

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

Katedra materiálu a strojírenské technologie



## Renovace strojních součástí navařováním

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Petr Hrabě, Ph.D.

Autor práce: Eduard Veselík

Praha 2012

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Veselík Eduard

Silniční a městská automobilová doprava

### Název práce

Renovace strojních součástí navařováním

### Anglický název

Weld surfacing renovation of the machines parts

---

### Cíle práce

- shromáždit literární poznatky o renovacích strojních součástí navařováním

### Metodika

Současný stav řešeného problému (literární rešerše), závěry a přínos práce.

### Osnova práce

1. Úvod
2. Metody navařování používané pro renovace
3. Podstata, výhody a nevýhody použití renovace strojních součástí navařováním
4. Závěr

## Rozsah textové části

30

## Klíčová slova

Renovace, strojní součást, navařování

---

## Doporučené zdroje informací

DASTUR, M., R., MOSKOVITC, L., N.: Tailored coating for hardfacing. In: Proceeding of the annual powder. Metallurgy conference, 1983, No 39, s. 307 – 321.

HAVLÍČEK, J.: Strojírenská technologie: Renovace součástí. Praha, NTL, 1984, 68 s.

KARAKOZOV, E. S.: Sojediněje metalov v tvrdoy faze. Moskva, Metalurgija, 1976, 264 s.

KULÍK, J.: Renovace součástí. Praha, SZN 1955, 83 s.

MALÉŘ, J.: Renovace strojních součástí. Praha, SNTL, 1963, 276 s.

POŠTA, J.: Technologie údržby a oprav. Praha, ČZU, 1995, 198 s.

POŠTA, J., HAVLÍČEK, J., ČERNOVOL, M. I.: Renovace strojních součástí. Praha, SVÚM, 1998, 160 s.

ŠESTÁK, O.: Renovace strojních součástí galvanickým pokovováním. Bratislava, DT, 1963, 279 s.

Renovace strojních součástí zem. strojů chemickou úpravou kovů. Otrokovice, ČSVTS, 1978, 279 s.

---

## Vedoucí práce

Hrabě Petr, Ing., Ph.D.

## Termín zadání

listopad 2010

## Termín odevzdání

duben 2012

---




Vedoucí katedry



V Praze dne 31.1.2011

---



Děkan fakulty

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Hraběte, Ph.D. a že jsem uvedl všechny prameny, ze kterých jsem čerpal.

V Praze dne 27.3.2012

Eduard Veselík

## **Abstrakt**

První část práce se zabývá známými druhy a způsoby renovace. Zároveň popisuje jednotlivé metody navařování.

Druhá část se věnuje renovaci strojních součástí navařováním, včetně důvodů pro její využití, jejích výhod a nevýhod, podmínek pro úspěšné uskutečnění, ovlivnění základního materiálu navařováním a výsledné jakosti návaru.

Klíčová slova: navařování, renovace, promísení, přídavný materiál

## **Weld surfacing renovation of the machines parts**

### **Abstract**

The first part deals with the known species and renovation. It also describes the various methods of welding.

The second part deals with the renovation of surfacing machine parts, including the reasons for its use, its advantages and disadvantages, conditions for successful implementation, affecting the base material and surfacing the resulting weld quality.

Keywords: welding, renovation, mixing, additional material

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>METODY NAVAŘOVÁNÍ POUŽÍVANÉ PRO RENOVACE .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1</b>	<b>Renovace.....</b>	<b>2</b>
<b>2.2</b>	<b>Druhy a způsoby renovace.....</b>	<b>2</b>
2.2.1	Rozdělení renovace součástí podle rozměrů po renovaci: .....	3
2.2.2	Rozdělení renovace podle procesu renovace:.....	3
<b>2.3</b>	<b>Metody navařování.....</b>	<b>4</b>
	Navařování: .....	4
2.3.1	Tavné .....	4
2.3.1.1	Ruční navařování kyslíko-acetylenovým plamenem .....	5
2.3.1.2	Elektrickým obloukem .....	5
2.3.1.2.1	Ruční navařování obalenou elektrodou .....	6
2.3.1.2.2	Navařování pod tavidlem .....	7
2.3.1.2.3	MIG/MAG/MOG .....	8
2.3.1.2.4	WIG (TIG).....	9
2.3.1.2.5	Elektrostruskové navařování .....	9
2.3.1.2.6	Plazmové navařování .....	10
2.3.1.2.7	Vibrační navařování .....	11
2.3.1.3	Navařování elektronovým paprskem.....	12
2.3.1.4	Laserové navařování.....	13
2.3.2	Tlakem.....	14
2.3.2.1	Odporové navařování .....	14
2.3.2.2	Indukční navařování .....	14
2.3.2.3	Navařování třením.....	15
2.3.2.4	Navařování s použitím magnetického pole .....	16
<b>3</b>	<b>PODSTATA, VÝHODY A NEVÝHODY POUŽITÍ RENOVACE STROJNÍCH SOUČÁSTÍ NAVAŘOVÁNÍM .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Navařování .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2</b>	<b>Defekty součástí .....</b>	<b>17</b>
3.2.1	Příčiny defektů funkčních ploch.....	17
3.2.2	Opotřebení .....	18
3.2.3	Koroze .....	18
3.2.4	Otlačení .....	18
3.2.5	Deformace .....	18
3.2.6	Trhliny a lomy .....	18
3.2.7	Ostatní poškození .....	18

<b>3.3</b>	<b>Základní materiál .....</b>	<b>19</b>
3.3.1	Uhlíkové a nízkolegované oceli .....	19
3.3.2	Manganové austenitické oceli .....	19
3.3.3	Litiny .....	19
3.3.4	Neželezné materiály .....	19
<b>3.4</b>	<b>Požadavky na opracování povrchu po navaření .....</b>	<b>19</b>
<b>3.5</b>	<b>Přídavný materiál .....</b>	<b>20</b>
3.5.1	Martenzitické materiály .....	21
3.5.2	Austenitické materiály .....	21
3.5.3	Materiály s obsahem karbidů .....	21
3.5.4	Neželezné materiály .....	21
<b>3.6</b>	<b>Svařitelnost .....</b>	<b>23</b>
3.6.1	Přehřev .....	25
<b>3.7</b>	<b>Tepelné ovlivnění a vznik pnutí v návaru .....</b>	<b>25</b>
3.7.1	Promísení .....	28
<b>3.8</b>	<b>Výhody a nevýhody navařování .....</b>	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>31</b>
	<b>Zdrojová literatura .....</b>	<b>32</b>

# 1 Úvod

Hodnota všech strojních dílů a nástrojů, které jsou každoročně vyřazeny z provozu vlivem opotřebování a následně sešrotovány, je odhadována na miliony korun. Z toho důvodu je potřeba vyrábět mnoho náhradních dílů, což vede k nutnosti výstavby skladovacích prostor na jejich skladování a podstatně se tím zvyšují náklady.

Renovace může být v některých případech mnohem levnější než výměna celých dílů, z důvodu stále zvyšujících se cen energií, hutního materiálu a ne příliš měnící se ceny šrotu. Výměna některých součástí není vždy možná, například u velkých těžko rozebíratelných zařízení, nebo pokud náhradní díly neexistují z důvodu výroby stroje na zakázku, případně pokud se už dávno nevyrábějí. Zde je renovace jedinou možností, jak udržet zařízení dále provozuschopné. Renovace opotřebovaných součástí lze provádět na opravné rozměry, nebo na původní rozměry.

Renovace na opravné rozměry se provádějí nejčastěji třískovým obráběním. Dosáhneme tak původního tvaru a jakosti, ale rozměry jsou jiné (opravné). K takto renovované součásti je z pravidla nutné vyrobit nový protikus nebo pouzdro. Výhoda této metody je především v její jednoduchosti.

U renovací na původní rozměry se obnovují tvar i rozměry původní součásti. Nanést novou vrstvu lze navařováním, napékáním, nebo termickým nástřikem. Tato práce se zabývá metodami používanými při renovacích navařováním, jejich podstatou, a shrnuje jejich výhody a nevýhody.

Renovacím navařováním je možné i zlepšit mechanické vlastnosti pro další provoz součásti a tím zvýšit její životnosti. Toho lze docílit pomocí stále se zlepšující nabídky návarových materiálů odolných proti určitému typu opotřebení.

Navařování se nepoužívá pouze pro renovace opotřebovaných součástí, ale lze ho využít i při výrobě, nebo úpravě nových součástí.

Problémem u navařování je tepelné ovlivnění základního materiálu, bez kterého nelze tuto metodu uskutečnit. V tepelně ovlivněné oblasti se mění (zhoršují) mechanické vlastnosti základního materiálu, proto je snaha, aby tato oblast byla co nejmenší.

Metody používané pro renovace navařováním vycházejí z běžných metod pro konstrukční svařování, jen je v některých případech použit speciální hořák nebo nástavec. Hlavní odlišností je chemické složení přídavného materiálu.



## **2 Metody navařování používané pro renovace**

### **2.1 Renovace**

Renovace součásti je soubor činností, prováděných s cílem obnovení provozuschopného nebo bezvadného stavu součásti a jejího technického života. Renovací obnovujeme jak funkčnost součásti, tak v důsledku toho i její technickou životnost. A to tak, že vrátíme veškeré její parametry do stavu odpovídajících požadavkům technické dokumentace (Pošta et. al., 1998). Většina prováděných operací při renovaci je podobná operacím výrobním, proto renovace přejímá technologické postupy, zařízení, materiály i zkušenosti z výroby a pouze si je přizpůsobuje (Pošta, 1995).

Technologický postup při renovaci všech strojních součástí se dělí na:

- zjišťování závady,
- volbu nejvhodnější metody, kterou budeme závadu odstraňovat,
- detailní rozpracování navrženého technologického postupu,
- vlastní renovaci,
- kontrolu renovované součásti.

Zkušenosti z praxe ukazují, že závady na součástech se v jistých obměnách opakují. Proto je možno sestavit technologický postup renovace k odstranění celého komplexu závad společně (Maleř, 1963).

### **2.2 Druhy a způsoby renovace**

Obnovení provozuschopnosti součásti se může uskutečnit v procesu jejího používání i mimo tento proces. První případ se používá jen výjimečně (jde např. o vymezení vůle třecí dvojice bez její demontáže použitím přísad do oleje). Mnohem častější je druhý případ, kdy se obnovení provozuschopnosti součásti děje mimo proces provozního využívání součásti, tedy s přerušáním jejího provozu (Pošta et. al., 1998).

