor s rozsiahlou odbornou literatúrou (Mičian, 2006).

Ďalej môžeme teplotné pole v materiáli rozdeliť na:

- jednorozmerné (napr. elektróda) os z a čas,
- dvojrozmerné (napr. tenké plechy) os x , y a čas,
- trojrozmerné (napr. hrubé plechy) os x , y , z a čas.

Obrázok 1 znázorňuje dvojrozmerné a trojrozmerné teplotné pole v materiáli.



Obr.1
[Dvojrozmerné a trojrozmerné teplotné pole (Mičian 2006)]

Tvar teplotného poľa (www.materialing.whian.net) je závislý od viacerých činiteľov, z ktorých sú najvýznamnejšie tieto:

- veľkosť tepelného zdroja, charakterizovaná merným tepelným príkonom zvárania,
- tepelná vodivosť základného materiálu,
- teplota základného materiálu,
- rýchlosť zvárania,
- rozmery, najmä hrúbka zváraných častí.

O teplotnom cykle hovoríme vtedy, ak udávame zmenu teploty v čase v danom bode zvarového spoja, predovšetkým tepelne ovplyvnenej oblasti materiálu. Tepelný cyklus nám určujú tieto charakterizujúce kritéria:

- maximálna teplota cyklu,
- čas chladnutia cyklu.

Pomocným kritériom charakterizujúcim teplotný cyklus v materiáli môže byť rýchlosť ohrevu. Jej veľkosť závisí od posunu teplôt smerom k vyšším hodnotám.

2.4.2 Šírenie tepla v materiáli

Podľa Ivanča a Kostolného (2007) sa pri zváraní teplo jednak šíri kondukciou (vedenie tepla materiálu) z miesta zvaru do ostatných častí materiálu, jednak sa prenáša do okolia prostredníctvom konvekcie (prúdenie tepla v materiále) a radiácie (sálanie tepla v materiále). Kondukcia je zahrnutá do riešenia metódou konečných prvkov, konvekcia a radiácia predstavujú okrajové podmienky.

V mnohých prípadoch potrebujeme zaistiť zvýšenie tepelného prenosu alebo zabrániť tepelnému prenosu. Kondukciu môžeme riešiť pomocou Fourierovho zákona: „rýchlosť šírenia tepla v tuhom telese je priamo úmerná gradientu teploty a ploche kolmej na smer toku tepla“.

Podľa zdroja (www.stubadiverz.sk) sa kondukcia uskutočňuje molekulárnym prenosom energie medzi látkami alebo ich časticami, ktoré sa stýkajú a majú rôznu teplotu. V kovových materiáloch sa na ňom podieľajú voľné elektróny. Kvantitatívne závisí od fyzikálnych vlastností, geometrických tvarov a rozmerov látok vedúcich teplo a od rozdielu teplôt medzi ich časťami prípadne povrchmi. Kondukcia je vlastne najčastejší spôsob šírenia tepla v pevných látkach.

Prenos tepla konvekciou je len v kvapalinách a plynoch.

Prenos tepla radiáciou prebieha medzi telesami v prostredí prepúšťajúcom aspoň z časti elektromagnetické vlny. Je to jediný spôsob, akým sa môže teplo šíriť vo vákuu.

2.5 Vznik a rozdelenie vnútorných napätí

Technologické, kvalitatívne a najmä ekonomické aspekty v súčasnosti často krát nedovoľujú vyhotoviť výrobok z jedného celku. Tým sa otvára priestor pre technológiu zvárania, ktorá z menších častí vytvorí ich nerozoberateľným spojením väčší celok – nazývaný zvarok.

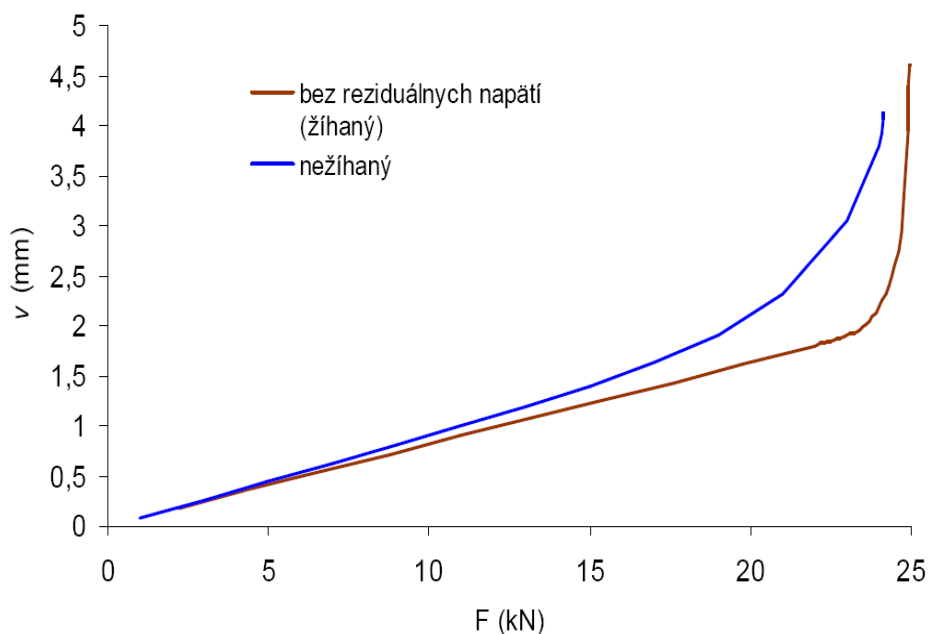
Všetky napätia po zváraní je možné rozdeliť podľa oblasti pôsobenia na:

- vnútorné,
- vonkajšie – prejavujú sa zmenou tvaru zvarových častí, zmenou tvaru a rozmerov celej konštrukcia prípadne deformáciou zvarového spoja.

Prítomnosť vnútorného napätia v materiáli zvarku ešte nemusí nutne znamenať že zvarový spoj je nevyhovujúci. Záleží na veľkosti napätia a na použití daného zvarenca. Napríklad požiadavky na prípustnú veľkosť vnútorného napätia vo zvarku rámu motorového vozidla alebo reaktorovú nádobu budú samozrejme iné ako pre zvarok konštrukcie oplotenia objektu. Tieto požiadavky možno pomenovať ako prípustné napätia pre daný účel.

Vnútorné napätia vznikajú hlavne nerovnomerným ohrevom zváraných materiálov v dôsledku tepelného cyklu zvárania. Tepelná rozťažnosť pri ohreve a zmršťovanie pri chladnutí vedie k vzniku nerovnovážnych štruktúr v tepelne ovplyvnenej oblasti materiálu. Tuhosť upnutia v prípravku vplýva na vznik prechodných, premenných a trvalých napätí. Najčastejšie potom tieto napätia vedú k miestnej alebo celkovej deformácii vo zvarkoch.

Ďalším napätím, ktoré vzniká zváraním je napätie spôsobené vznikom teplotných pnutí, ktoré nepriaznivo ovplyvňujú medzné zaťaženie. Ivančo a Kostolný (2007) pre porovnanie vzniku medzného zaťaženia vykonali výskum na dvoch nosníkoch pričom jeden bol považovaný za „ideálny“ t.j. bez teplotných pnutí a s ním spojených napätí a druhý zahŕňal vlastnosti a parametre výroby reálneho nosníka, čiže teplotne ovplyvneného. Porovnanie ich výsledkov je znázornené na obrázku 2.



Obr.2

[Závislosť priehybu ideálneho a reálneho nosníka (Ivančo, Kostolný, 2007)]

U zváraného nosníka (nežíhaného) vidieť menšiu tuhosť, s menším medzným zaťažením a prudkým nárastom deformácií.

Ďalším rozdelením napätí v závislosti od rozmerov lokalít (Mičian, 2006) alebo oblastí, v ktorých sa vyskytujú sú:

- makronapätia,
- mikronapätia,
- submikronapätia.

Makronapätia – prejavujú sa zmenami geometrického tvaru a rozdielu zváraných dielov a konštrukcií.

Makronapätia môžeme podľa stavu napätosti rozdeliť na:

- jednoosové,
- dvojosové (rovinné),
- trojosové (priestorové).

Mikronapätia – vznikajú v mikroobjemoch porovnateľných veľkosťou zŕn a nemajú vplyv na zmenu tvaru, alebo rozmeru zvarku.

Submikronapätia – vznikajú dôsledkom ultramikroskopických napätí a sú lokalizované do objemov rádovo na úrovni elementárnych buniek.

Podľa smeru pôsobenia (Konštrukcia a navrhovanie, 2001) môžeme napätia rozdeliť na:

- pozdĺžne napätia,


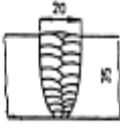



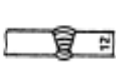
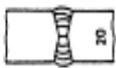

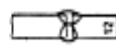



- priečne napätia,
- uhlové presadenie, zmena uhla spojovaných častí (STN ISO 6520).

Pozdĺžne napätia – vznikajú v smere dĺžky zvarového spoja. Zapríčiňujú nám zmršťovanie spoja v smere osi. Vzniku deformácii nám zabraňuje tuhosť materiálu už zvarenej konštrukcie, ktorá je v okolí zvaru. Napätia prerastajúce do deformácie spôsobujú najväčšie problémy pri jednovrstvovom zváraní tenkých plechov. U týchto plechov spôsobujú ich zvlnenie.

Priečne napätia – vznikajú v smere kolmom na os (dĺžku) zvarového spoja. Vzniknuté priečne napätia súvisia najmä s tým, aká je šírka spoja, hrúbka a tvar zváraného spoja poprípade postup ukladania húseníc. Oveľa menšie priečne napätia vykazujú kútové zvary oproti tupým spojom. Stredné hodnoty priečného zmrštenia u tupých a kútových spojov je v tabuľke 2 a 3.



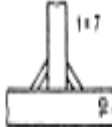
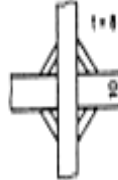
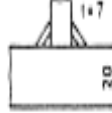
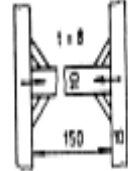
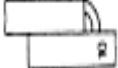
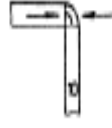
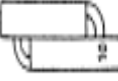
Tab.2

[Stredné hodnoty priečných napätí pri tupých zvaroch(Konštrukcia navrhovanie, 2001)]

Prierez	Spôsob zvárania	Z _p (mm)	Prierez	Spôsob zvárania	Z _p (mm)
	obalenou elektródou 2 vrstvy	1,0		obalenou elektródou 20 vrstiev	3,2
	holou elektródou 4 vrstvy	1,4			
	obalenou elektródou 5 vrstiev	1,6		obalenou elektródou – 1/3 pod tavivom – 2/3 1 vrstva	2,4
	obalenou elektródou 5 vrstiev, koreň vydrážkovaný, 2 koreňové vrstvy	1,8			
	obalenou elektródou 4 vrstvy z každej strany	1,8		pod tavivom, 1 vrstva medená podložka	0,6
	hlbokozávarovou elektródou	1,6		obalenou elektródou uhol 120°	3,3
	plameňom metódou doprava	2,3		obalenou elektródou na ocelevej podložke	1,5

Tab.3












[Stredné hodnoty priečných napätí pri kútových zvaroch(Konštrukcia a navrhovanie, 2001)]

Prierez	Spôsob zvarania	Zp (mm)	Prierez	Spôsob zvarania	Zp (mm)
	obalenou elektródou	0,5		obalenou elektródou v polohe do úžľabia	1,0
	obalenou elektródou 2 vrstvy, vodorovne	0,3		obalenou elektródou zvislo	1,3
	obalenou elektródou 2 vrstvy, vodorovne	0		obalenou elektródou 2 vrstvy, vodorovne	0
	obalenou elektródou 2 vrstvy, vodorovne	0,5		obalenou elektródou 2 vrstvy, vodorovne	0
	obalenou elektródou 2 vrstvy, vodorovne	0,8			

Uhlové presadenie spojov – je to jedno z najhorších napätí, ktoré pri prechode do deformácie môže úplne zničiť celú zvaranú konštrukciu poprípade jej časť. Veľkosť uhlového presadenia závisí od tvaru celého zvaru a spôsobu zvarania. Dôležitosť sa hlavne kladie na správne nastavenie spojovaných častí. Stredné hodnoty uhlového zmrštenia u tupých a kútových spojov vidíme v tabuľke 4 a 5.

Tab.4

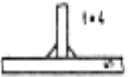

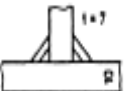
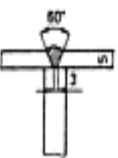
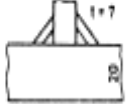
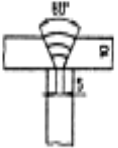
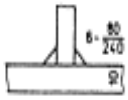
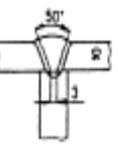
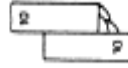
[Stredné hodnoty uhlového presadenia pri tupých zvaroch
(Konštrukcia a navrhovanie, 2001)]

Prierez	Spôsob zvarania	φ	Prierez	Spôsob zvarania	φ
	obalenou elektródou 2 vrstvy	1°		obalenou elektródou 8 vrstiev priečných	7°
	holou elektródou 3 vrstvy	1°		obalenou elektródou 22 pozdĺžnych húseníc	13°
	obalenou elektródou 5 vrstiev	$3,5^\circ$		pod tavivom 1 vrstva na medenej podložke	0°
	obalenou elektródou 5 vrstiev, koreň vydrážkovaný, 3 koreňové vrstvy	0°		obalenou elektródou - 1/3 pod tavivom - 2/3 1 vrstva	2°
	plameňom metódou doprava	1°		pod tavivom 2 vrstvy na oceľovej podložke	5°
	plameňom zvislo, obojstranne súčasne	0°			

Tab.5

[Stredné hodnoty uhlového presadenia pri kútových zvaroch.

(Konštrukcia a navrhovanie, 2001)]

Prierez	Spôsob zvarania	φ	Prierez	Spôsob zvarania	φ
	obalenou elektródou	3°		obalenou elektródou 4 vrstvy, vodorovne	$1,5^\circ$
	obalenou elektródou 2 vrstvy, vodorovne	3°		obalenou elektródou 1 vrstva	0°
	obalenou elektródou 2 vrstvy, vodorovne	1°		obalenou elektródou 3 vrstvy	1°
	obalenou elektródou prerušované zvary, vystriedené	0°		pod tavivom 1 vrstva	0°
	obalenou elektródou 3 vrstvy, vodorovne	2°			

Podľa charakteru vzniku môžeme napätia rozdeliť na:

- teplotné – vznikajú v dôsledku nerovnomerného ohrevu a ochladzovania materiálu,
- štruktúrne – vznikajú vplyvom časového posunu na fázových transformáciách v elemente.