### **2.2.1 Rozdělení renovace součástí podle rozměrů po renovaci:**

- renovace opotřeбенých součástí na původní rozměry,
- renovace opotřeбенých součástí na opravné rozměry,
- renovace deformovaných součástí,
- renovace součástí s trhlinami a lomy,
- renovace jinak poškozených (Pošta et. al., 1998).

### **2.2.2 Rozdělení renovace podle procesu renovace:**

- svařování a navařování,
  - o tavné,
  - o tavné a tlakové,
  - o tlakové,
- lití,
- pájení,
  - o tvrdé,
  - o měkké,
- napékání,
- termické stříkání,
- pokovování,
  - o elektrolytické,
  - o chemické,
  - o napařováním,
- plátování,
- lepení,
- obrábění,
  - o třískové,
  - o ostatní,
- tváření,
  - o povrchové,
  - o objemové (Pošta et. al., 1998).

## **2.3 Metody navařování**

Jednotlivé metody navařování většinou vycházejí z metod konstrukčního svařování. Během svého vývoje se však někdy i výrazně odlišily. Nejvýznamnější rozdíly jsou dnes především v přídavném materiálu, který se dnes vyrábí ve velmi širokém sortimentu, tzv. „na míru“ pro konkrétní případy použití (Pošta et. al., 1998).

Ze všech uvedených metod se v praxi nejčastěji používají ruční navařování obalenou elektrodou, holou (nebo trubičkovou) elektrodou v ochranné atmosféře a navařování pod tavidlem (ESAB, 2004).

Navařování:

- tavné,
  - o plamenem,
  - o elektrickým obloukem,
    - ruční obalenou elektrodou,
    - pod tavidlem,
    - MIG/MAG/MOG,
    - WIG (TIG),
    - elektrostruskově,
    - plazmou,
    - vibračně,
  - o elektronovým paprskem,
  - o laserem,
- tlakem,
  - o elektrickým odporem,
  - o indukčně,
  - o třením.

### **2.3.1 Tavné**

Tavné navařování je proces, u kterého dochází k roztavení a následnému ztuhnutí základního a přídavného materiálu. Roztavený kov přídavného i základního materiálu je během navařování ovlivněn prostředím. Svarovou lázeň je tedy nutné chránit před okolní atmosférou, zejména kyslíkem (Kovařík, 2008).

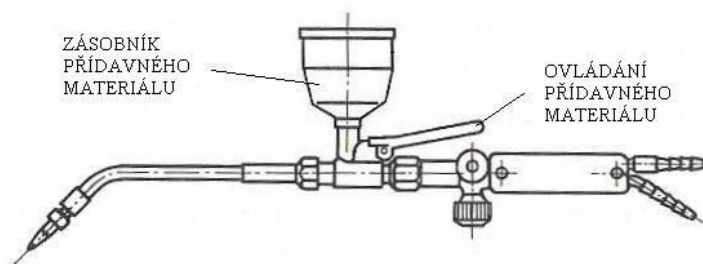
### 2.3.1.1 Ruční navařování kyslíko-acetylenovým plamenem

Navařování plamenem se nijak neliší od klasického svařování plamenem, pouze se používá přídatný materiál jiného chemického složení (Pošta et. al., 1998). Ten se používá buď ve formě drátu, nebo prášku. Při navařování drátem se používá klasický hořák pro svařování, pro navařování práškem je potřeba speciálního hořáku (viz. obr. 1) (Minařík, 1997).

Pro navařování se používá plamen s přebytkem acetylenu s malou výtokovou rychlostí (měkký nauhličující plamen) (Minařík, 1997). Takový plamen lépe chrání tavnou lázeň před oxidací, což způsobuje mírné nasycení povrchové vrstvy základního materiálu uhlíkem. Tím se teplota tavení této uhlíkem nasycené vrstvy snižuje, což umožňuje dosáhnout jen velmi malého promísení návarového a základního materiálu (Pošta et. al., 1998).

Navařovat lze směrem dopředu i dozadu, nejčastěji se však používá směr dopředu (Minařík, 1997). Vzhledem ke stále se zvyšující ceně používaných plynů a nízké výkonnosti tohoto způsobu navařování jde o způsob poměrně drahý a tedy málo využívaný (Pošta et. al., 1998).

Obr. 1 Navařovací hořák NPK 1.



Zdroj: Minařík, 1997: Plamenové svařování.

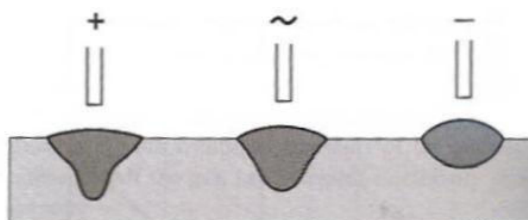
### 2.3.1.2 Elektrickým obloukem

Při obloukovém navařování se jako zdroj tepla využívá elektrický oblouk, který hoří většinou mezi elektrodou (tavící se, netavící se) a navařovaným materiálem. Tím se taví přídatný materiál i povrch navařované součásti. Slitím obou těchto kovů vznikne návar (Minařík, 1998).

Obloukové svařování i navařování je zatím nepoužívanější ze známých metod. Jako zdroje jsou používány transformátory pro střídavý proud nebo usměrňovače pro stejnosměrný proud. V poslední době jsou však transformátory stále častěji nahrazovány usměrňovači (Minařík, 1998).

Při obloukovém navařování (svařování) lze u stejnosměrného zdroje použít přímou polaritu (minusový pól na elektrodě a plus na základním materiálu), nebo nepřímou polaritu (minus na základním materiálu a plus na elektrodě). Porovnání tvaru housenky u jednotlivých druhů zapojení je na obr. 2 (Minařík, 1998).

*Obr. 2 Porovnání tvaru housenky při použití stejnosměrného (nepřímého, přímého) a střídavého zapojení.*



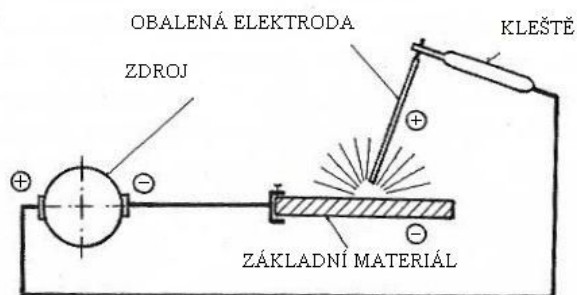
*Zdroj: Weman, 2006: MIG welding guide.*

### **2.3.1.2.1 Ruční navařování obalenou elektrodou**

Navařování ručně elektrickým obloukem se liší od klasického svařování pouze použitím elektrody s jiným chemickým složením. Elektrický oblouk hoří mezi tavící se obalenou elektrodou a navařovaným materiálem, jak je znázorněno na obr. 3. K navařování se nejčastěji používají elektrody s bazickým obalem. Navařovací elektrody mají většinou jádro z měkké oceli a obal ze struskotvorných látek a legujících prvků (Pošta et. al., 1998).

Tato metoda navařování je velmi univerzální a nenáročná. Nejvýhodnější použití je pro navařování malého počtu kusů středních a větších tloušťek (Kuncipál, 1986). Nevýhody této metody jsou nerovnoměrná struktura v návaru vlivem chvění ruky svářeče a menší efektivnost použitím pouze drátových elektrod.

*Obr. 3 Schéma ručního navařování obalenou elektrodou*



*Zdroj: Kovařík, 2008: Technologie svařování.*

### 2.3.1.2 Navařování pod tavidlem

Jde o automatizované navařování elektrickým obloukem, který hoří mezi holou tavící se elektrodou a navařovaným materiálem v dutině, která se tvoří pod roztavenou vrstvou tavidla jak je tomu na obr. 4 (Kuncipál, 1986).

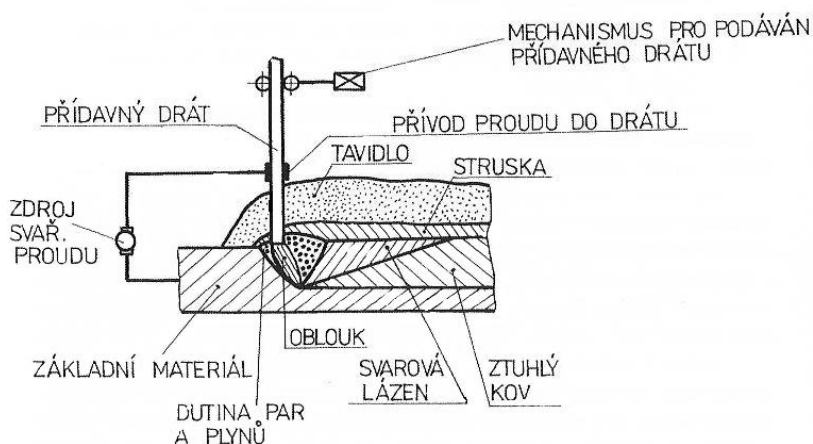
Používá se pro navařování silnějších vrstev na velké pravidelné plochy (Pošta, et al., 1998). Oproti ručnímu navařování elektrickým obloukem má tato metoda několikanásobně větší produktivitu a vysokou kvalitu návaru (Kuncipál, 1986). Tavidlo se zde přivádí ve formě prášku nebo granulátu podél elektrody (Blaškovič, 1979).

Navařování pod tavidlem lze rozdělit na jednoobloukové a víceobloukové. Na navařování je výhodnější používat víceobloukový způsob se společnou tavnou lázní, při které jsou oblouky navzájem svázány např. trojfázový oblouk. (Blaškovič, 1979).

Na promísení návarového a základního kovu má velký vliv vzájemná poloha součástí a elektrody, napětí na oblouku, případně použití pomocné elektrody. U elektrody skloněné dopředu tlak oblouku neodhání tekutý kov a hloubka závaru je nižší, šířka návaru větší. U elektrody skloněné dozadu je tomu naopak (Pošta et al., 1998).

Další možností jak ovlivňovat hloubku závaru je použití pomocné elektrody. Pomocná elektroda je podávána do oblouku a podle rychlosti jejího podávání se rozdělí proud oblouku mezi základní materiál a pomocnou elektrodu (Pošta et al., 1998). Čím menší proud pak prochází základním materiálem, tím je hloubka jeho natavení nižší (Blaškovič, 1979).