Podľa dĺžky existencie vnútorných napätí (Mičian, 2006) v materiáli ich rozdeľujeme na:

- prechodné (nie sú príliš nebezpečné, existujú v materiáli iba dočasne, kým existuje príčina, ktorá viedla k ich vzniku),

- zvyškové (– vznikajú vo zváraní na základe následku tuhnutia roztaveného materiálu zmršťovania sa ohriateho materiálu a toho ako na to následne reaguje celé okolie materiálu. Znižujú stabilitu zvaranej konštrukcie a zhoršujú stabilitu dielcov. Zvlášť nebezpečný aspekt zvyškových napätí je v tom, že ich prítomnosť je vo všeobecnosti neznáma).

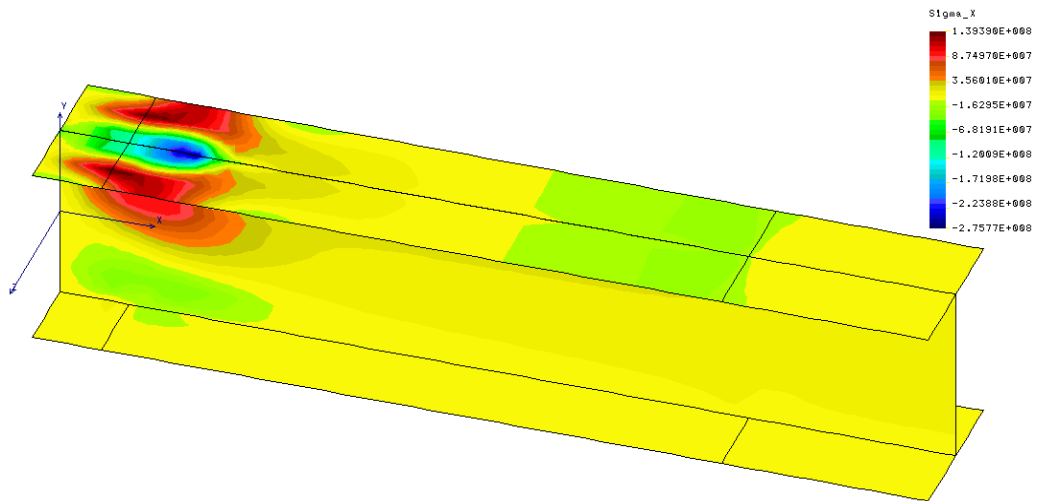
Veľkosť a priebeh zvyškový napätí závisí od viacerých činiteľov:

- podmienky a poradie zvaraného dielu,
- typ zvarového spoja,
- zmeny štruktúry v teplom ovplyvnenej oblasti materiálu,
- mechanických a teplotných vlastností základného materiálu.

2.6 Vplyv tepla na napätie

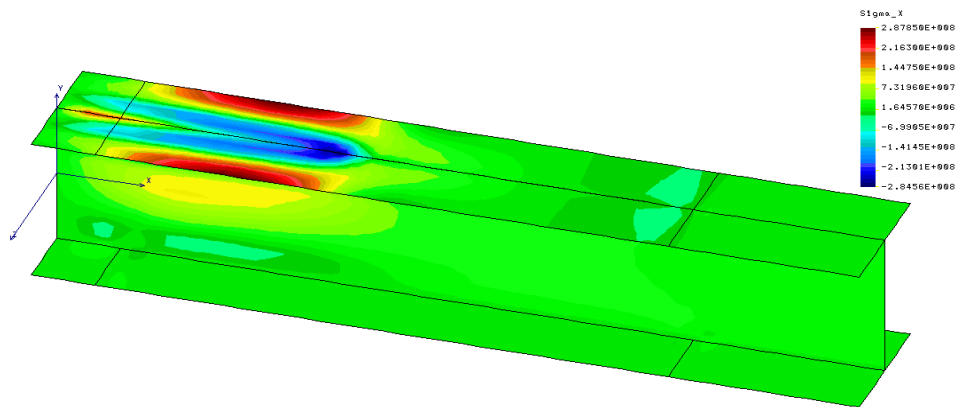
STN 050211 uvádza, že tepelným spracovaním odstraňujeme vnútorné napätia bez toho aby sme menili tvar v materiáli. Správnym tepelným spracovaním zvyšujeme trvanlivosť a životnosť súčiastok, zvyšujeme pevnosť a hlavne odstraňujeme vnútorné napätia.

Ivančo a Kostolný (2007) vykonávali napät'ovú analýzu reziduálneho napätia a jeho vplyv na únosnosť pri oblúkovom zváraní. Pri výpočte napätí proces tuhnutia zvarového kovu s nasledujúcim spojením zvaraných dielov zohľadňovali simulovaním odstránením prvkov v mieste zvaru na začiatku zvaracieho cyklu s ich následným postupným obnovovaním. Výsledky korešpondujú s výsledkami autorov Farkasa a Jáarmaia z roku 1997. Na znázornených obrázkoch 3-7 sú uvedené napät'ové polia v jednotlivých etapách.



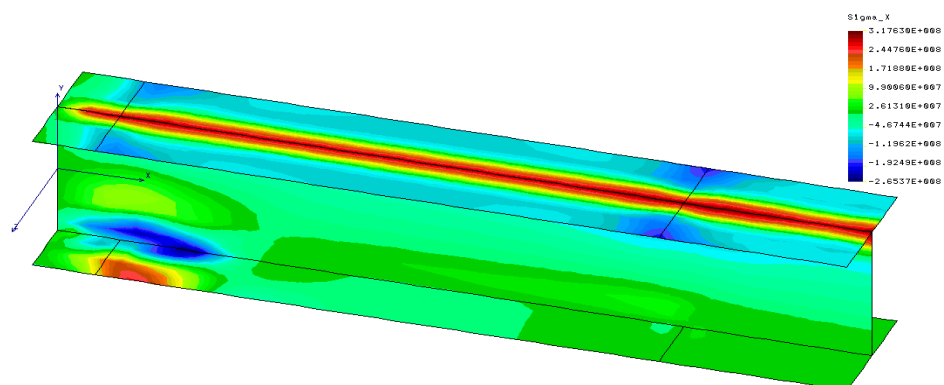
Obr.3

[Napět'ové pole v čase $t = 5$ s, 1. etapa. (Ivančo, Kostolný, 2007)]