Obr. 4 Schéma navařování pod tavidlem.



Zdroj: Kovařík, 2008: Technologie svařování.

### 2.3.1.2.3 MIG/MAG/MOG

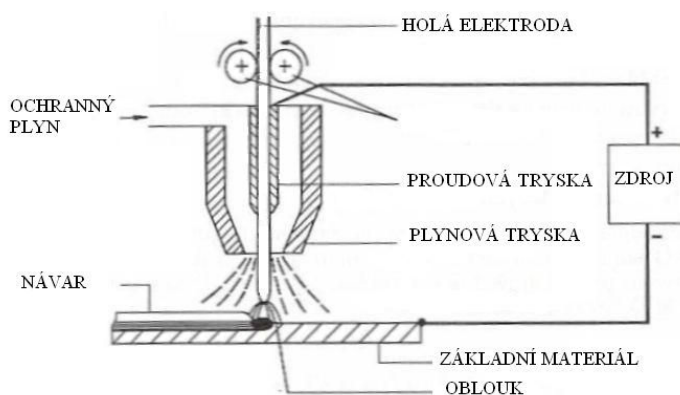
U těchto metod hoří elektrický oblouk mezi tavící se holou elektrodou a navařovaným materiálem. Oblouk je chráněn ochrannou atmosférou inertního nebo aktivního plynu (Országh, 2001, Weman et. al., 2006). Jde o poloautomatický nebo plně automatický systém navařování (Kuncipál, 1986). Jako přídatný materiál se používá drát namotaný na cívce podávaný elektromotorem do svařovací hubice zobrazené na obr. 5 (Pošta et. al., 1998). Tím lze navařit dlouhé housenky bez nutnosti přerušení procesu.

U metody **MIG (Metal Inert Gas)** se používají inertní plyny, nejčastěji argon, helium a směry Ar, He a CO<sub>2</sub>. Inertní plyn nereaguje s materiálem, a proto se metoda MIG používá nejčastěji pro navařování neželezných kovů.

Metoda **MAG (Metal Aktiv Gas)** využívá aktivní plyny a to hlavně CO<sub>2</sub>, nebo směsi CO<sub>2</sub>, Ar a O<sub>2</sub>. Nevýhoda této metody spočívá v tom, že aktivní plyny se podílejí na chemických reakcích při navařování (Weman et. al., 2006). Nejvíce se tato metoda používá pro navařování nelegovaných, nízkolegovaných a vysocelegovaných ocelí (Minařík, 1998).

Metoda **MOG (Metal Ohne Gas)** se od předešlých liší pouze použitým přídatným materiálem. Ten je zde ve formě trubičkového drátu, který je naplněn práškovou směsí tavidla a legujících prvků. Tavidlo vytváří strusku, proto zde není potřeba použít ochranný plyn. Práškové tavidlo ochrání tavnou lázeň i při působení větru až do rychlosti 50 km.h<sup>-1</sup>, což metody MIG a MAG nedokážou, proto je tato metoda výhodná pro navařování v terénu. Hlavní výhodou této metody je její výkonnost, která je až 17 kg návarového kovu za 1 hodinu, při průměru trubičky 3 mm (Hetych, 2001).

Obr. 5 Schéma navařování metodami MIG/MAG.



Zdroj: Minařík, 1998: Obloukové svařování.

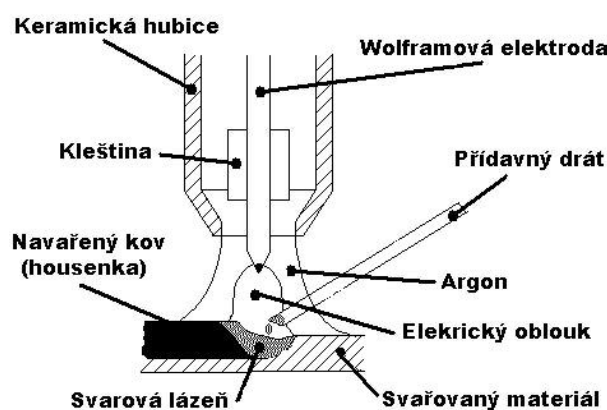
#### 2.3.1.2.4 WIG (TIG)

U metody WIG (Wolfram Inert Gas), označované někde také TIG (Tungsten Inert Gas) hoří oblouk mezi netavící se elektrodou z wolframu a navařovaným materiálem. Jako ochranná atmosféra se používá inertní plyn, nejčastěji Ar, He, nebo jejich směs.

Přídavný materiál je ve formě drátu, tyčinky, nebo pásku a přivádí se do oblouku ručně (stejně jako u navařování plamenem), nebo u strojního navařování speciálním podavačem. Svařovací hořáky jsou chlazené, a to buď vzduchem, nebo vodou. Schéma hořáku je na obr. 6 (Kuncipál et. al., 1986, Minařík, 1998).

Touto metodou se dají navařovat hliníkové slitiny, chrom-niklové a vysokolegované oceli (Kuncipál et. al., 1986). Pro navařování uhlíkových ocelí je tato metoda nevhodná z důvodu neekonomičnosti a nebezpečí vzniku pórů v návaru (Minařík, 1998).

Obr. 6 Schéma navařování metodou WIG (TIG).



Zdroj: svarbazar: TIG svařování I – základní principy.

#### 2.3.1.2.5 Elektrostruskové navařování

V prostoru, který je vytvořen povrchem navařované součásti a tvarovou chlazenou formou, se vytvoří lázeň z tekuté strusky, do které se podává jedna, nebo více elektrod (viz. obr. 7) (Pošta et al., 1998). Obloukový proces zde vzniká pouze při počáteční fázi. K vytvoření potřebného tepla dochází průchodem elektrického proudu roztavenou struskou o velkém elektrickém odporu, čímž se zahřívá strusková lázeň na teplotu až 2000 °C (Kuncipál et. al., 1986).

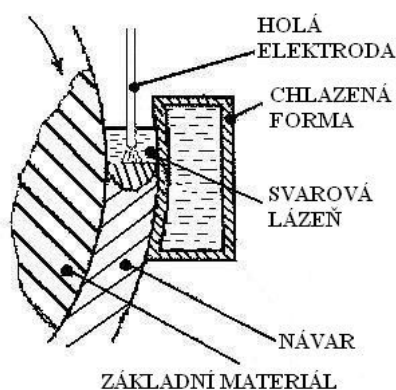
Elektrostruskové navařování má proti jiným způsobům řadu předností. Po vytvoření struskové lázně nedochází k rozstříku, struska spolehlivě chrání tekutý kov před škodlivým působením vzduchu. Proti obloukovému navařování je spotřeba elektrické energie 1,5 až 2 krát nižší a tavidla až 20 krát nižší (Pošta et. al., 1998).



Při použití této metody vzniká mohutná svarová lázeň a široká tepelně ovlivněná oblast. Z těchto důvodů pak vzniká nerovnoměrná struktura v návaru, proto se po navařování předepisuje tepelné zpracování, nejčastěji normalizační žíhání (Černý, 2008).

Elektrostruskové navařování je používáno pro renovaci opotřebovaných povrchů velkých součástí, pro získání bimetalových součástí a také pro nanášení barevných kovů na ocelové a litinové součásti (Pošta et. al., 1998). Jako přídatný materiál se používá drát, pásy nebo desky (Černý, 2008).

Obr. 7 Schéma elektrostruskového navařování.



Zdroj: Pošta et. al., 1998: *Renovace strojních součástí.*

### 2.3.1.2.6 Plazmové navařování

Plazmové navařování (PAW - Plasma Arc Welding) patří mezi technologie, které pracují s vysokou hustotou energie. Plazma vzniká v plazmovém hořáku průchodem plazmového plynu, který je stabilizován elektrickým obloukem.

Plazma dosahuje vysokých teplot. Běžně dosahované teploty u plazmových hořáků činí 15000 až 20000 K a výkonu až  $10^6 \text{ W.cm}^{-2}$  (Kuncipál et. al., 1986). Vysoké teploty umožňují navařování vyšší rychlostí, což má za následek nižší tepelné ovlivnění základního materiálu. Touto metodou je možné navařovat i materiály těžko tavitelné (Pošta et. al., 1998).

Jako plazmový plyn se nejčastěji používá Ar, He, Ar+H, Ar+N, CO<sub>2</sub> (Kuncipál et. al., 1986). V hořáku pro navařování se používá ještě transportní plyn, obvykle také Ar, který přivádí práškový přídatný materiál.

Pro navařování plazmou se používají 3 druhy hořáků, a to závislý, nezávislý a kombinovaný, schéma kombinovaného hořáku je na obr. 8.

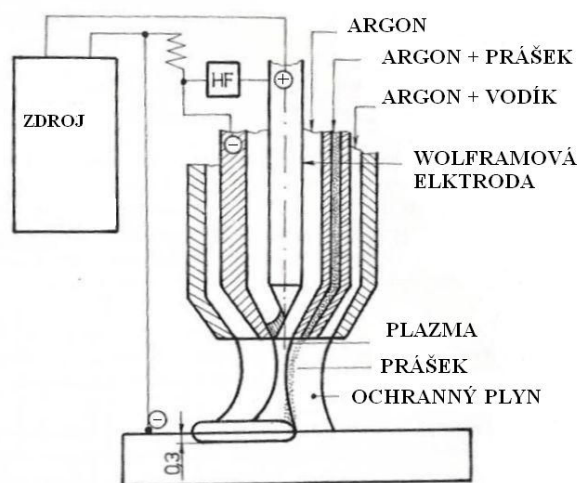
Závislý hořák pracuje se závislým obloukem, ten hoří mezi wolframovou elektrodou a základním materiálem. Používá se pro elektricky vodivé materiály.

U Nezávislého hořáku hoří elektrický oblouk mezi wolframovou elektrodou a měděnou tryskou hořáku, která je chlazená vodou. Používá pro navařování elektricky nevodivých materiálů. Životnost hořáku je zřetelně nižší než u hořáku se závislým obloukem.

Kombinovaný hořák pracuje s pomocným nezávislým obloukem, který slouží pouze pro zapálení hlavního, závislého oblouku. Ve srovnání s nezávislým hořákem je životnost vyšší (Černý, 2008).

Plazmou se dají navařovat práškové směsi obsahující velmi rozmanité materiály. Obvykle se však používají těžko tavitelné materiály, které se těžko navařují jinými způsoby (Pošta et. al., 1998).