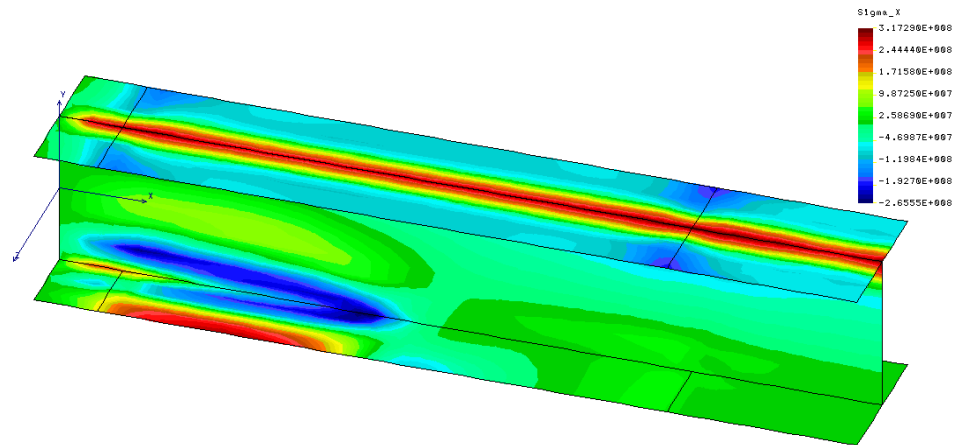
Obr.4

[Napět'ové pole v čase $t = 10$ s, 1. etapa. (Ivančo, Kostolný, 2007)]



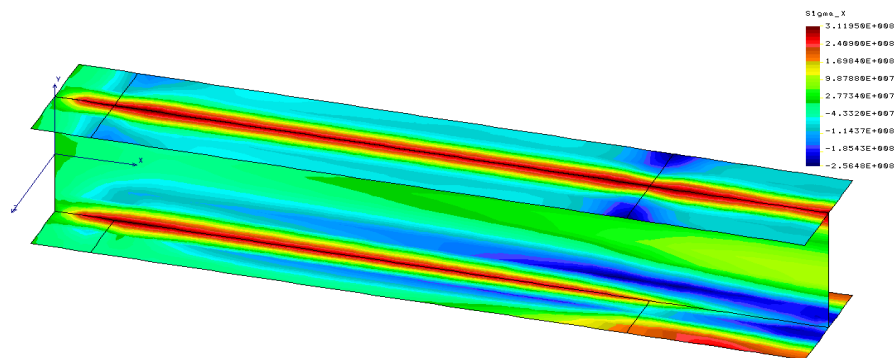
Obr.5

[Napět'ové pole v čase $t = 5$ s, 2. etapa. (Ivančo, Kostolný, 2007)]



Obr.6

[Napät'ové pole v čase $t = 10$ s, 2. etapa. (Ivančo, Kostolný, 2007)]



Obr.7

[Napät'ové pole na konci zvarania. (Ivančo, Kostolný, 2007)]

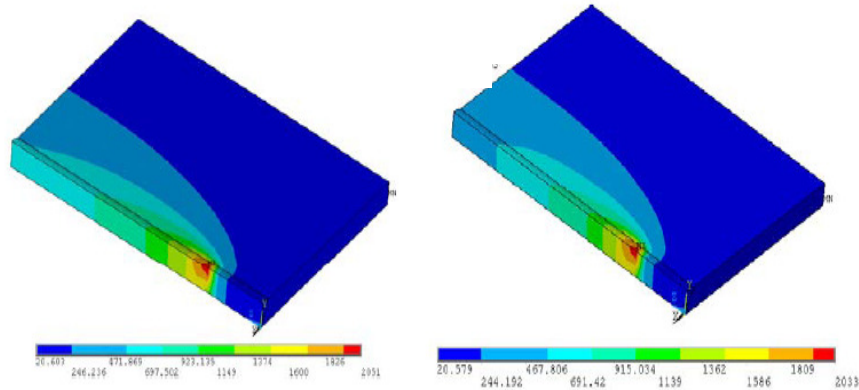
Kvantitatívne určiť vplyv prenosu tepla z povrchu do okolia bol cieľom riešenia Tarabu a Behúlovej v práci Teplotné polia pri zvaraní (www.fluids.fs.cvut.cz).

Pre splnenie tohto cieľa si vytvorili tri simulačné modely:

- 1 model – bez odvodu tepla do okolia, keď objem zvaru je zaplnený kovom,
- 2 model – z odvodom tepla do okolia, keď objem zvaru je zaplnený kovom,
- 3 model – z odvodom tepla do okolia, keď objem zvaru je v čase 0 sekúnd zaplnený vzduchom a postupne je nahradzovaný zvarovým kovom.

Podľa výsledkov počítačového modelovania zvaru podali obraz o účinkoch ochladzovania povrchu zvaru na teplotné polia do okolia materiálu. Z veľkého

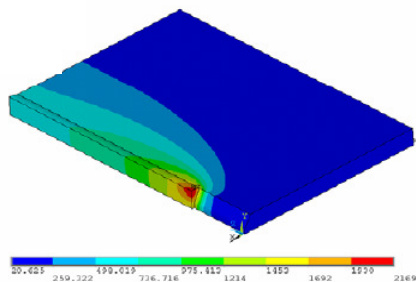
množstva tepelných parametrov boli vyhodnotené maximálne teploty vo zvolenom čase 36 sekúnd od začiatku účinku tepelného zdroja. Výsledky vidíme na obrázkoch 8 a 9.



Obr.8

[Model tepelne zaizolovaný od okolia a model ochladzovania počas zvarania.

(Taraba, Behúlová, 2007)]



Obr.9

[Model ochladzovania počas zvarania zvar vzniká postupne. (Taraba,

Behúlová, 2007)]

Hluchý a kol. uvádza, že teplota má veľký vplyv na mechanické vlastnosti materiálov. Pri určitej teplote sa mení štruktúra materiálov a tým sa menia aj mechanické vlastnosti materiálov závisia od teploty vzniknutej v zváranom spoji. Teplotou sa deformuje kryštalická mriežka a tým vznikajú v konštrukcii vnútorné napätia. Podrobnými údajmi o mechanických skúškach sa zaoberá STN 420302. Vlastnosti každého materiálu závisia od vnútornej stavby (štruktúry a chemického zloženia). Z toho nám vyplýva, že keď chceme meniť vlastnosti materiálu (odstrániť vnútorné napätia) musíme meniť aj jeho štruktúru prípadne chemické zloženie. Zmenu štruktúry dosiahneme tým, že konštrukciu spracúvame ďalej tepelne.

3.VÝSLEDKY PRÁCE – ŠTÚDIA O SÚČASTNOM STAVE PROBLEMATIKY

3.1 Nové technológie určenia zvyškových napätí

V zborníku prednášok na počesť prof.Bošanského(2008) sa hovorí o tom, že úlohy zvárania nemôžu končiť len konštatovaním o úrovni zvyškových napätí, lebo zákazníkovi hodnota napätia v konštrukcii nič nehovorí. Preto je nutné do celkovej problematiky zvárania zahrnúť aj posúdenie zvyškových napätí. Tým sa zaoberá programový súbor SYSWELD, ktorý sa skladá z troch navzájom ovplyvňujúcich sa etáp pri procese zvárania.