Obr. 8 Schéma navařování plazmou kombinovaným hořákem.



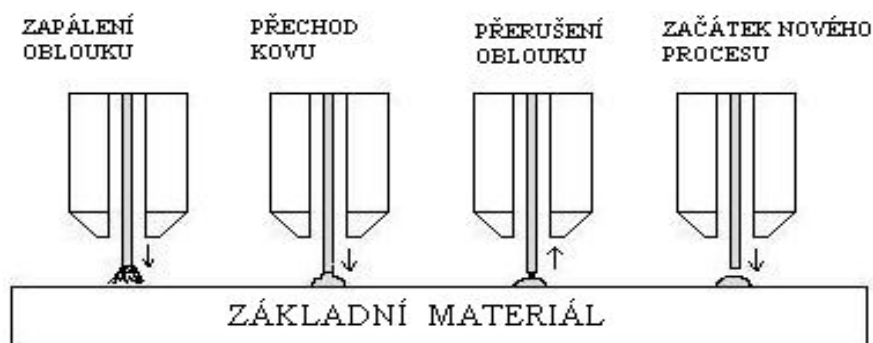
Zdroj: Kovařík, 2008: *Technologie svařování*.

### 2.3.1.2.7 Vibrační navařování

Vibrační navařování elektrickým obloukem je plně automatický způsob navařování, kde elektrický oblouk hoří mezi holou tavící se elektrodou a navařovaným materiálem (Jurek, 1966). Na rozdíl od metod MIG/MAG kde se drát vysouvá stále dopředu, u vibračního navařování je tomu tak pouze do doby, kdy dojde ke zkratu a zapálí se oblouk, pak se drát začne oddalovat a oblouk se přerušuje. Tím se vytvoří malý objem svarové lázně, která rychle chladne a je tak možno navařit i velmi slabé vrstvy. Ukázka tohoto procesu je na obr. 9. U této metody tedy dochází k minimálnímu tepelnému ovlivnění, malému závaru a jen nepatrnému rozstříku materiálu. Frekvence kmitů drátu se pohybuje od 60 do 100 Hz.

Jako ochranné prostředí se používá kapalina a aktivní a inertní plyny jako je argon, CO<sub>2</sub>, a jejich směsi (Kuncipál et. al., 1986, Jurek, 1966).

Obr. 9 Schéma procesu vysouvání a zasouvání drátu u vibračního navařování.



Zdroj: Vlastní obrázek

### 2.3.1.3 Navařování elektronovým paprskem

Zdrojem tepla u této metody je přeměna kinetické energie rychle letícího svazku elektronů na tepelnou energii při jeho dopadu na navařovanou součást (Černý, 2008). Hustota výkonu v místě dopadu dosahuje až  $10^9 \text{ W.cm}^{-2}$  (Kuncipál et. al., 1986).

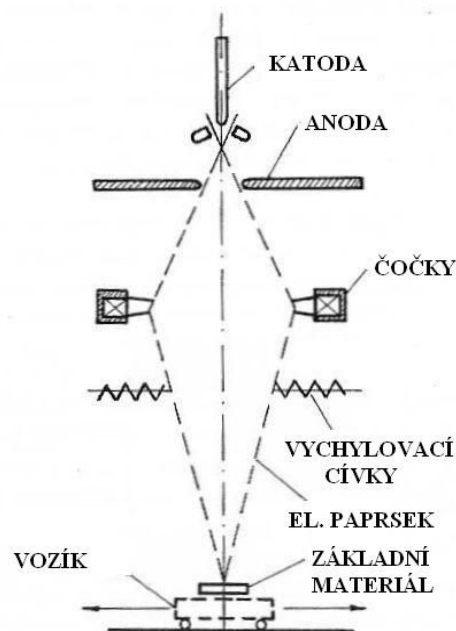
Tento svazek dopadá do velice úzké zóny, která je v rozpětí 0,3 až 2 mm. Dosahuje se tak vysoké koncentrace energie na malé ploše, čímž získáme teplotu 5000 – 6000 °C.

Proces však nelze uskutečnit v běžné atmosféře, protože by proud elektronů byl zdržován molekulami vzduchu. Proto je nutné pracovat ve vakuové komoře s vakuem  $1,33 \cdot 10^{-2}$  až  $1,33 \cdot 10^{-3}$  Pa (Černý, 2008).

Běžně používaná elektronová děla pracují s anodovým napětím řádově desítky kV a dosahují svařovacích výkonů v řádu desítek až stovek kW. Výhodami této metody jsou především velmi úzké tepelně ovlivněné pásmo, možnost navařování miniaturních součástí a možnost navařování těžko tavitelných materiálů (Pošta et. al., 1998).

Přídavný materiál by zde byl ve formě prášku nebo folie nanesené na součást před, nebo v průběhu navařování. Z důvodů složité přípravy součástí před navařením a nutnosti vakuové komory se tato metoda téměř nepoužívá.

Obr. 10 Elektronový paprsek.



Zdroj: Kovařík, 2008:  
Technologie svařování.

### 2.3.1.4 Laserové navařování

Zdrojem tepla je zde koherentní optické záření, které dopadá na materiál ve svazku s minimální rozbíhavostí. Paprsek se pak optickým systémem soustřeďuje na velmi malou plochu. Lasery dosahují hustoty výkonu  $10^{17} \text{ W.cm}^{-2}$  a teploty kolem  $15000^\circ\text{C}$ .

Lasery dělíme na:

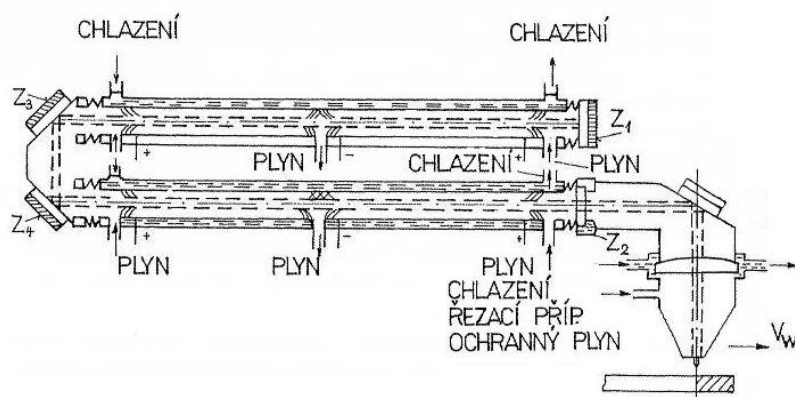
- pevnolátkové,
- kapalinové
- plynové (obr. 11) (Černý, 2008, Kuncipál et. al., 1986).

Laserový paprsek značně ztrácí energii v důsledku odrazu od povrchu materiálu. Zbývající část energie součást absorbuje, čímž se ztelně zahřeje (Turňa, 1989). Pohltivost povrchu lze však uměle zvýšit, nejčastěji je to nanesením vhodného povlaku.

Při laserovém navařování opotřebených povrchů se používá natavení prášku, folie nebo drátu naneseného na součást předem, nebo v okamžiku navařování. Může se používat jak impulsní, tak nepřerušované laserové navařování. Nejvhodnější je při laserovém navařování materiál práškový, který se nejsnadněji nanáší ve formě nátěru na bázi lepidel, což výrazně zvyšuje stupeň pohltivosti laserového záření (do 60 – 70 %) a zlepšuje rovnoměrnost ohřevu navařovaného povrchu.

Výhodou této metody je použití prášků rozmanitého složení, minimální šíře tepelně ovlivněného pásma, možnost navařovat miniaturních součástí, nebo tenké vrstvy bez větších deformací (Pošta et. al., 1998). Tloušťka jedné vrstvy může být 0,2 až 2 mm a promísení se základním materiálem do 10 % (www.matexpm.com).

Obr. 11 Plynový laser.



Zdroj: Kovařík, 2008: *Technologie svařování*.

## 2.3.2 Tlakem

Tyto technologie navařování využívají teplo vzniklé převážně působením tlaku (Kuncipál et. al., 1986). Teploty dosahované těmito metodami jsou nižší než u plně tavného navařování, proto dochází i k menším deformacím a menšímu tepelnému ovlivnění základního materiálu.

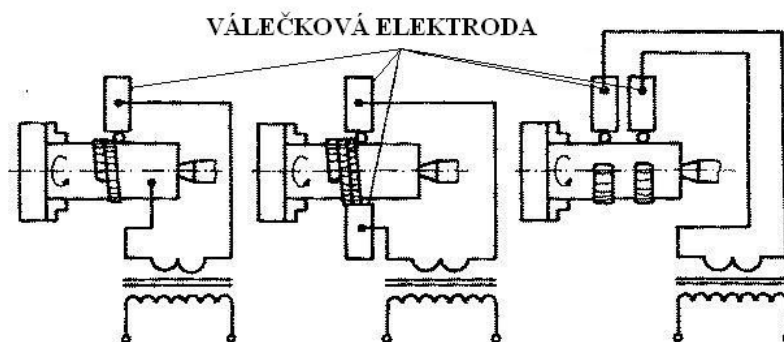
### 2.3.2.1 Odporové navařování

U odporového navařování vzniká teplo odporem v místě dotyku ještě za působení tlaku. Teplo potřebné pro natavení materiálu vzniká průchodem proudu velké intenzity (až 100 000 A) a nízkého napětí (5 až 15 V) v krátkých impulzech (Kuncipál et. al., 1986).

Navařování se provádí na speciálním zařízení (obr. 12), současným deformováním navařovaného kovu i povrchové vrstvy navařované součásti při jejich nahřátí do plastického stavu. Povrchy svařovaných materiálů se zahřívají na teplotu 1400 – 1500 °C za dobu 0,02 – 0,04 s. Ke zmenšení tepelně ovlivněné oblasti se do oblasti navařování přivádí chladicí kapalina. Přídavný materiál je při odporovém navařování ve formě ocelového pásku nebo drátu (Pošta et. al., 1998).

Výhody této metody jsou vysoká produktivita a nízká energetická náročnost, minimální tepelně ovlivněná oblast a nevznikání světelného záření ani kouře (Pošta et. al., 1998).

Obr. 12 Schéma odporového navařování.



Zdroj: Pošta et. al., 1998: *Renovace strojních součástí.*

### 2.3.2.2 Indukční navařování

Při indukčním navařování se na povrch součásti nanáší vrstva přídavného materiálu ve formě pasty nebo prášku, který se vysokofrekvenčně nataví. Navařovací parametry se zvolí tak, aby došlo i k natavení povrchu základního materiálu.

Podmínky pro úspěšné použití této metody jsou:

- rychlost vývinu tepla musí být vyšší, než rychlost jeho odvodu do základního materiálu,
- teplota tavení přídavného materiálu by měla být o trochu (o 50 až 70 °C) nižší, než teplota tavení základního materiálu.

Jako přídavné materiály se nejčastěji používají materiály typu legované litiny. Jako pomocný materiál se přidávají tavidla na bázi boraxu a oxidu boritého. Frekvence indukčního zdroje se volí podle tloušťky navařované vrstvy, rozměrů součásti a požadované hloubky natavení (Pošta et. al., 1998).

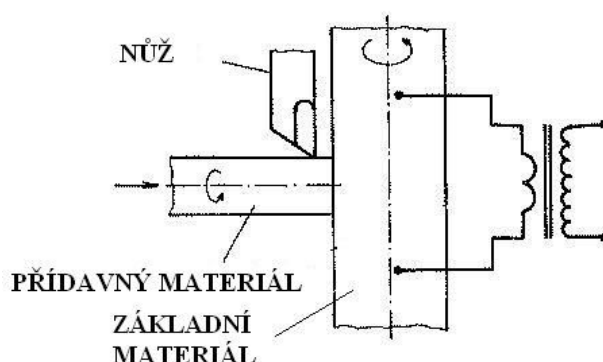
### 2.3.2.3 Navařování třením

Navařování třením slouží především pro nanášení tenkých vysokopevnostních nebo korozivzdorných povlaků o tloušťce do 0,2 mm ([www.welding.cz](http://www.welding.cz)).

Navařovaná součást se ohřívá procházejícím proudem na teplotu přibližně 300 °C a zároveň se otáčí kolem své osy. K součásti je radiálně přitlačována otáčející se tyčka (přídavný materiál), u které se vlivem tření rychle zahřívá čelní plocha a stává se plastickou (Pošta et. al., 1998). Podmínkou vzniku návaru je přiblížení materiálů na vzdálenost rovnající se parametru jejich mřížky, tak aby došlo k jejich fyzikálnímu kontaktu a vzniku chemické vazby (Turňa, 1989). Schéma tohoto způsobu je na obr. 13.

Tepelně ovlivněná oblast je při třecím navařování malá. Třecí navařování je výhodné i z hlediska pracovní hygieny a ekologie, nedochází totiž k žádnému záření, rozstříku materiálu ani kouři (Černý, 2008).

Obr. 13 Schéma navařování třením.

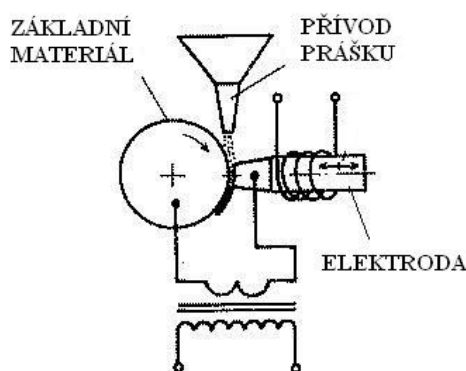


Zdroj: Pošta et. al., 1998: *Renovace strojních součástí*.

### 2.3.2.4 Navařování s použitím magnetického pole

Navařovaná součást je umístěna vedle pólových nástavců elektromagnetu tak, že mezi součástí a pólovým nástavcem je mezera, do které je přiváděn ferromagnetický práškový přídatný materiál. Částice prášku jsou přitlačovány nástavci k povrchu součásti. Ze zdroje navařovacího proudu teče proud přes součást, částice prášku a pólový nástavec elektromagnetu. Tím dochází k natavení částic prášku a vznikne navařená vrstva (Pošta et. al., 1998).

Obr. 14 Schéma navařování pomocí magnetického pole.



Zdroj: Pošta et. al., 1998: *Renovace strojních součástí*.

## 3 Podstata, výhody a nevýhody použití renovace strojních součástí navařováním

### 3.1 Navařování

Navařování patří mezi renovace na původní rozměry. Jde o navaření vrstvy stejného, nebo většinou lepšího přídatného materiálu na opotřebovanou součást a tím dosažení původního tvaru a rozměrů součásti (Havlíček, 1984).

Navařování je však možno využít i při výrobě nových součástí, což vede ke snížení nákladů. Vlastní díl se vyrobí z levnějšího materiálu s horšími mechanickými vlastnostmi a povrchová vrstva se navaří lepším materiálem, který odolává přesně daným podmínkám.

Pro výběr nejvhodnějšího přídatného materiálu je nutné znát podmínky, ve kterých bude součást pracovat.

Nejdůležitější informace pro volbu přídavného materiálu jsou:

- typ defektu,
- základní materiál,
- metoda navařování,
- požadavky na opracování povrchu (ESAB, 2004).

Při navařování je nutno zohlednit tyto skutečnosti:

- svařitelnost,
- tepelné ovlivnění.

### **3.2 Defekty součástí**

U každého stroje dochází k poškozování funkčních ploch, které jsou ve styku s funkčními plochami jiných součástí nebo na ně působí zpracovávaný materiál (Pošta et. al., 1998). Tyto vlivy ve většině případů probíhají v kombinaci, nebo jeden druh přechází v jiný. Proto je velmi obtížné najít původní příčinu defektu (ESAB, 2004). I při nejpečlivěji prováděné údržbě lze vznik poruch pouze oddálit.

#### **3.2.1 Příčiny defektů funkčních ploch**

Příčiny defektů funkčních ploch jsou:

- opotřebení,
  - adhezivní,
  - abrazivní,
  - erozivní,
  - kavitační,
  - únavové,
  - vibrační,
- koroze,
- otlačení,
- deformace,
- trhliny a lomy,
  - lomy statické,
  - lomy únavové.
- ostatní poškození (Pošta, et. al., 2002, Pošta, 1995).



### **3.2.2 Opotřebení**

Opotřebení je trvalá nežádoucí změna povrchu nebo rozměrů tuhých těles, vyvolaná vzájemným působením funkčních povrchů nebo funkčního povrchu a média, které opotřebení vyvolává (Pošta et. al., 2002).

### **3.2.3 Koroze**

Koroze je nežádoucí trvalá změna povrchu materiálu, způsobená elektrochemickými a chemickými vlivy okolního prostředí. Koroze se dělí podle mechanismu procesu na elektrochemickou a chemickou (Pošta et. al., 2002).

### **3.2.4 Otlačení**

Otlačení je trvalá nežádoucí změna povrchu, způsobená vnějšími silami. Dochází k němu tím, že skutečné kontaktní tlaky překročí mez kluzu materiálu povrchové vrstvy. Tím, že technické kovy se považují za nestlačitelné, přesouvá se tedy materiál mimo oblast působení tlaku. Vytlačený materiál tvoří okolo místa zatíženého tlakem valy a v samotném místě otlačení vzniká vůle (Pošta et. al., 2002).

### **3.2.5 Deformace**

Deformace je trvalá nežádoucí změna geometrického tvaru součástí. K deformaci dochází tím, že v některém z průřezů součásti je překročena mez kluzu. Vyskytuje se převážně u houževnatých materiálů. U křehkých materiálů dojde totiž i při poměrně malé deformaci k lomu součástí (Pošta et. al., 2002).

### **3.2.6 Trhliny a lomy**

Trhlina je porušení homogenity materiálu v části průřezu. Lom je porušení homogenity materiálu v celém průřezu. Trhliny a lomy vznikají stejně jako deformace a otlačení, tj. překročením meze pevnosti nebo meze únavy v určitém průřezu. Trhliny se nejčastěji vyskytují u odlitků, svařenců a tepelně zpracovávaných součástí. U dynamicky namáhaných součástí přejdou v únavový lom (Pošta et. al., 2002).

### **3.2.7 Ostatní poškození**

Mezi ostatní poškození patří např. stárnutí materiálu, tepelná degradace materiálu a výše nepopsané poškození (Pošta et. al., 2002).

### **3.3 Základní materiál**

Navařuje se na několik skupin materiálů:

- uhlíkové a nízkolegované oceli,
- manganové austenitické oceli,
- litiny,
- neželezné materiály.

#### **3.3.1 Uhlíkové a nízkolegované oceli**

Tyto materiály vyžadují v závislosti na obsahu uhlíku zvláštní opatření jako předehřev, řízené chladnutí, nebo tepelné zpracování (ESAB, 2004). Předehřevu je možné se vyhnout použitím metody s velkým tepelným výkonem (Koukal, 2005).

#### **3.3.2 Manganové austenitické oceli**

U těchto materiálů je předehřev nebo jakékoliv tepelné zpracování zakázáno z důvodu zkřehnutí ocele (ESAB, 2004).

#### **3.3.3 Litiny**

Litiny mají obtížnou svařitelnost vlivem velkého obsahu uhlíku. Litiny špatně vedou teplo, proto přechází skokově z pevného stavu do tekutého. U šedé litiny je nutný předehřev, a velmi pomalé ochlazování. Při navařování tvárné litiny je nutné dodat co nejméně tepla do materiálu. Při vysoké rychlosti navařování vzniká v tepelně ovlivněné oblasti bílá litina, která způsobí zkřehnutí materiálu (Minařík, 1998).

#### **3.3.4 Neželezné materiály**

K navařování neželezných materiálů dochází jen zřídka. Každý neželezný kov je nutno posuzovat individuálně, obecně lze vycházet z podmínek pro jejich svařování (Pošta et. al., 1998).

### **3.4 Požadavky na opracování povrchu po navaření**

Požadavky na opracování povrchu je nutné stanovit již před volbou přídavného materiálu, jelikož u některých návarových kovů je obrobitelnost téměř nemožná. Mnohé z vysokolegovaných návarových kovů při chladnutí tvoří praskliny. Napříč navařované housenky vznikají jemné trhliny, čímž se uvolňují pnutí, kterými chladnoucí návar působil na základní materiál.

Před samotným navařením je tedy nutné znát odpověď na následující otázky:

- Je po svaření potřebné třískové obrábění nebo jen broušení?
- Je popraskání návaru při chladnutí přijatelné?

Přibližně je možné použít pravidlo, že návarový kov s tvrdostí menší než 40 HRC ještě lze obrábět, materiál s větší tvrdostí lze také obrábět, ale pouze nástroji ze slinutých karbidů (ESAB, 2004).