Výsledkom prvej etapy sú určité koeficienty komerčne vyvíjané francúzskou firmou ESI GROUP, ktoré slúžia ako priamy vstup do druhej etapy. V tejto etape sa po zadaní teplo-fyzikálnych vlastností všetkých materiálov prevádza teplotný a štruktúrny výpočet procesu zvárania. Teplotná a štruktúrna analýza prebiehajú súčasne, pretože na základe výsledkov ohrevu a chladnutia v oblasti zvarového spoja sa zároveň počíta aj štruktúrne rozloženie jednotlivých fáz v tepelne ovplyvnenej oblasti zvarového spoja. Výsledkom tejto druhej etapy sú nestacionárne teplotné polia v oblasti zvarencov, percentuálne rozloženie jednotlivých fáz sústavy železo-uhlík vypočítaných na základe rýchlosti ohrevu a ochladzovania a tiež veľkosti primárnych zŕn. Výsledky druhej etapy vstupujú do tretej časti, kde sa po zadaní mechanických vlastností jednotlivých fáz v závislosti na teplote vypočítajú celkové, elastické, plastické a teplotné deformácie. Až na základe týchto troch etáp sa prevádza výpočet výsledných mechanických vlastností zvarového spoja a zvyškových vnútorných napätí. Poslednou štvrtou a zároveň nepriamou etapou musí byť veľmi dôležité posúdenie týchto napätí.

Junek, Vlček, Slováček, Diviš (2008) uvádzajú, že neoddeliteľnou súčasťou simulácie zvárania musí byť aj posúdenie vnútorných napätí. Píšu, že odborníkov najviac zaujíma to nakoľko bola konštrukcia ovplyvnená zváraním, či môže následkom napätia vzniknúť trhlina, či sa môže trhlina objaviť neskôr a hlavne či je nutné použiť žihanie na odstránenie vnútorného napätia alebo sa konštrukcia môže používať bez rizika. Podľa nich je táto posledná časť veľmi dôležitá, lebo tu si už nevystačíme s konštatovaním že či 450 MPa úrovne vnútorných napätí je moc alebo málo.

3.2 Spôsoby obmedzenia vzniku vnútorných napätí po zváraní

Napätia vo zvaroch sťažujú zostavovanie konštrukcií. Pri tavných spôsoboch zvárania je použitie tepla nevyhnutnou záležitosťou.

Z technologického ale aj energetického hľadiska je nevyhnutné, aby zvarový spoj vznikal postupne a nie naraz po celej šírke zvarového spoja. Na dosiahnutie toho všetkého potrebujeme navrhnúť vhodnú metódu zvárania, taktiež zosúladiť prídavný materiál k základnému materiálu a to všetko pri priaznivých podmienkach zvárania. K hlavným možnostiam obmedzenia vzniku vnútorných napätí je možnosť im predchádzať (Výroba a inžinierske aplikácie, 2001).

Možnosti predchádzania vzniku zvyškových napätí:

- konštrukčnými opatreniami,
- technologickými opatreniami,
 - výber materiálu,
 - voľba zvaracieho procesu,
 - teplotný režim zvárania,
 - spôsob kladenia vrstiev.

Voříšek (1996) hovorí, že z hľadiska obmedzenia vnútorných napätí konštrukčnými opatreniami by mal byť navrhnutý zvarok čo najjednoduchší, s čo najväčším počtom rovnakých dielov a s optimálnym spôsobom ich výroby. Zvarok by sa mal navrhovať tak, aby sa dal rozdeliť na menšie, ľahšie a jednoduchšie podskupiny. Ďalej z hľadiska vnútorných napätí by mal mať čo najmenej zvarových spojov a ich priebeh by mal byť plynulý, predovšetkým priamočiary alebo kruhový. Takého tvary sú najvhodnejšie na to aby nám spôsobovali čo najmenšie napätia v neutrálnej osi alebo symetricky okolo nej. Zvary majú mať optimálne navrhnutú veľkosť a vhodne zvolený tvar.

Podľa Jesenského (1990) množstvo zvarového kovu tiež súvisí s celkovým množstvom tepla dodaného do spoja a tým aj veľkosťou vnútorných napätí. Snahou je minimalizovať množstvo zvarového kovu. Konštruktér to realizuje zásadami, že na konštrukcii má byť čo najmenej zvarových spojov, spoje treba umiestniť do menej namáhaných miest na konštrukcii a množstvom tepla privedeného na jednotku dĺžky spoja, pričom najmenej vhodné sú kútové spoje.

V zborníku prednášok z 20.medzinárodného zvaračského kongresu sa uvádza, že pre zmenšenie napätí by sme sa mali vyhýbať križovaniu zvarových spojov a umiestniť ich tak, aby sa dali zvärať v polohe vodorovnej z hora, vodorovnej zvislej, alebo aby sa dali do týchto polôh nastaviť.

Vnútorne napätia a deformácie môžeme zmenšiť vhodnou deformáciou dielcov pred zváraním, tým že ich napríklad ohneme, umiestnením spoja do neutrálnej osi, zváraním členitých zvarok zo stredu k obvodu alebo vhodným zostavením dielcov pred zváraním. Pri členitých zvaroch používame aj vhodný postup, tak že najskôr zvaríme podskupiny a až tieto zvaríme do konečného zvaru. Technologickými postupmi máme výrazne ovplyvniť vznik zvyškových napätí.

Výroba a inžinierske aplikácie (2001) definuje, že hrúbka zváraného materiálu významne ovplyvňuje vznik vnútorných napätí a to na základe množstva vneseného tepla, ktoré je potrebné na vytvorenie zvarového spoja. Vnesené teplo môžeme ovplyvniť spôsobom zvárania a metódou.

Ručné spôsoby zvárania si vyžadujú väčšie množstvo tepla na vytvorenie kvalitného zvarového spoja čo spôsobuje väčšie napätia a potom následné deformácie. Na proti tomu zváranie koncentrovanými zdrojmi energie vyžaduje na vytvorenie spoja menšie množstvo energie a výsledkom sú menšie napätia a deformácie spoja. Jednotlivé spôsoby zvárania a ich závislosť na množstve vzniknutého napätia a deformácií sú v tabuľke 6. Vyjadruje ich deväť bodová stupnica.

Tab.6

[Vhodnosť použitia spôsobu zvarovania na vplyv napätí (Výroba a inžinierské aplikácie, 2001)]

Spôsob zvarovania	Stupeň napätia a deformácie
Kyslíkovo-acetylénové zvarovanie	st.9
Ručné oblúčkové zvarovanie	st.8
Zvarovanie MAG	st.6
Mechanizované zvarovanie MAG	st.6
Zvarovanie MIG	st.6
Zvarovanie TIG	st.7
Zvarovanie pod tavivom	st.7
Elektrotroskové zvarovanie	st.9
Odporové bodové zvarovanie	st.4
Odporové švové zvarovanie	st.5
Odporové výstupkové zvarovanie	st.2
Odporové stykové zvarovanie	st.2
Zvarovanie trením	st.2
Zvarovanie plazmou	st.3
Zvarovanie mikroplazmou	st.3
Zvarovanie elektrónovým lúčom	st.1