Popraskání často neškodí z funkčního hlediska a nezpůsobuje odloupení návaru. Je-li však díl namáhán rázy nebo ohybem, je vhodné mezi tvrdonávar a základní materiál navařit mezivrstvu z materiálu s vysokou tažností, která zabrání šíření prasklin do základního materiálu. Náchylnost k praskání se zvyšuje při použití vysoké rychlosti navařování a nízkého proudu (ESAB, 2004).

### **3.5 Přídavný materiál**

Dnes se vyrábí celá řada navařovacích materiálů, s rozmanitými vlastnostmi, takže se hodí pro nejrůznější součásti a do různých provozních podmínek. Široká nabídka přídavných materiálů je nejen po stránce chemického složení, ale i v jejich formě. Vyrábí se od prášků, přes dráty různého průměru, až po různě silné pásy. I přes velké množství druhů přídavných materiálů, je dnes trendem používání práškových přídavných materiálů (Pošta et. al., 1998).

Navařovací materiály se dají rozdělit podle jejich vlastností a odolnosti proti opotřebení (ESAB, 2004). Označování přídavných materiálů dle DIN 8555 je popsáno v tabulce 1.

Skupiny přídavných materiálů podle složení:

- na bázi železa,
  - o martenzitické slitiny,
  - o austenitické slitiny,
  - o slitiny s vysokým obsahem karbidů,
- neželezné slitiny,
  - o slitiny na bázi kobaltu,
  - o slitiny na bázi niklu (ESAB, 2004).

### **3.5.1 Martenzitické materiály**

U martenzitických materiálů dochází při navařování k částečnému zakalení. Tvrdost, které lze dosáhnout u těchto materiálů závisí především na obsahu uhlíku. Tepelné zpracování se dělá pouze výjimečně. Pro tyto materiály je důležitá tvrdost dosažená normálním volným chladnutím odvodem tepla do základního materiálu. Martenzitické návarové materiály se mírně legují, tím se zvýší prokalitelnost materiálu a tím i výsledná tvrdost (Pošta et. al., 1998).

### **3.5.2 Austenitické materiály**

Austenitické materiály si i za normálních teplot zachovávají austenitickou strukturu. Typickou vlastností je pro ně vysoká houževnatost a nízká tvrdost. Pro zachování austenitické struktury za normálních teplot potřebují tyto materiály rychlé ochlazení, kterého se dosáhne během následného tepelného zpracování po navaření (Pošta et. al., 1998). Tyto materiály se hodí pro obnovu tvaru součástí (ESAB, 2004).

### **3.5.3 Materiály s obsahem karbidů**

Typickou vlastností těchto materiálů je vysoká přirozená tvrdost návarů a v důsledku toho i odolnost proti abrazivnímu opotřebení. Při použití karbidů chromu, popř. wolframu, se její odolnost dále zlepšuje. Současně však jsou tyto návary poměrně křehké, proto příliš neodolává rázům (ESAB, 2004).

### **3.5.4 Neželezné materiály**

Materiály na bázi neželezných kovů se nazývají stelly, jsou to materiály na bázi kobaltu a niklu. Mají vysokou odolnost proti opotřebení a korozi. Z důvodu vysoké ceny se používají pouze pro speciální účely.

K jejich hlavním vlastnostem patří:

- vysoká tvrdost,
- maximální tvrdosti lze dosáhnout bez tepelného zpracování,
- vysoká odolnost proti působení chemikálií,
- vysoká odolnost proti opotřebení (ESAB, 2004, Löbl, 1957).

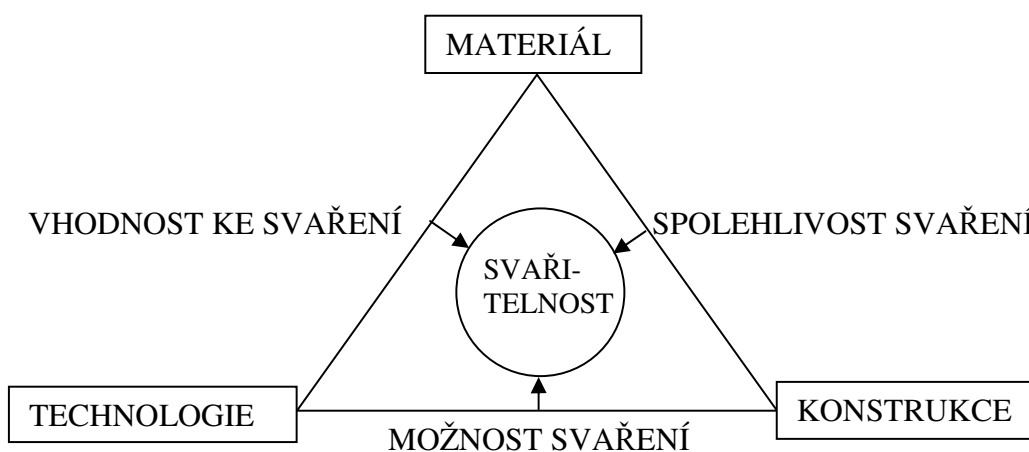
1. Svařovací proces		3. Výrobní metoda	
G	svařování plamenem	GW	válcované
E	ruční obloukové svařování svařování	GO	lité
MF	svařování v ochranné atmosféře s trubičkovým drátem	GZ	tažené
TIG	svařování TIG	GS	slinuté
MSG	svařování MIG/MAG	GF	plněné
UP	svařování pod tavidlem	UM	obalené
2. Typ příd. materiálu nebo svar. kovu		4. Rozsah tvrdosti	
1.	Nelegovaný do 0,4 % C nebo nízkoleg. do 0,4 % C a do maximálně 5 % celkového obsahu Cr, Mn, Mo, Ni.	150	$125 \leq HB \leq 175$
2.	Nelegovaný nad 0,4 % C nebo nízkoleg. nad 0,4 % C a do maximálně 5 % celkového obsahu Cr, Mn, Mo, Ni.	200	$175 \leq HB \leq 225$
3.	Legovaný s vlastnostmi ocelí pro práci za zvýšených teplot.	250	$225 \leq HB \leq 275$
4.	Legovaný s vlastnostmi rychlořezných ocelí.	300	$275 \leq HB \leq 325$
5.	Legovaný s více než 5 % Cr, s nízkým obsahem C (do cca 0,2 %).	350	$325 \leq HB \leq 375$
6.	Legovaný s více než 5 % Cr, s vyšším obsahem C (cca 0,2 až 2 %).	400	$375 \leq HB \leq 450$
7.	Mn austenity s 11 až 18 % Mn, více než 0,5 % C a do 3 % Ni.	40	$37 \leq HRC \leq 42$
8.	Cr – Ni – Mn austenity.	45	$42 \leq HRC \leq 47$
9.	Cr – Ni ocele (odolné proti rzi, kyselinám a žáru)	50	$47 \leq HRC \leq 52$
10.	S vysokým obsahem C a Cr a bez dodatečných přísad.	55	$52 \leq HRC \leq 57$
20.	Na bázi Co legovaný Cr a W, s nebo bez obsahu Ni a Mo.	60	$57 \leq HRC \leq 62$
21.	Na bázi karbidů (slinuté, odlévané nebo plněné).	65	$62 \leq HRC \leq 67$
22.	Na bázi Ni legované Cr nebo Cr – b.	70	$HRC \leq 67$
23.	Na bázi Ni legované Mo, s nebo bez Cr.		
30.	Na bázi Cu legované Sn.		
31.	Na bázi Cu legované Al.		
32.	Na bázi Cu legované Ni.		
5. Vlastnosti svarového kovu			
	C		odolné proti korozi
	G		odolné proti abrazi
	K		schopné deformačního zpevnění
	N		nemagnetické
	P		odolné proti rázům
	R		odolné proti rezavění
	S		na řezné nástroje
	T		pevnost za vysokých teplot
	Z		žáruvzdorné

Zdroj: ESAB, 2005: Příručka svařování při údržbě a opravách.

### 3.6 Svařitelnost

Svařitelnost udává, zda je možné vytvořit za daných podmínek svar (návar) předepsané jakosti (Minařík, 1998). Svařitelnost se dělí na metalurgickou, konstrukční a technologickou jak je tomu na obr. 15 (Kovařík, 2008).

Obr. 15 Grafické znázornění svařitelnosti.



Zdroj: Kovařík, 2008: *Technologie svařování*.

Metalurgická svařitelnost udává, zda je kov vhodný ke svařování (navarování). Spadá sem např. chemické složení základního a přídatného materiálu, jakost a čistota hutních surovin, způsob výroby základního materiálu a tepelné zpracování.

Konstrukční svařitelnost udává konstrukční spolehlivost svarového spoje. Zajišťuje např. tloušťku materiálu, která určuje rychlost odvodu tepla, tvar svaru (návaru) a tím i velikost pnutí, tuhost spoje, atd.

Technologická svařitelnost udává technologickou možnost svařování (navarování), jako např. způsob navarování, přídatný materiál, měrný tepelný příkon navarování, přehřev, dohřev, tepelné zpracování atd. (Kovařík, 2008)

Faktory ovlivňující svařitelnost podle normy ČSN EN 1011 – 2

- návrh spoje,
- vodíkem indukované praskání,
- houževnatost a tvrdost tepelně ovlivněné oblasti,
- krystalizační praskání,
- lamelární praskání,
- koroze (Koukal, 2005).

Vliv základních prvků na metalurgickou svařitelnost:

Uhlík negativně ovlivňuje svařitelnost zvyšováním prokalitelnosti. Při obsahu větším než 0,22 % je nutné součást předeheat.

Křemík na svařitelnost nemá zásadní vliv, ale váže na sebe kyslík rozpuštěný ve svarové lázni, což vede tvorbě pórů.

Mangan zmenšuje náchylnost ke tvorbě trhlin. Stejně jako křemík deoxiduje svarovou lázeň. Při koncentraci větší než 0,8 % způsobuje zvětšování zrn.

Vliv legovacích prvků na svařitelnost se určuje poměrným účinkem ve srovnání s uhlíkem pomocí tzv. ekvivalentu uhlíku  $C_e$ , který se používá pro oceli třídy 10 až 16 do obsahu uhlíku max. 0,22 %, chromu max. 1 %, niklu max. 3 % (Kovařík, 2008).

Výpočet  $C_e$  podle původní normy ČSN 051310:

$$C_e = C + \frac{Mn}{2} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} + 0,0024t$$

Značky prvků znamenají jejich obsah v procentech.

t.....je tloušťka navařovaného materiálu [mm] (Kovařík, 2008)

Norma ČSN EN 1011 – 2 doporučuje  $C_e$  počítat podle vzorce mezinárodního svářečského institutu IIW:

$$C_E = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Značky prvků znamenají jejich obsah v procentech (Koukal, 2005).

Navařování bez zvláštních opatření je možné pokud:

$$C \leq 0,22 \%,$$

$$C_e \leq 0,50 \%.$$

Podle normy jsou stupně svařitelnosti:

- zaručená (1a),
- zaručená podmíněná (1b),
- dobrá – nezaručená (2),
- obtížná – nezaručená (3) (Kovařík, 2008).

### **3.6.1 Předehřev**

Předehřev součástí se provádí podle normy ČSN EN ISO 13916 (Koukal, 2005). Obecně lze říci, že předehřev je nutný při svařování materiálů větších rozměrů (nad 25 mm) nebo pokud je obsah uhlíku vyšší než 0,25 %. Dalším důležitým faktorem je tvar součásti, který ovlivňuje odvod tepla z místa navařování.

Při navařování dlouhých štíhlých součástí s jednorozměrným odvodem tepla, dojde k relativně pomalému chladnutí. Největší nebezpečí trhlin je hlavně na začátku procesu, proto je vhodný předehřev.

Při navařování hran součástí dochází k dvojrozměrnému odvodu tepla, což má za následek rychlejší ochlazování součásti. Zde je předehřev nutný.

Navařováním masivních součástí dochází k trojrozměrnému odvodu tepla a ochlazování je tedy velmi rychlé. U takovýchto součástí je předehřev bezpodmínečně nutný (Churavý, 2001).

Předehřev jde provést plynovým hořákem, odporem, indukčně apod. Teplota předehřevu se pohybuje od cca 50 do 400 °C, výjimečně i více. Pro určení správné teploty lze použít pyrometry, termovizi, nebo poněkud starší metodu, a to je tzv. termokřída. Po dosažení požadované teploty nanesená křída změní barvu (Minařík, 1998). Teplota předehřevu se volí z diagramů ARA nebo z empirických rovnic tomu určených (Koukal, 2005).

### **3.7 Tepelné ovlivnění a vznik prnutí v návaru**

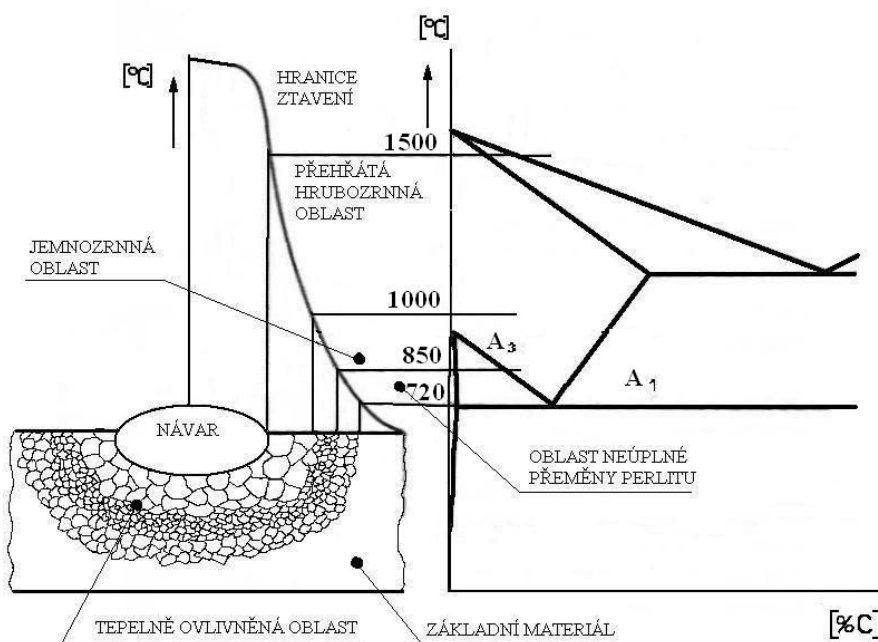
Tepelně ovlivněnou oblast zobrazenou na obr. 16 lze rozdělit na:

1. Oblast natavení, která je tvořena směsí tekuté a pevné fáze. Vlastnosti této oblasti mají po zchladnutí vliv na vlastnosti navařené vrstvy a její pevnost. Často se zde tvoří trhliny, nebo vzniká koroze (Pošta et. al., 1998).



2. Přehřátou oblast se zhrublým zrnem, kterou ovlivňuje teplota nad  $A_{c3}$ . V této oblasti dochází k významnému poklesu plastických vlastností, protože při velké rychlosti ochlazování a dostatku uhlíku zde může vzniknout martenzitická struktura.
3. Jemnozrnnou oblast, která je krátkodobě vyhřátá těsně nad teplotu  $A_{c3}$  a prošla úplnou polymorfní přeměnou. V této oblasti došlo k normalizačnímu žíhání, zrna zde má velmi jemnou strukturu.
4. Oblast s neúplnou polymorfní přeměnou feritu a perlitu, která je mezi teplotami  $A_{c3}$  a  $A_{c1}$ .
5. Oblast zahřátou pod teplotu  $A_{c1}$ , ve které dochází k rekrytalizaci. U nízkouhlíkových ocelí zde může dojít k tzv. stárnutí oceli. Stárnutí způsobuje volný intersticiální dusík a jeho nitridy, které blokují dislokace.

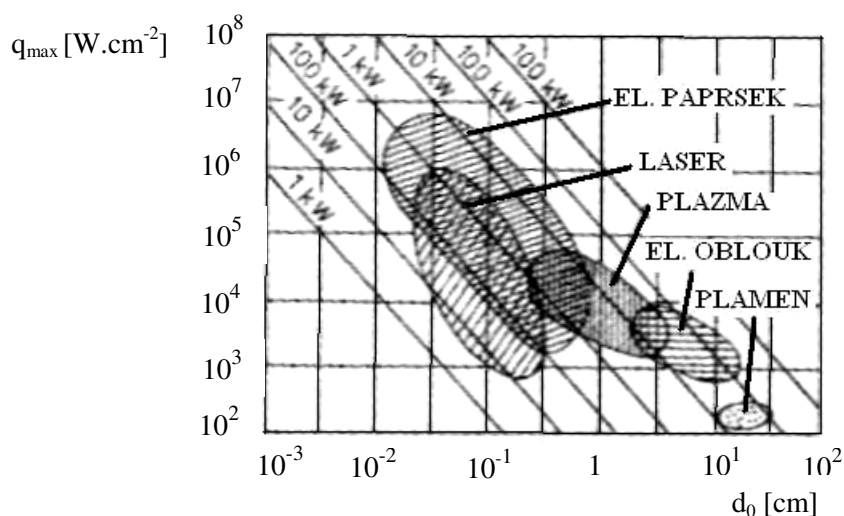
Obr. 16 Tepelně ovlivněná oblast v návaru.



Zdroj: Kovařík, 2008: *Technologie svařování*.

Šířka jednotlivých oblastí v celkové tepelně ovlivněné oblasti je závislá především na způsobu navařování a jeho parametrech. Šířka přehřáté oblasti bývá 0,1 až 0,5 mm s výjimkou elektrostruskového navařování, kde je širší. Jemnozrná oblast je obvykle široká 0,3 až 2 mm (Kovařík, 2008). Velikost tepelně ovlivněné oblasti u vybraných metod navařování je na obr. 17.

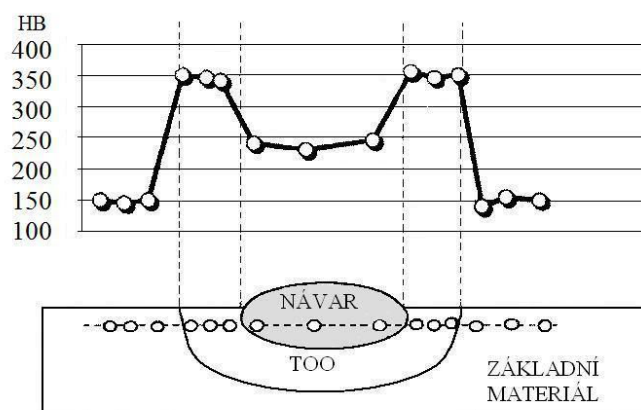
Obr. 17 Závislost hustoty výkonu a průměru tepelně ovlivněné oblasti.



Zdroj: Turňa, 1989: Špeciálne metódy zvarovania.

S rozdílnými strukturami v návaru se různí i mechanické vlastnosti jako třeba tvrdost. Na obr. 18 je patrné, že největší tvrdost je v místech, kde byla v tepelně ovlivněné oblasti dosažena nejvyšší teplota. Se zvýšenou tvrdostí však souvisí i vyšší křehkost (Kovařík, 2008).

Obr. 18 Průběh tvrdosti v návaru.



Zdroj: Koukal, 2005: Svařování I.

Při navařování může vznikat v tepelně ovlivněné oblasti pnutí, které je důsledkem tepelné dilatace materiálu. Pokud je tepelné pole v materiálu nerovnoměrné, dojde k nerovnoměrné dilataci a tím ke vzniku dočasně působících napětí. Jestliže toto napětí překročí v kterémkoliv místě mez kluzu, pak dojde k plastické deformaci. Po vyrovnání teplot toto místo působí na své okolí tahovým napětím, které je úměrné velikosti plastické deformace.

Zjednodušeně lze tento proces vyjádřit jednoduchými rovnicemi, které předpokládají ideální podmínky. Odchylka od skutečnosti je ovšem tak malá, že se v praxi zanedbává.

Ohříváný materiál dilataje podle zákona tepelné dilatace:

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad [\text{mm}]$$

Tento vztah se dosadí do Hookova zákona, tím se vyjádří závislost napětí na teplotě:

$$\sigma = \alpha \cdot \Delta t \cdot E \quad [\text{Pa}]$$

$\Delta t$ .....rozdíl teplot [K]

$\alpha$ .....součinitel tepelné roztažnosti materiálu [ $\text{K}^{-1}$ ]

$\sigma$ .....napětí v ohříváném objemu materiálu [Pa]

$E$ .....modul pružnosti v tahu [Pa]

Je třeba vědět, že při navařování, jsou deformace větší, než u konstrukčního svařování. To je způsobeno umístěním těžiště oblasti s vyvolaným vnitřním pnutím, které má různé rameno ohybového momentu k neutrální ose. Na obr. 19 je znázorněn průřez součásti s běžným konstrukčním svárem a totožné součásti s návarem navařování, nebo vhodným postupem kladení návarových housenek (Pošta et. al., 1998).