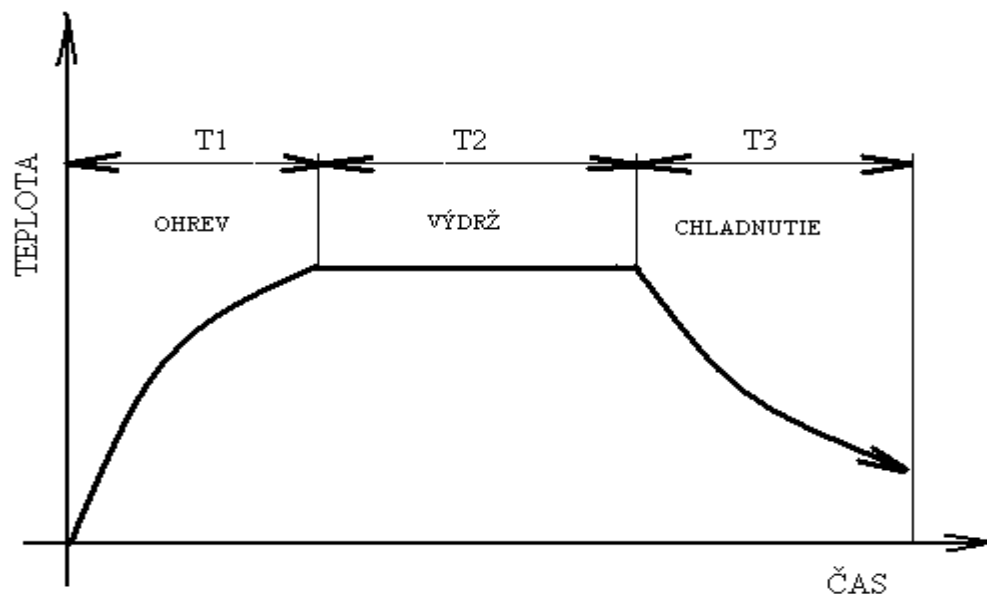
Pozornosť musí byť venovaná aj nanášaniu zvarových vrstiev v príslušnom poradí. Smer, v ktorom bude dochádzať k zmršťovaniu materiálu, by mal zostávať voľný, aby nedochádzalo k vzniku silných vnútorných napätí a deformácií. Poradie nanášania zvarov musí byť optimalizované s ohľadom na zvarovanie s minimálnym nárastom zvyškových napätí. Podmienky a odporúčania pre spôsob kladenia vrstiev sa stanovujú na základe zvaracích skúšok a následne sú potvrdené v priemyselných podmienkach.

3.3 Možnosti zníženia vnútorných napätí po zváraní

Zníženie vnútorných napätí po zváraní vo všeobecnosti v súčasnosti predstavuje jednu z metód, ktorej cieľom je čo najviac priblížiť vlastnosti tepelne ovplyvnené materiálom k vlastnostiam základného materiálu pred tepelným ovplyvnením zváraním.

Posudzovanie možností zníženia vnútorných napätí v materiáli po zváraní sa v súčasnosti realizuje prevažne kombináciou experimentálneho určenia, tabuľkových materiálových vlastností a základných noriem.

Podľa autora (Jesenský, 1990) najzákladnejším spôsobom ako znížiť vnútorné napätia v materiáli je ich tepelné spracovanie. Pod tepelným spracovaním si môžeme predstaviť všetky postupy a procesy, pri ktorých materiál alebo konštrukciu ohrievame alebo ochladzujeme určitým spôsobom tak, aby sme dosiahli výsledky, ktoré sú daným podmienkam vyhovujúce. V podstate ako vidíme na obrázku 10 ide vždy o ohrev na určitú teplotu, výdrž na tejto teplote a ochladenie určitou rýchlosťou. V niektorých prípadoch môžu tieto operácie prebiehať viackrát za sebou pri rôznych podmienkach.



Obr.10

[Princíp tepelného spracovania (Mičian, 2006)]

Ďalší spôsob ako znížiť vnútorné napätia po zváraní je mechanické spracovanie zvarových spojov (Konštrukcia a navrhovanie, 2001). Slúži nám na zlepšenie úžitkových vlastností konštrukcie a stabilizovanie rozmerových hodnôt. Medzi najznámejšie spôsoby mechanického spracovania zvarových spojov patria:

- statické preťažovanie,
- vibračné spracovanie.

3.4 Spôsoby odstránenia vnútorných napätí po zváraní

Ak nám už napätia vzniknú, tak za účelom zlepšenia kvality zvaranej konštrukcie sa zvarové spoje podrobujú odstráneniu týchto napätí, aby sme dosiahli lepšiu štruktúru vo zvarovom spoji a vhodnú rozmerovú stabilitu tejto konštrukcie. Podľa Mičana (2006) napätie definujeme ako vnútorné sily pôsobiace na jednotku plochy a jeho odstránenie môžeme dosiahnuť buď tepelne alebo mechanicky a to:

- žíhaním,
- vibrovaním,
- preťažením.

3.4.1 Žíhanie

Balla (2007) uvádza vo svojej publikácii, že spoločným znakom všetkých postupov žíhania je malá rýchlosť zmien teploty, ktorá umožňuje vznik štruktúr blízkych k rovnovážnym. Účelom žíhania býva najčastejšie zmenšenie štruktúrnej alebo chemickej heterogenity výrobkov, zníženie vnútorných napätí po zváraní, zníženie tvrdosti, zlepšenie obrobitel'nosti a tvárnosť. Podľa tejto skutočnosti sa základné druhy žíhania rozdeľujú na:

- žíhanie bez prekryštalizácie,
 - na zníženie napätí,
 - na mätko,
 - rekryštalizačné.
- žíhanie s prekryštalizáciou,
 - homogenizačné,
 - normalizačné.

Jedným z navrhovaných druhov riešenia vzhľadom na riešenie problémov pri zváraní konštrukcií v poľnohospodárskom odvetví je výhodné žíhanie bez prekryštalizácie na zníženie vnútorného napätia, nazývané aj relaxačné žíhanie. Podľa STN 050211 sa zaraďuje po úkonoch zvárania. Účelom je zníženie vnútorných napätí, ktoré vznikli pri zváraní konštrukcie ako dôsledok rýchleho a nerovnomerného ochladzovania poprípade pri menších zvaroch len malého miestneho ohrevu. Pri tomto žíhaní využívame efekt zmenšovania medze klzu zo vzrastajúcou teplotou. Tu sa nám veľkosť vnútorných napätí zmenší na úroveň medze klzu zodpovedajúcej teplote žíhania.

Samotné žíhanie na zníženie napätia spočíva v ohreve na teplotu 500-650 °C, výdrž na tejto teplote (býva až niekoľko hodín a to podľa veľkosti a hrúbky materiálu zváranej konštrukcie) a následné pomalé chladnutie. Časy zotrvania na teplotách sú v tabuľke 7. Cieľom tohto žíhania býva okrem zníženia napätí aj zabezpečenie rozmerovej stálosti spojov.

Na základe overených skutočností žíhanie prebieha v zariadení, ktoré sa používa pre tepelné spracovanie ocele. Pretože potrebujeme ohrev tak toto zariadenie musí obsahovať ohrievaciu pec. Jej veľkosť závisí od typu a veľkosti súčiastky. Ohrev zabezpečujeme buď elektricky alebo plynom. Pri požiadavkách na kvalitu povrchu ak sa má zabrániť oduhličeniu malo by toto zariadenie pracovať o ochrannej atmosfére. Splodiny horenia pri plynových peciach majú čo najmenej pôsobiť na ohrievaný materiál.

Tepelné spracovanie si vyžaduje dôkladnú znalosť metalurgie a náuky o materiáloch. Nepodarky vznikajú predovšetkým porušením štruktúry materiálov, prehriatím, nedodržaním žíhacích teplôt, nesprávnym a nevhodným ohrevom. Nepodarky sa spravidla už nedajú opraviť preto treba tejto operácii venovať dostatok času a dôslednú pozornosť.

Tab.7

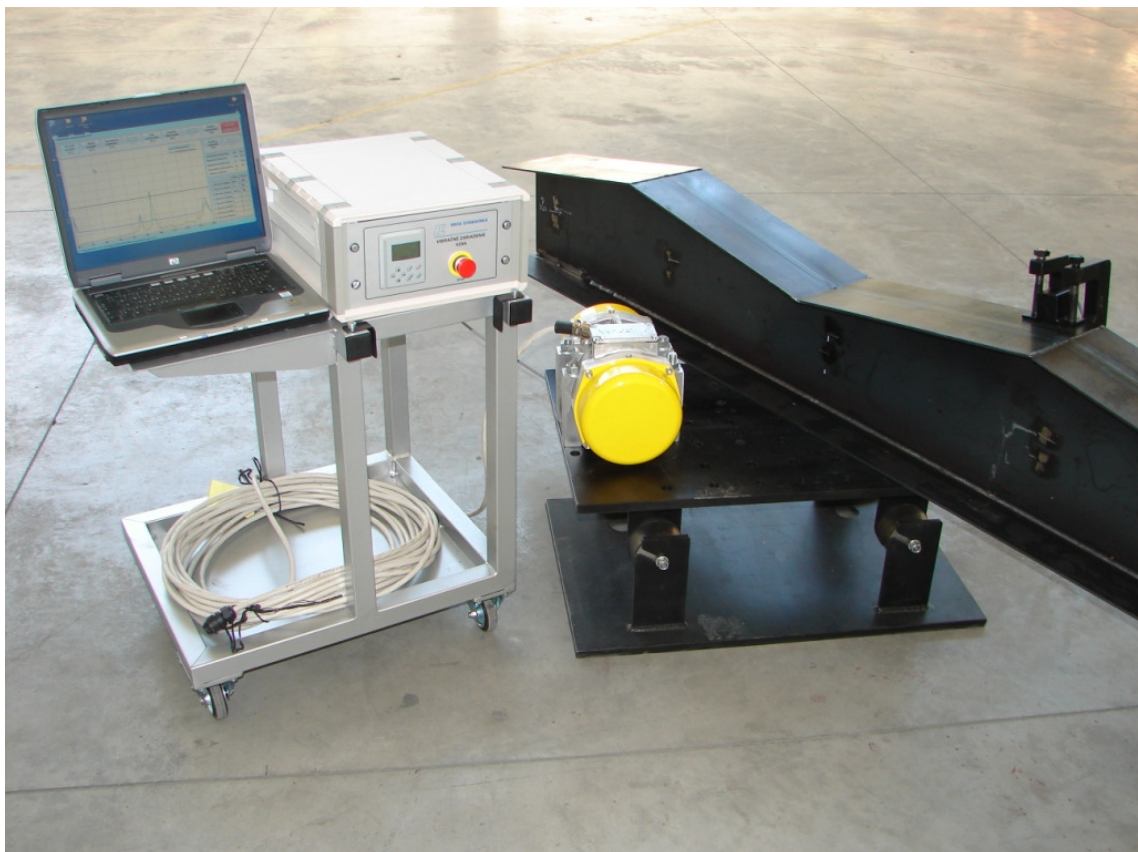
[Relaxačné žihanie po zváraní (Konštrukcia a navrhovanie, 2001)]

N-normalizovaná oceľ, A-žihaná oceľ, T-popustená oceľ, Q-kalená oceľ

Skupina	Oceľ		Stav tepelného spracovania základného materiálu	Relaxačné žihanie		
	Skupina alebo typ	Určenie podľa EN		Nominálna hrúbka e_n (mm)	Parametre	
				zotrvanie (min)	teplota (°C)	
1.1 1.2	nelegované ocele	10028-2 10216-1 až 5 10217-1 až 5 10222-3	N alebo N + T	≤ 35	30	550–600
				$35 < e_n \leq 90$	$e_n - 5$	
				> 90	$40 + 0,5 e_n$	
2.1	zvariteľné jemnozrné normalizačne žihané ocele	10028-3 10216-1 až -5 10217-1 až -5 10222-5				
1.2	16Mo3	10028-2	N alebo N + T	≤ 35	30	550–620
		10216-2		$35 < e_n \leq 90$	$e_n - 5$	
		10217-2 a -4 10222-3		> 90	$40 + 0,5 e_n$	
		10222-3	Q + T	> 100	$40 + 0,5 e_n$	550–620
5	13CrMo4-5	10028-2	N alebo Q + T	≤ 13	30	630–680
		10216-2		$13 < e_n \leq 15$	30	
		10217-2 a -4 10222-3		$15 < e_n \leq 60$	$2 e_n$	
				> 60	$60 + e_n$	
	10CrMo9-10 11CrMo9-10	10028-2 10216-2 10217-2 a -4 10222-3	N + T alebo Q + T	ako je stanovené pre oceľ 13CrMo4-5		670–720
		16CrMo20-5	10216-2 10222-3	N + T alebo Q + T		
	10216-2 10222-3		A			700 – 750
		X11CrMo9-1	10216-2	N + T	≤ 12	30
	10216-2		A	$12 < e_n \leq 60$	$2,5 e_n$	
				> 60	$90 + e_n$	
6	X20CrMoNiV1-1-1	10216-2 10222-3	N + T	ako je stanovené pre oceľ X11CrMo9-1		730 – 770
9.1 9.2	MnNi a Ni ocele s výnimkou X8Ni9	10028-5 10216-3	N	≤ 35	30	530 – 580
		10217-3 a -5 10222-4		$35 < e_n \leq 90$	$e_n - 5$	
		10028-4 10216-3	N + T alebo Q + T	> 90	$40 + 0,5 e_n$	
		10217-3 a -5 10222-4				
9.3	X8Ni9	10028-4 10216-3 10217-5 10222-4	podľa materiálovej normy			

3.4.2 Vibrovanie

Vibračné zariadenie (www.pz.4weld.sk) je určené na znižovanie vnútorných napätí v súčiastkach ako sú zvarky, výkovky a odliatky. Vibračné spracovanie nahrádza žihanie na zníženie vnútorných napätí tam, kde je požadovaná rozmerová stabilita súčiastok. Podstata vybračného spracovania spočíva vtom, že pri rozkmitaní súčiastky dochádza pri určitej frekvencii kmitania k jej rezonancii z výrazne zvýšenými amplitúdami kmitania. V miestach koncentrácie napätí nastáva plastické pretvorenie z následným prerozdelením a celkovým zmenšením elastických zvyškových napätí. Zariadenie zabezpečuje automatické riadenie vybračného procesu z možnosťou vibrovania na rôznych predvolených frekvenciách s príslušnými časmi vibrovania.



Obr.11
[Vibračné zariadenie (www.pz.4weld.sk)]

3.4.3 Preťažovanie

Preťažovanie je jedným z najekonomickejších druhom navrhovaného riešenia zníženia vnútorných napätí po zvaraní. Robí sa spravidla namáhaním na ohyb. Pri zaťažení ohybovým momentom v jednom smere sa zmenšia zvyškové napätia len v oblasti namáhanej ťahom. Preto nasledujúce zaťaženie musí byť z opačnej strany. Na optimalizáciu procesu sa majú použiť najmenej tri striedavé zaťaženia z jednej i druhej strany (Konštrukcia a navrhovanie,2001).