*Obr. 19 Rozdíl ramena ohybového momentu ve svaru a v návare.*

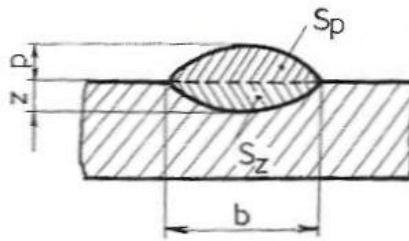


*Zdroj: Pošta et. al., 1998: Renovace strojních součástí.*

### 3.7.1 Promísení

Při tavném navařování je přídavný i základní materiál v tekutém stavu, tím dochází k jejich promísení. Promísení je změna chemického složení jak přídavného tak i základního materiálu (Kovařík, 2008). Z důvodu zachování chemického složení návarového materiálu je snaha, aby promísení bylo co nejmenší. Stupeň promísení závisí na metodě navařování a jejích parametrech (Kuncipál, 1986). Orientačně se promísení pohybuje u metody WIG 5 – 15 %, MIG 20 – 25 %, u obloukového navařování 30 – 40 %, u plazmy 5 – 25 % a u navařování pod tavidlem jednou drátovou elektrodou 40 – 50 % (Kovařík, 2008).

Obr. 20 Průřez návarem.



Zdroj: Kovařík, 2008: Technologie svařování.

Vzorec pro výpočet stupně promísení:

$$P_{\%} = \frac{S_z}{S_z + S_p} \cdot 100\% \quad [ \% ] \quad P = \frac{S_z}{S_z + S_p} \quad [ - ]$$

p..... převýšení [mm]

z .....závar [mm]

b..... šířka housenky [mm]

S<sub>p</sub>.....plocha návarového kovu [mm<sup>2</sup>]

S<sub>z</sub>.....plocha přetaveného základního materiálu [mm<sup>2</sup>]

(Kovařík, 2008)

Výpočet obsahu jednotlivých prvků v návare:

$$X_N = X_Z + (X_P \pm X_T) \cdot (1 - P) \quad [ \% ]$$

X<sub>N</sub>.....obsah prvku v návare [%]

X<sub>Z</sub>.....obsah prvku v základním materiálu [%]

X<sub>P</sub>..... obsah prvku v přídavném materiálu [%]

X<sub>T</sub>.....propal nebo přírůstek prvku z tavidla [%]

P..... stupeň promísení [ - ]

(Kuncipál et. al., 1986)

### **3.8 Výhody a nevýhody navařování**

Hlavní výhody navařování:

- ve většině případů je navaření levnější, než výroba nové součásti,
- navařováním lze dosáhnout původních rozměrů a vlastností součásti,
- navařená vrstva může mít lepší mechanické vlastnosti, než původní součást,
- oproti nástřikům mají návary lepší soudržnost se základním materiálem,
- navařování je poměrně rychlá metoda renovace,

Hlavní nevýhody navařování:

- navařování nelze provést bez tepelného ovlivnění, ve kterém se mění mechanické vlastnosti materiálu a dochází zde k vnitřnímu pnutí,
- u většiny součástí je nutné povrch upravit před i po navaření např. třískovým obráběním,
- navařování slabých plechů je neekonomické, levnější je vyměnit celý plech,
- navařování je omezeno svařitelností základního materiálu,
- některé materiály se musí předehřívat a po navaření dohřívat, což zvyšuje náklady,
- u tvrdých materiálů je nutno provést tepelné zpracování před i po navaření.

## 4 Závěr

V této práci jsou shrnuty poznatky z domácí i zahraniční literatury o dostupných metodách navařování a jejich problematice.

Ze všech uvedených metod se však v praxi používá nejvíce ruční navařování obalenou elektrodou z důvodu největší univerzálnosti této metody a možností navařovat součásti i v těžko dostupných místech. Tuto metodu dnes stále častěji nahrazuje navařování metodou MIG/MAG. Dále se používá metoda pod tavidlem, která vyniká svojí produktivností a nejmodernějším trendem je laserové navařování, kterým se dají navařovat součásti miniaturních rozměrů s minimálním tepelným ovlivněním.

Navařování je se stále se zvyšujícími cenami všech energií stále výhodnější. Jelikož i velmi opotřeбенým součástem lze navařením vrátit původní tvar i mechanické vlastnosti. Další výhodou je možnost navaření tvaru tzv. mezinávary, a teprve povrchovou vrstvou navařit materiálem, který má požadované vlastnosti, což značně snižuje cenu této renovace.

O navařování je dnes velký zájem, což je vidět i z počtu firem zabývajících se touto problematikou. Výhody navařování si zatím více uvědomují v zahraničí, proto také největší společnosti u nás zabývající se navařováním a ostatními druhy renovace, jsou ze zahraničí, např. Castolin Eutectic, Böhler Uddeholm a ESAB .

## Zdrojová literatura:

Blaškovič, P. – Koseček, M. – Vehner, L.: *Zváranie pod tavidlom*, 2. vydání. Bratislava: Alfa, 1979, 448 stran.

ESAB: *Příručka svařování při údržbě a opravách*, 1. přeložené vydání. Vamberk, 2004, 135 stran.

Havlíček, J.: *Strojírenská technologie, renovace součástí*, 1.vydání. Praha: SNTL, 1984, 68 stran.

Hetych, J.: *INNERSHIELD – svařování trubičkovým drátem, Moderní trendy ve svařování MAG*, 1.vydání. Česká Třebová: DOM-ZO 13, 2001, str. 59 – 60. ISBN 80 – 85988 – 66 – 6.

Churavý, V.: *Aplikace tvrdonávarových povlaků metodou MAG, Moderní trendy ve svařování MAG*, 1.vydání. Česká Třebová: DOM-ZO 13, 2001, str. 61 – 73. ISBN 80 – 85988 – 66 – 6.

Jurek, A. et. al.: *Vibrační navařování*, Praha: SNTL, 1966, 93 stran

Koukal, J. – Zmydlený, T.: *Svařování I.*, 1.vydání. Ostrava: VŠB, 2005, 136stran. ISBN 80 – 248 – 0870 – 6.

Kovařík, R. – Černý, F.: *Technologie svařování*, 1. vydání. Plzeň: ZČU, 2008, 192 stran. ISBN 978 – 80 – 7082 – 697 – 3.

Kuncipál, J. et. al.: *Teorie svařování*, 1.vydání. Praha: SNTL, Alfa, 1986, 265 stran.

Löbl, K. – Stárek, R.: *Tvrdé návary v praxi*, 1.vydání. Praha: Ústav pro technické a ekonomické informace, 1957, 82 stran.

Malěj, J.: *Renovace strojních součástí*, 1.vydání. Praha: SNTL, 1963, 267 stran.

Minařík, V.: *Obloukové svařování*, 1.vydání. Praha: Scientia, 1998, 229 stran. IBSN 80 – 119 -0.

Minařík, V.: *Plamenové svařování*, 1.vydání. Praha: Scientia, 1997, 157 stran. IBSN 80 – 7183 – 080 -1.

Országh, V. – Országh, P.: *Podmiénky na realizáciu zvárania MIG/MAG, Moderní trendy ve svařování MAG*, 1. vydání. Česká Třebová: DOM-ZO 13, 2001, str. 3 – 12. ISBN 80 – 85988 – 66 – 6.

Pošta, J.: *Technologie údržby a oprav strojů*, 1.vydání. Praha: ČZU, 1995, 193 stran. ISBN 80 – 213 – 0248 – 8.

Pošta, J. – Havlíček, J. – Černovol, M.I.: *Renovace strojních součástí*, 2. vydání. Praha: SVÚM a.s., 1998, 160 stran. ISBN 80 – 902015 – 6 – 3.

Pošta, J. – Veselý, P. – Dvořák, M.: *Degradace strojních součástí*, Praha: ČZU, 2002, 67 stran. IBSN 80 – 213 – 0967 – 9.

Turňa, M.: *Špeciálne metódy zvarovania*, 1.vydání, Bratislava: Alfa, 1989, 384 stran. IBSN 80 – 05 – 00097 – 9.

Weman, K. – Lindén, G.: *MIG welding guide*, Cambridge England: Woodhead publishing, 2006, 303 stran.

Lukášek, J.: *03\_1-9 Modelování*, [on - line], citováno 7.3.2012.  
Dostupné z: [http://www.welding.cz/vyvoj/svar\\_03/03\\_1-9.htm](http://www.welding.cz/vyvoj/svar_03/03_1-9.htm)

Matexpm: *laserové navařování*, [on - line], citováno 12.3.2012.  
Dostupné z: <http://www.matexpm.com/cz/laserove-navarovani>

## **Obrázky:**

Koukal, J. – Zmydlený, T.: *Svařování I*, 1.vydání. Ostrava: VŠB, 2005, 136stran. IBSN 80 – 248 – 0870 – 6.

Kovařík, R. – Černý, F.: *Technologie svařování*, 1. vydání. Plzeň: ZČU, 2008, 192 stran. IBSN 978 – 80 – 7082 – 697 – 3.

Minařík, V.: *Obloukové svařování*, 1.vydání. Praha: Scientia, 1998, 229 stran. IBSN 80 – 119 -0.

Minařík, V.: *Plamenové svařování*, 1.vydání. Praha: Scientia, 1997, 157 stran. IBSN 80 – 7183 – 080 -1.

Pošta, J. – Havlíček, J. – Černovol, M.I.: *Renovace strojních součástí*, 2. vydání. Praha: SVÚM a.s., 1998, 160 stran. IBSN 80 – 902015 – 6 – 3.

Svarbazar.: *TIG svařování I. – základní principy*, [on - line], citováno 20.3.2012  
Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008011702>

Turňa, M.: *Špeciálne metódy zvarovania*, 1.vydání, Bratislava: Alfa, 1989, 384 stran. IBSN 80 – 05 – 00097 – 9.

Weman, K. – Lindén, G.: *MIG welding guide*, Cambridge England: Woodhead publishing, 2006, 303 stran.