Výsledky výskumu dokázali že vplyv statického preťaženia ohýbaním a vibračným spracovaním na únavovú pevnosť konštrukčných častí zvaraných nosníkov sa odlišujú (Jesenský, 1990). Ako príklad uvádzam nosníky I 200 dlhé 1200 mm, šírka pásnice 140 mm hrúbka 20 mm, hrúbka steny 10 mm. Nosníky boli vyrobené z ocelí S 355 JR a S 700 resp. z kombinácie týchto ocelí (pásnice z S 700 stena z S 355 JR). Zhotovili sa ručným oblúkovým zvaraním elektródami. Na nosníkoch sa zmerali zvyškové napätia vo zvaroch. Najnižšie zvyškové napätia boli na preťažovaných nosníkoch.

4. NÁVRH NA VYUŽITIE VÝSLEDKOV V PRAXI

Problematika zisťovania a odstránenia zvyškových napätí po zváraní si vyžaduje znalosti správania sa materiálov po tepelnom ovplyvnení zváraním. Moju prácu som smeroval do vybraného podniku ktorý je výrobcom poľnohospodárskej techniky, kde chcem inovovať proces z hľadiska technického.

Na základe analýzy a možností riešenia problémov zo zvyškovými napätiami navrhujem do výrobného procesu zaradiť technológiu na odstránenie zvyškových napätí po zváraní. Ekonomicky najnáročnejším spôsobom ako z mojej práce vidíme by bola kúpa zariadenia na tepelné spracovanie. Toto zariadenie by však určite dopomohlo ku kvalitnejšiemu výslednému produktu v našom prípade zváranému rámu poľnohospodárskeho stroja. Po odstránení vnútorného napätia v tomto zariadení by sa určite predĺžila životnosť týchto strojov a tým následne znížili náklady na kúpu nového stroja u konečného zákazníka.

Menej ekonomicky náročným spôsobom odstránenia vzniku vnútorných napätí je kúpa vibračného zariadenia. V našom podniku však takéto zariadenie nenachádza uplatnenie vzhľadom na jeho využitie a predražovanie výroby.

Ako najvhodnejší spôsob odstránenia zvyškových napätí po zváraní pre daný podnik v danej finančnej situácii a za prijateľných vstupných materiálových podmienok navrhujem metódu preťažovania. Výhody tohto spôsobu v bakalárskej práci dokazujú opodstatnené uplatnenie v technologickej praxi. Perspektívne je ho možné využiť na vybrané výrobky poľnohospodárskeho stroja.

5.ZÁVER

Zvyškové napätia po zváraní sú nezanedbateľnou súčasťou kvality vyrobených zvarkov. Zvyškové napätia sú nežiadúce, ťažko sa určia a nákladne sa odstraňujú. Ich prítomnosť môže byť škodlivá vo veľkých súčiastkach a nosných konštrukciách. Závažnosť ich výskytu je spojená s našimi nedostačujúcimi možnosťami ich zisťovania.

Tepelné a mechanické spracovanie zvarových spojov sa robí za účelom zlepšenia úžitkových vlastností zvarkov, zvýšenia odolnosti proti porušeniu, zníženiu vnútorných napätí alebo predĺženia životnosti zvaraných konštrukcií. Tepelné spracovanie možno v niektorých prípadoch nahradiť mechanickým spracovaním, pritom sa ušetrí čas a v niektorých prípadoch podstatne znížia výrobné náklady.

Na overenie vplyvov mechanického spracovania na mechanické vlastnosti zvarových spojov a zvaraných detailov sa robil vo VÚZ Bratislava rozsiahly výskum. Výsledky sú spracované a vydané v norme STN 050211 „Tepelné a mechanické spracovanie zvarových spojov“, ktorá je ojedinelá vo svetovom meradle.

Neustále úsilie schopných výskumných pracovníkov skúsených v odbore analýzy napätí, náuky o materiáloch a prístrojového vybavenia podporovaného príslušnými hardvérovými a softvérovými prostriedkami posúvajú problematiku zisťovania a odstránenia zvyškových napätí po zváraní stále dopredu. Súčasná technológia poskytuje spoľahlivé analýzy napätia vzniknutého v dôsledku zvárania, vhodné metódy počítačovej simulácie a možnosti počítačového spracovania výsledku..

6. POUŽITÁ LITERATÚRA

1. BALLA, J. 2007. Náuka o materiáloch. Nitra: ES SPU, 2007.
ISBN 978-80-8069-837-9
2. BALLA, J. – MIKUŠ, R. – CVIKOVÁ, H. 2007. Náuka o materiáloch návody na cvičenia. Nitra: ES SPU, 2007.
3. HLUCHÝ, M. 1971. Technológia. Bratislava: ALFA, 1971
4. IVANČO, V. – KOSTOLNÝ, K. 2007. Simulácia teplotných polí pri oblúkovom zváraní. AT&P JOURNAL PLUS 1, 2007. s.31-34
5. IVANČO, V. – KOSTOLNÝ, K. 2007. Reziduálne napätia pri oblúkovom zváraní a ich vplyv na únosnosť. AT&P JOURNAL PLUS 1, 2007. s.39-42
6. JESENSKÝ, M. 1990. Zvyškové napätia vo zvarových spojoch a ich vplyv na úžitkové vlastnosti zvarkov. Bratislava: Interná publikácia VÚZ 390/90
7. KÁLNA, K. 1998. Zvarové napätia a deformácie. Bratislava: WELDTECH, 1998
8. KOLEKTÍV AUTOROV. 2000. Materiály a ich správanie pri zváraní. Ostrava: ZEROSS, 2000. ISBN 80-85771-81-0
9. KOLEKTÍV AUTOROV. 2001. Konštrukcia a navrhovanie. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-86-1
10. KOLEKTÍV AUTOROV. 2001. Výroba a inžinierske aplikácie. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-87-X
11. SKOČOVSKÝ, P. 1995. Nové konštrukčné materiály. Žilina: EDIČNÉ STREDISKO VŠDS ŽILINA, 1995
12. TARABA, B. – BEHÚLOVÁ, M. 2007. Možnosti aplikácie tepelného príkonu do simulačného modelu procesu oblúkového zvárania. Košice: ACTA METALLURGICA SLOVACA, 2007
13. VELEJ, P. 1985. Mechanické vlastnosti a skúšanie kovov. Bratislava: ALFA, 1985
14. VOŘÍŠEK, V. 1996. Princípy navrhovania zvaraných konštrukcií. Bratislava: WELDTECH, 1996
15. STN 420002: 2002: Číselné označovanie a rozdelenie oceli
16. STN EN 10002: 1998: Kovové materiály. Skúška ťahom
17. STN ISO 6520: 1992: Zváranie. Klasifikácia chýb zvarových spojov pri tavnom zváraní kovov s vysvetleniami

18. STN 050211: 1992: Tepelné a mechanické spracovanie zvarových spojov nelegovaných a nízkolegovaných ocelí.
19. STN 420302: 1983: Skúšanie kovov. Názvy, označenia a jednotky
20. <http://www.csa1.co.uk>
21. <http://www.fluids.fs.cvut.cz>
22. <http://www.fstroj.utc.sk/web/kti/>
23. <http://www.materialing.whian.net>
24. <http://www.pz.4weld.sk>
25. http://www.stubadiverz.sk/teoria/prenos_tepla/prenos_tepla_01_05.htm